

**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL  
AGREGADO GRUESO SILICEO EN LAS DOSIFICACIONES DEL ADITIVO  
SÚPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO**

**Investigadores:**

**GABRIEL ENRIQUE COGOLLO NOVOA**

**CARLOS EDUARDO MORALES VÉLEZ**

**Director:**

**MSC. ING. RAMON DE JESUS TORRES ORTEGA**



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

**2020**

**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL  
AGREGADO GRUESO SILICEO EN LAS DOSIFICACIONES DEL ADITIVO  
SÚPERPLASTIFICANTE EN EL CONCRETO**

**Investigadores:**

**GABRIEL ENRIQUE COGOLLO NOVOA**

**CARLOS EDUARDO MORALES VÉLEZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Director:**

**MSC. ING. RAMON DE JESUS TORRES ORTEGA**

**Grupo de investigación:**

**GEOTECNIA, MATERIALES, VÍAS Y TRÁNSITO**

**(GEOMAVIT)**

**Línea de investigación:**

**Materiales de Construcción**

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

**2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del director**  
**RAMON DE JESUS TORRES ORTEGA**

---

**Firma del jurado**  
**MODESTO BARRIOS FONTALVO**

---

**Firma del jurado**  
**RUBEN DARIO AGUILAR COLLAZO**

## Tabla de contenido

RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1 MARCO DE REFERENCIA .....	17
1.1 ANTECEDENTES .....	17
1.1.1 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, Castellón Corrales, Harold, De la Ossa Arias, Karen, tesis Universidad de Cartagena, facultad de ingeniería. 2013. ....	17
1.1.2 Evaluación del efecto de ADICEM GR – 200 sobre las propiedades de manejabilidad de la mezcla y resistencia del concreto, Céspedes Bedoya, Cristian, Díaz Arrieta, Carlos, tesis universidad de Cartagena, facultad de Ingeniería. 2007.....	21
1.2 ESTADO DEL ARTE .....	22
1.2.1 Nacional.....	23
1.2.2 Internacionales.....	26
1.3 MARCO TEÓRICO .....	40
1.3.1 Introducción a la tecnología del concreto.....	40
1.3.2 Cemento de Uso General.....	41
1.3.3 Agua .....	42
1.3.4 Agregados.....	43
1.3.5 Trabajabilidad o manejabilidad del concreto.....	43
1.3.6 Resistencia a la compresión.....	45
1.3.7 Aditivos .....	45

2	OBJETIVOS .....	48
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	48
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	48
3	ALCANCE .....	49
3.1	DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	49
3.2	DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	50
3.3	DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	50
3.4	PRODUCTO FINAL A ENTREGAR.....	51
3.5	PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS .....	51
3.6	EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES.....	52
4	METODOLOGÍA.....	53
4.1	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	56
4.1.1	Humedad (INVE-216-13).....	57
4.1.2	Análisis granulométrico (INVE-213-13).....	57
4.2	DISEÑO DE MEZCLA Y PREPARACION .....	60
4.3	FABRICACIÓN Y ENSAYOS A LOS ESPECÍMENES.....	62
4.3.1	Asentamiento del concreto hidráulico (SLUMP) –INVE-404-13.....	62
4.3.2	Elaboración y curado de los cilindros de concreto para ensayos de compresión (INVE-402-13). .....	65
4.3.3	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto y densidad (INVE-410-13). .....	67
4.4	SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN MÁS FAVORABLE DEL ADITIVO SÚPERPLASTIFICANTE PARA CADA TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.....	69
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	71
5.1	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES. ....	71

5.1.1	Agregado fino .....	71
5.1.2	Agregado grueso.....	74
5.1.3	Análisis granulométrico (INVE-213-13).....	77
5.2	FABRICACIÓN Y ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES. ....	82
5.2.1	Asentamiento del concreto hidráulico “SLUMP” (INVE-404-13). ....	82
5.2.2	Elaboración y curado de cilindros para el ensayo de compresión (INVE-402-13). ....	85
5.2.3	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (INVE-410-13). ....	86
5.3	SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN MÁS FAVORABLE DEL ADITIVO SÚPERPLASTIFICANTE PARA CADA TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.....	101
5.3.1	Dosificación óptima para el TMN 1” .....	101
5.3.2	Dosificación óptima para el TMN 3/4" .....	102
5.3.3	Dosificación óptima para el TMN 1/2” .....	103
6	CONCLUSIONES.....	106
7	RECOMENDACIONES .....	108
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	110

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Flujograma de la metodología a usar .....	30
Ilustración 2. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, sede Piedra Bolívar .	49
Ilustración 3. Ubicación geográfica de la empresa INGUETO Y CIA LTDA.....	50
Ilustración 4. Serie de tamices para agregado grueso.....	58
Ilustración 5 Separación de materiales según dosificaciones para la elaboración del concreto. .....	61
Ilustración 6. Proceso de mezclado para la obtención del concreto .....	62
Ilustración 7. Molde tronco-cónico (Cono de Abrams).....	63
Ilustración 8. Procedimiento técnico para el ensayo de asentamiento. ....	64
Ilustración 9. Medida del asentamiento.....	64
Ilustración 10. Moldes cilíndricos de 4” de diámetro y 8” de altura. ....	65
Ilustración 11. Preparación de los especímenes cilíndricos. ....	66
Ilustración 12. Acabado final de los especímenes cilíndricos de concreto. ....	66
Ilustración 13 Maquina de compresión simple.....	67
Ilustración 14 Tipos de falla de los ensayos a compresión de cilindros de concreto. ....	68
Ilustración 16 Agregado grueso – Grava tipo silíceo. ....	75
Ilustración 17 Separación manual de tamaños máximos de agregado grueso tipo silíceo. ..	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la metodología para la elaboración del proyecto. ....	54
Figura 2. Curva granulométrica – agregado fino.....	73
Figura 4. Curva granulométrica agregado grueso de TMN 3/4". ....	78
Figura 5. Curva Granulométrica agregado grueso TMN 1/2”.....	80
Figura 6. Curva Granulométrica agregado grueso de TMN 1”.....	82
Figura 7. Dosificación VS Asentamiento (“Slump”). ....	84
Figura 8 Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 1” .....	88

Figura 9 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 1”	89
Figura 10. Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 3/4”	91
Figura 11 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 3/4”	92
Figura 12. Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 1/2”	94
Figura 13 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 1/2”	95
Figura 14. Influencia de la relación agua-cemento y el tiempo de curado en la resistencia del hormigón	97
Figura 15. Relación entre la dosificación y la carga resistida a los 28 días por cada TMN.	97
Figura 16 Relación entre el asentamiento y la carga resistida a los 28 días, por cada TMN	98

#### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.	18
Tabla 2. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.	18
Tabla 3. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.	19
Tabla 4. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.	19
Tabla 5. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.	19
Tabla 6. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.	20
Tabla 7. Promedio de resistencia de los diseños en kg/cm <sup>2</sup> con ADICEM GR-200 con 30% de reducción de agua y sus respectivos diseños patrón.	22
Tabla 8. Dosificaciones de la mezcla.	23
Tabla 9. Dosificaciones de diferentes diseños de mezcla.	27
Tabla 10. Características del concreto en estado fresco.	28

Tabla 11. Características del concreto en estado endurecido. ....	28
Tabla 12. Propiedades en estado fresco, ensayo slump y tiempo que pasa para llegar a un asentamiento de 3” .....	30
Tabla 13. Propiedades en estado endurecido, resistencia a la compresión a los 3,7, 14 y 28 días.....	31
Tabla 14. Normas de ensayo y requisitos para cada material constituyente de la matriz de concreto. ....	34
Tabla 15. Propiedades en estado fresco del concreto. ....	35
Tabla 16. Propiedades en estado endurecido del concreto. ....	36
Tabla 17. Diseño de mezclas y resultados de resistencia a la compresión del concreto normal y el modificado. ....	39
Tabla 18. Especificaciones técnicas Cemento gris Argos de uso general. ....	42
Tabla 19 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.....	44
Tabla 20. Clasificación de los aditivos para concreto. ....	46
Tabla 21. Ficha Técnica – Aditivo reductor de agua de ultra alto poder. ....	47
Tabla 22. Número total de ensayos de asentamiento realizados. ....	55
Tabla 23. Número total de cilindros o testigos fabricados y ensayados por compresión simple. ....	56
Tabla 24. Caracterización del agregado grueso.....	59
Tabla 25. Caracterización del agregado fino. ....	59
Tabla 26. Relación entre la resistencia a la compresión.....	60
Tabla 27. Ensayo Humedad.....	71
Tabla 28. Análisis granulométrico del agregado fino.....	72
Tabla 29 Granulometría del agregado grueso TMN 3/4". ....	78
Tabla 30. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2". ....	79
Tabla 31. Granulometría del agregado grueso TMN 1”. ....	81
Tabla 32. Resultados ensayo de revenimiento o “Slump” para cada muestra.....	83
Tabla 33 Resultados de resistencia a la compresión para especímenes de T.M.N. 1”. ....	87
Tabla 34 Incremento porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para TMN 1”. ....	89

Tabla 35 Resultados de Ensayo a la compresión a los especímenes de T.M.N. 3/4". .....	90
Tabla 36. Incremento porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para.T.M.N. 3/4" . ....	91
Tabla 37. Resultados de Ensayo a la compresión a los especímenes de T.M.N. 1/2". .....	93
Tabla 38. Incremento de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para T.M.N. 1/2". .....	94
Tabla 39. Comparación de resultados entre investigaciones previas. ....	100
Tabla 40 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 1". .....	102
Tabla 41 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 3/4". .....	103
Tabla 42 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 1/2". .....	104
Tabla 43. Resumen de los resultados obtenidos. ....	105

## RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo como enfoque principal el estudiar el efecto del tamaño máximo nominal del agregado grueso sobre las cantidades de aditivo súperplastificante a emplear en una mezcla de concreto simple y así determinar su efecto sobre la resistencia a la compresión y la trabajabilidad en estado fresco y endurecido respectivamente. Con este fin se procedió a realizar pruebas de asentamiento y resistencia a la compresión para tres tamaños máximos nominales: 1"; ¾"; y ½"; a los cuales se les aplican cinco dosificaciones de aditivo súperplastificante: 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%, dando como resultado 135 especímenes de los que se obtendrían la resistencia a los 7, 14 y 28 días; y 15 ensayos de revenimiento (slump), manejando para todos los casos una relación agua-cemento (A/C) de 0.47.

Los resultados obtenidos de la prueba de asentamiento demuestran que existe una relación entre el tamaño máximo nominal y la cantidad de aditivo a emplear, puesto que para una misma dosificación se obtienen distintos asentamientos, dándose una tendencia incremental directamente proporcional al T.M.N. del agregado grueso y a su vez demostrando una estrecha conexión con la relación agua-cemento. Por su parte, las pruebas de resistencia a la compresión arrojaron resultados favorables respecto al objetivo principal, pues, se pudo evidenciar un comportamiento coherente dándose un aumento lineal respecto el tamaño máximo nominal y la cantidad de aditivo, reforzando así el hecho de que a mayor tamaño del agregado grueso se presentara una menor superficie específica y, por ende, la necesidad de menor cantidad de cemento, y al trabajar con una relación a/c constante de 0.47 se hace evidente el exceso para casos como el de T.M.N. 1". Finalmente se obtuvieron dosificaciones óptimas para cada tamaño nominal del agregado, siendo para los agregados de T.M.N. 1" 0.2% con  $f'c$  de 5708.32 PSI y asentamiento de 150 mm, para T.M.N. ¾" una dosificación de 0.4% con  $f'c$  de 4931.95 PSI y 178 mm para asentamiento; y finalmente para T.M.N. de ½" 0.4% con revenimiento de 150 mm y  $f'c$  de 4627.30 PSI.

## ABSTRACT

The present research work had as main focus the study of the effect of the maximum nominal size of the coarse aggregate on the amounts of superplasticizer additive to be used in a simple concrete mixture and thus determine its effect on the compressive strength and workability of concrete, both mechanical properties of the concrete in a hardened and fresh state respectively. For this purpose, settling and compressive strength tests were carried out for three maximum nominal sizes: 1", ¾" and ½"; to which five dosages of superplasticizer additive are applied: 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% and 0.8%, resulting in 135 specimens from which resistance would be obtained at 7, 14 and 28 days; and 15 slump tests, handling for all cases a water-cement ratio (A / C) of 0.47.

The results obtained from the settlement test show that there is a relationship between the maximum nominal size and the amount of additive to be used, since different settlements are obtained for the same dosage, giving an incremental tendency directly proportional to the M.N.S. of the coarse aggregate and in turn demonstrating a close connection with the water-cement relationship. On the other hand, for the tests of compressive strength they showed favorable results with respect to the main objective, because, a consistent behavior could be evidenced, giving a linear increase with respect to the maximum nominal size and the amount of additive, thus reinforcing the fact that the higher smaller specific surface size and therefore, less need cement quantity, and when working with a constant a / c ratio of 0.47, the excess becomes evident for cases such as M.N.S. 1". Finally, optimal dosages were obtained for each nominal size of the aggregate, being for the aggregates of M.N.S. 1" 0.2% with  $f'c$  of 5708.32 PSI and settlement of 150 mm, for M.N.S. ¾" a dosage of 0.4% with  $f'c$  of 4931.95 PSI and 178 mm for settlement; and finally for M.N.S. ½" 0.4% with 150 mm tempering and 4627.30 PSI  $f'c$ .

## INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de materiales de construcción, el más impactante e importante de todos es el concreto, conformado principalmente por agregados (fino y grueso), y un material cementante; es uno de los avances tecnológicos más relevantes de la historia de la humanidad; en la antigüedad, en tiempos del gran imperio Romano, se empleaba el concreto compuesto por un ligante preparado principalmente de cal viva, esta mezcla conformaba una matriz de concreto muy fuerte, tanto que estructuras como el panteón Romano, el gran coliseo Romano o el famoso puente de la guardia, hasta el presente aún se mantiene en pie o aún se pueden apreciar vestigios en buen estado de lo que alguna vez fueron. (Sika S.A.S., 2014). En la actualidad, el concreto está compuesto por un material ligante conocido como Clinker, el cual no es fabricado a base de cal viva, sobre todo porque ésta última al presentar grandes periodos de tiempo para fraguar no es muy practica en las estructuras en el presente, sino que su base está ligada a la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso, elementos que aumentan la velocidad de reacción y así mejoran el comportamiento esperado para la mezcla de concreto, sobre todo en el tiempo de fraguado (D. Sanchez, 2010).

En la industria de la construcción, el concreto toma mayor relevancia, puesto que su gran versatilidad lo hace apto para cualquier tipo de proyecto, desde la ejecución de viviendas pequeñas, esculturas y senderos hasta cimentaciones profundas (pilotes), puentes, obras hidráulicas (presas, vertederos), autopistas y rascacielos (Suarez, 2012). Ésta característica del concreto se da gracias a un compuesto que se desarrolla y aplica en los últimos años, los aditivos, éstos cumplen con el papel de mejorar, controlar o cambiar ciertas propiedades en la mezcla de concreto, y aunque su uso data desde la antigüedad, con la caída del imperio romano se produjeron pérdidas en técnicas y conocimientos relacionados a éstos, sin embargo, la necesidad de controlar las condiciones bajo las cuales trabajaría y las características que debería presentar el concreto llevó a los investigadores a generar avances tecnológicos para desarrollar éstos compuestos y recuperar su participación (Toxement, 2018); en adición, se demuestra que el uso de aditivos promueve la obtención de productos más competitivos y económicos frente a los demás materiales de construcción.

Para el año 1975, varios de los países más representativos a nivel de desarrollo tanto económico como en infraestructura, empleaban los aditivos en más del 50 % de la cantidad de hormigón producido, entre estos, Japón, Alemania, Australia, Estados Unidos y España. Esto da como impulso el aumento de estudios e investigaciones relacionadas a los aditivos, de modo que para finales del siglo XX, en Japón se desarrollan los aditivos súperplastificantes, a partir de la evolución del mercado de pinturas (Gaspar-Tebar, 1982).

Colombia, un país tercermundista en pleno crecimiento y desarrollo urbanístico, se caracteriza por el uso de muchos tipos de concreto (Suarez, 2012), sobretodo, porque gracias a la variedad de ecosistemas y condiciones tanto climáticas como geológicas características del país, es necesario producir estructuras de concreto aptas para soportar estas condiciones, por tal motivo se hace indispensable el uso de aditivos, en primera instancia, con el fin de disminuir costos de producción de concreto, y por otra parte, poder tener concretos más capaces de soportar las variaciones en las condiciones climáticas o geológicas que se presenten en las zonas donde se empleen. Los usos más comunes para los aditivos están relacionados con el comportamiento del concreto en estado fresco, en especial con la trabajabilidad o la relación agua/cemento de la mezcla, ambos factores afectados directamente por el clima, puesto que en zonas calurosas (costas) es tendencia a que se dé un fraguado rápido por la evaporación prematura del agua de la mezcla, mientras que por las zonas con climas más fríos, es común que se presenten problemas al momento de fraguar pues, se da una saturación de agua en las mezclas.

Ahora bien, la zona norte del país se encuentra ubicada en la costa caribe, por lo cual, es caracterizada por temperaturas y humedades altas, esto como consecuencia, produce que los hormigones presenten un rápido fraguado inicial y pérdida de agua, por lo que la principal problemática es la de mantener la mezcla en un estado manejable y que mantenga sus otras propiedades mecánicas y una de las soluciones empleadas es la aplicación de aditivos súperplastificantes, aditivos reductores de agua de alto rango.

En esta zona se encuentra la ciudad de Cartagena, una de las principales capitales, y una de las más afectadas por fuertes olas de calor; ésta al presentar un buen desarrollo en el sector de la construcción cuenta con varias productoras de concreto, las cuales se enfrentan a una problemática en común, la cual es mantener un concreto fresco y manejable con la menor

cantidad de agua posible sin que afecte el comportamiento en su estado final (endurecido). Como solución, estas empresas optan por la producción y utilización de aditivos de tipo súperplastificante, los cuales son empleados con base en estudios que se realizan en los respectivos grupos de investigación y desarrollo de estas empresas, y quedan consignados en las respectivas fichas técnicas de estos productos. En estas especificaciones se ofrecen rangos a emplear en función de la cantidad de material cementante a utilizar sin tener en cuenta la existencia de una relación o interacción con los demás componentes de la matriz de hormigón. En investigaciones realizadas en distintas Universidades de Perú (Universidad Nacional del centro del Perú, Universidad privada Antenor Orrego, entre otros.), estudiaron la incidencia entre los agregados áridos de la mezcla de concreto y la dosificación del aditivo súperplastificante sobre propiedades mecánicas del concreto como la manejabilidad durante el estado fresco y la resistencia a la compresión durante el estado endurecido, de esto se concluyó que a partir de proporciones óptimas de agregados grueso y fino, se obtuvieron resultados favorables para el concreto, evitándose el riesgo de segregación e implementando dosificaciones mayores a las estipuladas por los productores en las fichas de especificaciones de los productos (Huincho, 2011; Montero Meléndez & Vásquez Chico, 2018).

En la Universidad de Cartagena se realizó una investigación la cual tuvo como fin encontrar la variación en las propiedades de trabajabilidad y resistencia del concreto hidráulico empleando el aditivo súperplastificante 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 fue realizado en la ciudad de Cartagena, D. T. y C, capital del departamento de Bolívar, ubicado en la costa caribe al norte de Colombia. Se desarrolló con el fin de determinar el tipo y tamaño máximo nominal del agregado grueso tipo silíceo en la cantidad de aditivo súperplastificante, y el efecto de esta relación sobre las propiedades físico-mecánicas del concreto, teniendo en cuenta que tanto el tipo del agregado

como su tamaño y propiedades intrínsecas pueden afectar a las características del concreto; además, al conocer bibliográficamente que el amplio compendio de investigaciones a nivel internacional obvian la relación del tipo de agregado con los aditivos a utilizar y que a nivel local los estudios son prácticamente escasos, la realización de la presente investigación se justifica pues servirá como referente para futuras investigaciones, y los resultados obtenidos podrían ser empleados tanto en el ámbito práctico como teórico. Lo expuesto anteriormente se hace con el objeto de poder responder al siguiente interrogante:

¿Qué relación existe entre el porcentaje de aditivo súperplastificante a utilizar con respecto al tamaño máximo nominal de los agregados pétreos utilizados en la matriz del concreto?

La investigación estuvo amparada por el grupo de investigación GEOMAVIT, enfocándose en la relación existente entre los objetivos y la metodología que se propone, y línea de investigación de materiales de construcción, los conocimientos y metodologías a utilizar, los cuales hacen parte de la rama de estudio de este grupo de investigación. Los resultados obtenidos servirán de soporte y precedentes para otras investigaciones futuras, y el producto a entregar será aplicable al campo práctico (construcción). Hecho que puede verse como un aporte a la comunidad académica en general.

## 1 MARCO DE REFERENCIA

La importancia de los aditivos se registra a nivel internacional desde hace muchos años, sobre todo en países con alto desarrollo constructivo, como Japón, Alemania o los EEUU, los cuales emplean la innovación y aplicación de aditivos con el fin de conseguir los resultados más óptimos dependiendo de las condiciones o circunstancias que impiden la aplicación de un concreto simple. Con base en esto, países en vía de desarrollo, han incrementado el uso de estos compuestos y, por ende, el interés sobre la innovación e investigación de aditivos se ha impulsado. Dentro de la gama de aditivos presente se ha notado un incremento en la investigación referente a los aditivos súperplastificantes, caracterizados por ser el principal componente cuando de concretos autocompactante se trata.

En América, países como México, Perú y Venezuela, en los últimos años han presentado un aumento en el estudio referente a la aplicación de los aditivos súperplastificantes, ya sea con el fin de medir la manejabilidad o reducción de agua necesaria para la mezcla de concreto, y así, disminuir el costo total de producción de hormigón.

### 1.1 ANTECEDENTES

Colombia, al ser un país con múltiples condiciones climáticas y geológicas también le ha dado la importancia necesaria a los aditivos, pero en comparación con otros países aún se encuentra rezagado. En Cartagena, una ciudad ubicada en la zona norte del país, se han realizado pocas investigaciones al respecto; durante las últimas dos décadas se llevaron a cabo investigaciones relacionadas a los comportamientos del concreto con aditivos, ya sea un concreto hidráulico o asfáltico, y dentro de éstos, solo una relacionada a los aditivos súperplastificantes. A continuación, se presentarán estas investigaciones.

**1.1.1 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, Castellón Corrales, Harold, De la Ossa Arias, Karen, tesis Universidad de Cartagena, facultad de ingeniería. 2013.**

La investigación tuvo como objetivo el comparar la resistencia a la compresión inicial y final de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III de 4000 psi, modificados con aditivos acelerantes y retardantes. Para el desarrollo se realizaron los ensayos a los materiales según dicta la norma NTC desarrolladas por el instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), obteniendo resultados favorables y óptimos. A partir de estos resultados se procede a realizar el diseño de mezcla obteniéndose una relación A/C de 0.40, dosificación de los aditivos de 2% en 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. Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión fueron los siguientes:

Tiempo (Días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	2751	80	68.775	11.225
14	3600	3001.5	90	75.03375	14.9625
28	4000	2935	100	73.375	26.625

*Tabla 1. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.*

*Fuente: (Castellón & De la Ossa, 2013).*

Tiempo (días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	3162.5	80	79.0625	0.9375
14	3600	2905.5	90	72.6375	17.3625
28	4000	2415	100	60.375	39.625

*Tabla 2. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.*

*Fuente: (Castellón & De la Ossa, 2013).*

Tiempo (días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	3346.5	80	83.6625	-36.625
14	3600	3586	90	89.65	0.35
28	4000	3835	100	95.875	4.125

*Tabla 3. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo I, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.*

*Fuente: (Castellón & De la Ossa, 2013)*

Tiempo (días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	3917.5	80	97.9375	-17.9375
14	3600	4321.5	90	108.0375	-18.0375
28	4000	4230.5	100	105.7625	-5.7625

*Tabla 4. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.*

*Fuente: (Castellón & De la Ossa, 2013).*

Tiempo (días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	4085	80	102.125	-22.125
14	3600	4408	90	110.2	-20.2
28	4000	4019.5	100	100.4875	-0.4875

*Tabla 5. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.*

*Fuente:(Castellón & De la Ossa, 2013).*

Tiempo (días)	Resistencia esperada (Psi)	Resistencia obtenida promedio (Psi)	Resistencia esperada (%)	Resistencia respecto a la esperada (%)	Porcentaje de disminución
0	0	0	0	0	0
7	3200	4712.5	80	117.81	-37.815
14	3600	5171	90	129.28	-39.28
28	4000	4826.5	100	120.66	-20.66

**Tabla 6. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.**

**Fuente: (Castellón & De la Ossa, 2013).**

De los resultados obtenidos, los investigadores 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 ésta mayor en el cemento tipo III, incidió en que se alcanzara una mayor resistencia a edades tempranas. En las mezclas realizadas con cemento tipo I se evidenció una resistencia a la compresión tipo decreciente independientemente de la adición de aditivos, de lo cual se concluyó que se debió a que la relación agua/cemento no fue óptima para ese diseño, ya que se mantuvo la misma para las tres muestras de concreto. Por tanto, se recomendó el variar las dosificaciones de los aditivos manteniendo la misma relación agua/cemento. Respecto al uso de los aditivos los resultados demostraron la real incidencia de éstos sobre la resistencia a la compresión, determinando la relación en su dosificación y otras características del concreto, como la relación agua/cemento.

Esta investigación a diferencia de esta propuesta, se diferencia en que se utilizaron solo aditivos acelerantes y retardantes, se mantuvo un mismo porcentaje de dosificación y no se tuvo en cuenta la influencia de los aditivos sobre los componentes del concreto como el tipo de agregado grueso o fino; al obtener resultados poco alentadores con un tipo de cemento, abren la posibilidad a nuevas investigaciones en relación con los distintos tipos de aditivos y cemento, y estudiar cómo estos afectan otras propiedades del concreto en relación con las partes que lo componen y la cantidad usada.

### **1.1.2 Evaluación del efecto de ADICEM GR – 200 sobre las propiedades de manejabilidad de la mezcla y resistencia del concreto, Céspedes Bedoya, Cristian, Díaz Arrieta, Carlos, tesis universidad de Cartagena, facultad de Ingeniería. 2007**

Esta investigación tenía como objetivo principal el 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. El tipo de investigación que se llevó a cabo era de tipo experimental, dividiendo la metodología en una etapa de recolección de información y otra experimental donde se realizan tanto un diseño de mezcla, como ensayos de laboratorio con base en los dictados por la norma NTC desarrollada por la Icontec. Para los diseños de mezclas con el aditivo ADICEM GR-200 se realizaron con dosificaciones de 260, 285 y 310 kg de cemento, las reducciones de agua fueron del 20%, 30% y 40% y una proporción de 1.1% de aditivo respecto a la cantidad de cemento utilizada. Todos estos parámetros serán respecto a una muestra patrón. 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. De los resultados obtenidos 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 óptima 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 Tabla 7.

Cantidad de cemento (Kg)	P+A			P		
	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 7. Promedio de resistencia de los diseños en kg/cm<sup>2</sup> con ADICEM GR-200 con 30% de reducción de agua y sus respectivos diseños patrón.*

*Fuente: (Céspedes & Díaz, 2007).*

De estos resultados se concluye que, el comportamiento óptimo lo presenta el diseño de mezcla para 310 kg de cemento, el cual a los 28 días presenta una resistencia a la compresión superior al determinado por la respectiva muestra patrón. En términos generales se tiene que los diseños que presentaron mejor comportamiento fueron los de 285 y 310 kg respectivamente. Para finalizar, 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<sup>3</sup> de 285 kg.

Esta investigación es importante porque, al tratar con un aditivo súperplastificante, ayuda a prever el comportamiento que se puede obtener. Se diferencia con la presente propuesta, pues, aunque el objetivo fue determinar la variación de las propiedades mecánicas del hormigón, solo se tuvo como variable la dosificación del aditivo, y no su relación con los otros componentes del concreto distintos a la cantidad de cemento, sin embargo, esto da fuerza al objetivo de esta propuesta que es buscar esta relación entre agregados áridos y el aditivo.

## 1.2 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentará un compendio de varias investigaciones en los últimos 10 años tanto a nivel nacional como internacional, encaminadas al estudio y uso de los Aditivos Súperplastificantes en la matriz del concreto y los efectos causados en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido, teniendo mezclas patrones con dosificaciones

óptimas de agregados, debido a la relevancia que tienen estos en las características mencionadas.

## 1.2.1 Nacional

### 1.2.1.1 Estudio a nivel de Colombia de la influencia del aditivo better mix en estado fresco, semi-endurecido y endurecido del concreto estructural. Ocampo Lizeth, Macías Fabio. Universidad de la Salle, Programa de ingeniería civil, Bogotá-Colombia (2015).

La investigación tuvo como objetivo establecer la influencia del aditivo BETTER MIX en 14 Mezclas de concreto de resistencia de 28 MPa en las propiedades del concreto en estado fresco, semi endurecido y endurecido, con el propósito de evaluar si la utilización de dicho aditivo en la industria del concreto en el país mejora la calidad del hormigón reflejada en las propiedades de este en sus tres estados (fresco, semi endurecido y endurecido); evaluaron el desempeño de tres cementos Cemex, Argos y Holcim. Para esto inicialmente realizan un diseño de mezcla como muestra patrón a través del método ACI, donde el asentamiento es de 12.7cm (se usa un plastificante EUCON 37, 1.3% en peso), con un tamaño máximo nominal de agregado pétreo de 1", relación A/C de 0.48 y las siguientes dosificaciones:

<i>CANTIDAD PARA 1 M3</i>			
<i>Material</i>	<i>Peso Kg/m3</i>	<i>Densidad Kg/m3</i>	<i>Volumen m3/m3</i>
cemento	375	2900	0.129
aire	0	0	0.015
agua	180	1000	0.18
grava	900	2577	0.349
arena	818	2507	0.326
			1

**Tabla 8. Dosificaciones de la mezcla.**

**Fuente: (Ocampo & Macías, 2015)**

Seguidamente para evaluar el efecto en los tres tipos de cementos, varían la dosis de aditivo (250, 300 y 350 g/m<sup>3</sup>) en la muestra patrón realizada con cemento argos tipo 1, con el

propósito de encontrar el consumo óptimo de aditivo, el cual fue para este estudio de 350g/m<sup>3</sup> que arrojó un aumento de 2.54 cm de asentamiento, 0.8% de aire y de 8,29 kg/m<sup>3</sup> 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 32.66MPa(27Mpa sin aditivo), y nivel de absorción o Sortividad baja respecto al patrón.

Luego de encontrar el porcentaje óptimo (350g/m<sup>3</sup>) procedieron a realizar especímenes con el mismo diseño de mezcla con el consumo óptimo de súperplastificante pero con diferente procedencia del cemento portland tipo 1 (Holcim, Cemex y argos) y determinar sus propiedades en estado fresco, semi endurecido y endurecido, de dichos resultados concluyeron que dependiendo del tipo de cemento los resultados variarían en mayor o menor proporción, las características en estado fresco no sufrieron modificación significativa, puesto que el aumento del asentamiento promedio para cualquier tipo de cemento fue de 1cm con respecto al concreto sin aditivos. En cuanto a estado semi endurecido, el uso de aditivos reduce el efecto de la contracción plástica y por ende la cantidad de fisura disminuye (1 fisura), son menos anchas (1.5mm) y duran más tiempo en aparecer, esta tendencia fue similar para los tres tipos de cemento y por último para el estado endurecido la resistencia a la compresión aumentó con el uso del aditivo, dicho aumento en promedio fue de 3,8 MPa para Argos, 2,73 Mpa para Cemex y 4,9 Mpa para Holcim, las resistencias sin aditivos fueron de 27, 29.11 y 29,63 Mpa a 28 días respectivamente.

#### **1.2.1.2 Efecto del contenido de agua y adición de súperplastificantes (SPs) sobre la trabajabilidad y resistencia a la compresión de pastas y morteros hechos a base de cemento híbrido (CH). Moreno Nathalie Universidad Nacional, sede Medellín. (2017).**

La investigación tuvo como objetivo determinar el efecto que tiene el contenido de agua y diferentes tipos de aditivos súperplastificantes SPs (lignosulfonato-LS, naftaleno sulfonatos-NS y policarboxilatos-PC) sobre parámetros de trabajabilidad y resistencia a la compresión

de morteros hechos con cemento híbrido compuesto por un 70% de Cemento Activado Alcalinamente (CAA), hidróxido de sodio (NaOH) en estado sólido y 30% Cemento Pórtland Ordinario con altas resistencias tempranas (CPO). El CAA usado es una ceniza volante clase FA.

Inicialmente realizan una caracterización de todos los materiales (Cemento ordinario, activado, NaOH, arena de sílice y aditivos) en cuestión de tal forma que cumplan requerimientos o normas técnicas exigidas, seguidamente proceden a realizar dos cementos Híbrido el primero compuesto por (70%, 30%, 3%) y el segundo por (70%, 30%, 5%) de CAA, CPO y Na<sub>2</sub>O (Activador) respectivamente, disponiéndolos en una amasadora hasta lograr una homogenización de este. Luego procedieron a encontrar el diseño de una pasta patrón para el CH de 3% y 5% de Na<sub>2</sub>O, variando la relación Líquido/sólido(L/S) y escoger la relación que obtuviera la consistencia normal (penetración 10mm aguja Vicat) y bajo estos diseños se calculó la fluidez y la resistencia a compresión, para un CH activado con 3% Na<sub>2</sub>O la relación L/s fue de 0.370, la resistencia a 7 días fue de 9.07, a 28 fue de 10,63 Mpa para el de 5% la L/S fue de 0.346, la resistencia a 7 días fue de 12.83, a 28 fue de 14.19 Mpa y la fluidez en ambos caso fue de aproximadamente 75%, del estudio concluyeron que a mayor L/s mayor será la consistencia y fluidez de la pasta, la máxima resistencia se da con la misma relación L/s que alcanza la consistencia normal, que se necesitó menos cantidad de agua para alcanzar la consistencia normal, el tiempo de fraguado fue menor y la resistencia fue mayor en la concentración más alta(5%Na<sub>2</sub>O); por otro lado, para el mortero la relación L/s que obtuvo mayor resistencia fue de 0,6 en ambas concentraciones, para 3% su resistencia fue de 4.23 a 7 días y 4,29 Mpa a 28 días con fluidez de 10,27%; para 5% su resistencia fue de 5,27 a 7 días y 5,27 Mpa a 28 días con fluidez de 18,45, de los datos concluyeron que el no hubo un aumento significativo de resistencia en los tiempos de curado y tampoco entre las diferentes concentraciones de Na<sub>2</sub>O; de las resistencias registradas en los morteros ninguna cumple con la exigida por la norma NTC 121 (21 Mpa) .

Luego de trabajar con muestras patrón e identificar la incidencia de contenido de agua, procedieron a encontrar el efecto de los súperplastificantes en la pasta y mortero hechos a base de cemento híbrido, para este caso solo trabajan con concentración de 3% de Na<sub>2</sub>O seleccionan una L/s constante de 0,33 menor a la muestra patrón de 0.37 y varían los

porcentajes de aditivo hasta determinar el consumo que produzca la consistencia normal (10mm). Para el aditivo Sps Lignosulfonato (LS) el porcentaje fue de 0,75% , arrojó un tiempo de fraguado final de 2 horas, su fluidez fue de 76%, la resistencia a los 7 días fue de 19,33 y a 28 fue de 20.03 Mpa, el aditivo Naftaleno (NS) fue de 3% con un tiempo de fraguado final de 3 horas su fluidez fue de 54%, la resistencia a los 7 días fue de 18,17 y a 28 fue de 16.97 Mpa y el aditivo Policarboxilato (PC) fue de 1.5% con un tiempo de fraguado final de aproximadamente 4 horas , su fluidez fue de 40%, la resistencia a los 7 días fue de 8,23 y a 28 fue de 8.06 Mpa

A partir de estos datos concluyeron que, el aditivo de tipo Ls con porcentajes muy mínimos en comparación a los de tipo NS alcanza la consistencia normal, es decir el aditivo Ns requiere mayor consumo para llegar a una penetración de 10mm; en cuanto al tiempo de fraguado los aditivos de origen LS y Ns aceleran el tiempo haciendo que no cumplan con la norma, sin embargo, se observa que los aditivos de origen PC retardan dicho proceso pero cumplen con los parámetros de la norma; la fluidez de la mezcla a pesar de tener la misma consistencia normal para los tres tipos de aditivos fueron diferentes y por último, la resistencia no varió de los 7 a 28 días, de lo cual se asume que la pasta de cemento híbrido desarrolla resistencias máximas a edad temprana, tanto los aditivos de tipo Ls y Ns aumentaron la resistencia un 61,4% respecto a las pastas patrón, lo contrario sucedió con el aditivo Pc donde la resistencia de la pasta fue menor a la patrón representando un 62,2% de este, debido a que para LS y NS su tiempo de fraguado fue rápido produciendo mayores resistencias en comparación a NS que el tiempo fue lento.

## 1.2.2 Internacionales.

### 1.2.2.1 **Concreto de alta resistencia usando aditivo súperplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo 1". Huincho Edher. Universidad nacional de ingeniería Lima, Perú (2011).**

El objetivo de la investigación fue determinar las variaciones de las características del concreto en estado fresco y endurecido, al adicionar aditivos súperplastificantes y el uso de microsílíce y nanosílíce en diferentes proporciones a la pasta de concreto; con el fin de encontrar las dosificaciones óptimas de los productos de origen silicio. Para esto, desarrollan las dosificaciones de un concreto patrón donde la proporción de agua y cemento es de 0.4,

un consumo de cemento de 560 kg/m<sup>3</sup> de concreto y la relación de agregado fino/grueso es de 53/47. Este último parámetro se halló a través del método del peso unitario compactado, donde la relación óptima con menor vacío y mejor interacción o acomodamiento de partículas finas y gruesas fue el mencionado. Posteriormente, a la pasta patrón le adicionaron un 3% de aditivo súperplastificante, cambian su relación agua cemento A/c a 0,25 debido a que los aditivos de este tipo son reductores de agua de alto rango, luego hicieron varias mezclas adicionando diferente porcentaje de microsílíce, nanosílíce y la combinación de ambos, así:

Diferentes tipos de mezclas	Nomenclatura
Concreto patrón	CPO
Concreto patrón(A/C=0,25)+3% aditivo	CPA
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+10% microsílíce	SF10
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+15%microsílíce	SF15
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+20%microsílíce	SF20
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+1% nanosílíce	NS1,0
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+1,5%nanosílíce	NS1,5
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+2%nanosílíce	NS2,0
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+5% microsílíce y 0,5% nanosílíce	M5,0N0.5
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+7.5% microsílíce y 1% nanosílíce	M7,5n1.0
Concreto patrón (A/C=0,25) +3% aditivo+10% microsílíce y 1.5% nanosílíce	M10N1.5

*Tabla 9. Dosificaciones de diferentes diseños de mezcla.*

*Fuente: (Huincho, 2011)*

Es menester mencionar que los porcentajes de aditivos, nanosílíce y microsílíce son respecto al peso del cemento.

Luego de tener su diseño de mezcla para cada caso, procedieron a determinar los valores de las características del concreto en estado fresco y endurecido.

MEZCLA	Asentamiento (cm.)	Asentamiento (pulg.)	Extensibilidad (cm.)	Capacidad de paso h2/h1
CPO	8.8	3 1/2	20.0	0.99
CPA	27.9	11	75.5	1.00
SF10	26.6	10 1/2	70.5	0.97
SF15	26.0	10 1/4	59.0	0.86
SF20	26.0	10 1/4	57.5	1.00
NS1.0	27.3	10 3/4	73.5	0.99
NS1.5	26.6	10 1/2	72.0	0.96
NS2.0	26.6	10 1/2	72.5	0.99
M5.0N0.5	27.3	10 3/4	73.5	0.99
M7.5N1.0	26.0	10 1/4	63.5	0.99
M10N1.5	26.0	10 1/4	64.5	0.98

*Tabla 10. Características del concreto en estado fresco.*

*Fuente: (Huincho, 2011).*

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )					TRACCIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )		MODULO DE ROTURA (Kg/cm <sup>2</sup> )		
	EDAD (días)					T-28 días	T/f'c (28)-%	MR-7 días	MR-28 días	MR/f'c (28)-%
	1	3	7	28	90					
CPO	262	390	455	550	621	52.83	6.04	103.10	108.20	12.38
CPA	539	698	754	874	922	61.78	5.11	111.20	138.50	11.47
SF20	501	757	764	1134	1398	62.13	5.50	117.60	140.30	12.43
SF15	419	676	731	1129	1393	62.53	5.51	118.80	145.80	12.86
SF10	393	704	833	1208	1423	53.10	5.49	97.10	119.70	12.37
M10N1.5	448	719	791	1089	1298	56.19	5.90	109.50	123.60	12.98
M7.5N1.0	448	715	764	1076	1291	57.23	6.05	104.50	106.30	11.24
M5N0.5	409	620	826	1065	1267	58.78	5.52	104.40	132.40	12.43
NS2.0	410	712	772	946	1066	60.59	5.63	109.20	139.00	12.92
NS1.5	423	722	768	952	1103	61.84	5.68	114.00	145.60	13.37
NS1.0	445	702	744	968	1130					

*Tabla 11. Características del concreto en estado endurecido.*

*Fuente: (Huincho, 2011).*

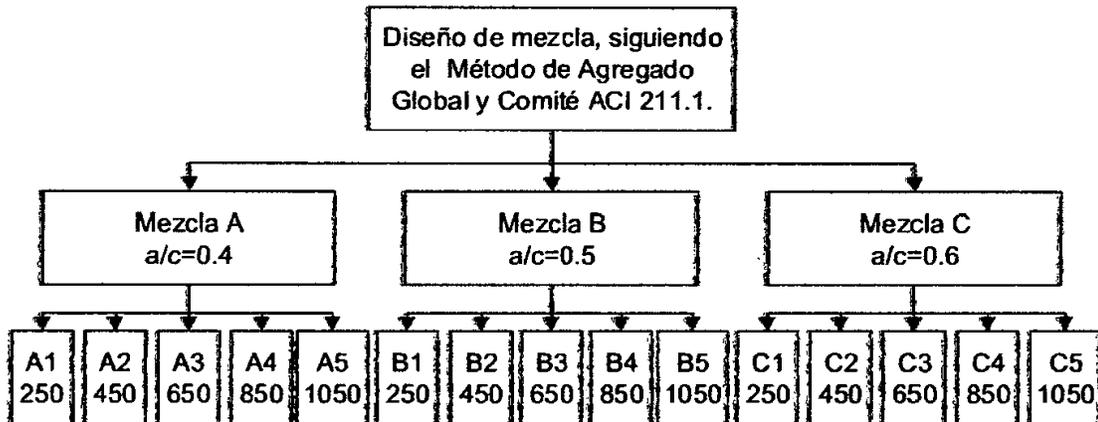
De los resultados concluyeron que la dosis óptima de microsílíce es de 10%, nanosílíce 1% y el caso combinado 5% microsílíce más 0.5 de nanosílíce, obteniendo las mayores resistencias de 1420, 968 y 1065 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Adicionalmente, notaron que las

adiciones de solo microsílíce (10%, 15%, 20%), desarrollaron mayores resistencias en comparación a las adiciones de nanosílíce y combinado, si bien son mayores con respecto a el concreto patrón, pero inferiores con respecto al adicionado con microsílíce, sin embargo, en cuanto al costo, el uso de nanosílíce es económicamente más viable que el uso de microsílíce puesto que se usa una menor proporción en nanosílíce que en microsílíce

**1.2.2.2 Influencia del aditivo súperplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto de alta resistencia, en la ciudad de Huancayo. Mayta, Jhonathan. Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad de ingeniería civil, Huancayo, Perú (2014).**

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del aditivo súperplastificante en las propiedades del concreto para el estado fresco y endurecido. Con el propósito de brindar conocimiento sobre las posibilidades y limitaciones del uso de este aditivo en la mejora de la calidad del concreto que en ocasiones se ve afectada en la fabricación manual del concreto como en su resistencia debido a la modificación de la relación A/C en busca de aumentar su manejabilidad y no teniendo un control en el tiempo de fraguado característica que permite planificar los procesos en obra como transporte, colocación, consolidación, entre otros. Como actividades preliminares hicieron una caracterización de los materiales constituyentes de la matriz de concreto de tal forma que estos cumplieran con los estándares de calidad según normas y ensayos nacionales e internacionales (Humedad, absorción, gradación o granulometría, peso específico, calidad del agua, entre otros). Posterior a eso, luego de garantizar la calidad de los materiales, procedieron a realizar diseños de mezclas patrones con relación A/C de 0.4, 0.5 y 0.6 siguiendo el método de agregado Global del ACI, que busca la proporción óptima de agregadas fino/grueso que desarrollen mejor compacidad, acomodamiento entre partículas reduciendo al máximo vacíos entre ellos, que para esta investigación la proporción donde se obtuvo un peso unitario compactado máximo de  $23055\text{kg}/\text{cm}^3$ , fue de 52% de arena y 48% de agregado grueso. Posterior a eso adicionan diferentes porcentajes de aditivos súperplastificante dentro del rango (250 a 1050/100kg cemento) recomendado por la ficha técnica del producto, en la ilustración 1 se mostrará el proceso hasta ahora descrito:

*Ilustración 1. Flujoograma de la metodología a usar*



*Fuente: (Mayta, 2014).*

Luego de estipular los diferentes diseños de mezclas con y sin aditivos, proceden a calcular las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. Cabe mencionar que los diseños de mezclas realizados se hicieron bajo las siguientes condiciones ambientales: humedad relativa promedio de 60.8%, temperatura ambiente promedio 13.1 °C y viento promedio de 0 km/h.

ID MEZCLA	RELACION a/c	DOSIS (ml/100kg)	SLUMP MÁXIMO (pulg)	% DE VARIACION CON RESPECTO AL PATRON	TIEMPO TRANSCURRIDO (minutos)	% DE VARIACION CON RESPECTO AL PATRON
A	0.40	0	4	100.0%	38	100.0%
A-1	0.40	250	6	150.0%	75	197.4%
A-2	0.40	450	7 1/4	181.3%	85	223.7%
A-3	0.40	650	8	200.0%	105	276.3%
A-4	0.40	850	9 1/4	231.3%	130	342.1%
A-5	0.40	1050	10	250.0%	135	355.3%
B	0.50	0	4	100.0%	27	100.0%
B-1	0.50	250	6	150.0%	52	192.6%
B-2	0.50	450	7 1/2	187.5%	70	259.3%
B-3	0.50	650	8 3/4	218.8%	75	277.8%
B-4	0.50	850	9	225.0%	97	359.3%
B-5	0.50	1050	9 1/2	237.5%	105	388.9%
C	0.60	0	4	100.0%	20	100.0%
C-1	0.60	250	5 3/4	143.8%	45	225.0%
C-2	0.60	450	7 1/2	187.5%	55	275.0%
C-3	0.60	650	8	200.0%	65	325.0%
C-4	0.60	850	8 3/4	218.8%	75	375.0%
C-5	0.60	1050	9 1/4	231.3%	90	450.0%

*Tabla 12. Propiedades en estado fresco, ensayo slump y tiempo que pasa para llegar a un asentamiento de 3”.*

*Fuente: (Mayta, 2014).*

Los ensayos realizados en estado fresco fueron asentamiento, segregación estática y tiempo transcurrido para alcanzar un asentamiento de 3'' (ver tabla 9). De acuerdo a los datos concluyeron que la trabajabilidad medida por estos tres ensayos presenta una relación directa con el porcentaje de aditivo empleado; los mayores valores se presentaron en las dosificaciones con mayor consumo de cemento puesto que la cantidad de aditivo se mide con respecto al peso de éste. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de 4 a 10'' en asentamiento, tiempos de 75 a 135 minutos y segregación de 0 a 14%.

De los ensayos de las características del concreto endurecido ver tabla 10.

ID MEZCLA	DOSIS (ml/100kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION			
		3d	7d	14d	28d
A	0	298.43	379.19	420.74	450.04
A-1	250	303.21	382.91	434.77	455.02
A-2	450	310.10	401.35	442.62	468.95
A-3	650	324.81	408.03	456.25	481.14
A-4	850	299.50	383.79	431.69	455.63
A-5	1050	293.06	367.16	415.76	443.65
B	0	184.13	275.33	326.35	365.63
B-1	250	225.65	299.98	330.84	372.23
B-2	450	239.51	317.41	350.60	378.60
B-3	650	268.04	332.93	376.04	395.50
B-4	850	231.27	312.41	356.54	379.69
B-5	1050	212.39	292.22	328.39	367.08
C	0	134.73	185.76	221.33	252.23
C-1	250	151.84	228.56	250.43	270.24
C-2	450	185.64	248.82	270.09	283.93
C-3	650	194.32	261.81	280.02	292.02
C-4	850	180.71	238.72	263.10	273.18
C-5	1050	173.05	225.74	237.95	255.70

*Tabla 13. Propiedades en estado endurecido, resistencia a la compresión a los 3,7, 14 y 28 días.*

*Fuente: (Mayta, 2014)*

De acuerdo a los resultados, se evidencia que para cualquier porcentaje de dosificación de aditivo se tuvo un aumento de resistencias en comparación al concreto patrón a cualquier edad (Excepto A5), sin embargo los valores máximos de resistencias se obtienen con una dosificación de 650ml/100 kg de cemento, para cualquier relación A/C y edad del concreto. Y que una dosificación por encima de este (850 y 1050), hace que decrezca dicha propiedad, aun comparado las con el porcentaje de aditivo mínimo que fue de 250ml/100kgde cemento.

### **1.2.2.3 Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo súperplastificante (reductor de agua de alto rango). Garay Lisandra, Quispe Carol. Universidad Católica del Perú (2017).**

El objetivo de esta investigación fue plantear una alternativa que contribuya a mejorar la resistencia a compresión de los concretos elaborados en las obras de autoconstrucción, mediante el empleo de aditivos súperplastificantes que mejoran las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, con el fin de mitigar los riesgos asociados a la poca calidad del concreto realizado in situ que comúnmente no cumplen con los requerimientos mínimos exigidos en las normas, debido a que en el Perú, lugar de la investigación según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para el 2014 el 72% de las construcciones son informales, mala calidad, no presenta personal cualificado y proceso constructivo inadecuado (Garay & Quispe, 2016).

Teniendo en cuenta que la base de la investigación es disminuir los riesgos del concreto hecho en obra a través de la implementación del uso de aditivo súperplastificante, los diseños de mezclas en estudio fueron los realizados por 12 obras informales donde la escogencia de las dosificaciones (cemento, arena, grava y relación A/C), fueron las propuestas por cada maestro de obra sin seguir ningún método o parámetro de diseño, sino por la experiencia, pericia e inspección visual de estos, posterior a eso procedieron a realizar los diseños de mezcla a través de un proceso normalizado, método ACI, encontrando variaciones (relación agregados, relación A/C, a requerida) entre lo real en obra (empírico) y lo diseñado. Seguidamente se procedió a determinar la trabajabilidad de los 12 diseños de mezcla de cada obra sin aditivos y con aditivos el cual fue el mismo porcentaje en todos los diseños, los resultados arrojaron que sin aditivo los asentamientos en promedio fueron de 8.5" y en la mayoría el asentamiento fue mayor a 8", dichos valores según el método ACI son mayores a lo permitido, esto sucede debido a que el maestro decide adicionar más agua de la que necesita para hacer un concreto más manejable y realizar el proceso de vaciado con mayor facilidad, no sabiendo que al aumentar A/C disminuye la resistencia a la compresión. Con aditivo los valores fueron mayores a 7" casi iguales a la pasta sin aditivos, esto es porque en el momento de la adición de este, los maestros redujeron la relación A/C, debido a que

encontraron una pasta fluida con el aditivo y adicionarle más agua la volvería más fluida y ocasionaría segregación en la mezcla, ya sea agua, cemento u otro material. Esto les permitió entonces ganar más resistencia al reducir la cantidad de agua a utilizar. Finalmente de los diseños de mezclas tomaron muestras para la realización de probetas cilíndricas para sometimiento al ensayo de compresión, las muestras sin aditivos obtuvieron resistencias en promedio de 138kg/cm<sup>2</sup> valor por debajo del mínimo 175kg/m<sup>2</sup>, cabe resaltar que de acuerdo al método ACI dicho valor tiene una desviación estándar para concretos con producción deficiente dando una resistencia real de 61,53Kg/cm<sup>2</sup>, ahora bien con aditivos los valores aumentaron puesto que el promedio fue de 184kg/cm<sup>2</sup> con desviación el valor fue de 107,52Kg/cm<sup>2</sup> valor que aumentó un 40% en comparación a los concretos sin aditivos pero aún menor que el requerido por norma 175kg/cm<sup>2</sup>. A manera de conclusión los autores mencionan que dicha implementación de aditivo pese a no ser la solución óptima al problema, permite un aumento a la calidad del hormigón con una gran fluidez de la pasta.

**1.2.2.4 Aditivo súperplastificante y su influencia en la consistencia y desarrollo de resistencias de concreto para  $F'c = 175, 210, 245 \text{ kg/cm}^2$ ". Sánchez Kemmer. Universidad Continental, Facultad de ingeniería. Huancayo, Perú. (2017).**

La presente investigación tuvo como objetivo "Determinar la influencia del uso de aditivo súperplastificante en la consistencia y desarrollo de resistencias de concreto para  $f'c = 175, 210, 245 \text{ kg/cm}^2$ , con el propósito de mejorar o mantener la calidad y productividad (eficiencia) del concreto al ser utilizado en estructuras densamente armados en donde el transporte, manutención o colocación, del mano de obra y maquinaria juega un papel importante puesto que son factores externos que afectan sus propiedades como su resistencia (Sánchez, 2018); para esto, realizaron un diseño de mezcla como muestra patrón o de control para cada  $f'c$  175, 210 y 245 kg/cm<sup>2</sup> denominados por la letra A, B y C respectivamente, inicialmente hicieron una caracterización de los materiales constituyentes de la matriz del concreto (Agua, agregado fino, grueso, cemento), de tal forma que cumplieran con las normas y requerimientos para ser usados en la matriz (ver tabla 14)

Ensayo de las propiedades de los agregados		
Prueba	Norma NTP	Norma ASTM
Extracción y preparación de las muestras.	NTP 400.010:2001	ASTM D-75
Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.	NTP 400.043:2006	ASTM C-702
Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.	NTP 400.022:2002	ASTM C-128
Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.	NTP 400.021:2002	ASTM C-127
Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos en los agregados.	NTP 400.017:2011	ASTM C-29
Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.	NTP 339.185:2002	ASTM C-566
Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.	NTP 400.012:2001	ASTM C-136
Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 $\mu$ m (200) por lavado en agregados.	NTP 400.018:2002	ASTM C-117
Requisitos técnicos de los agregados		
Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).	NTP 400.037:2002	ASTM C-33
Requisitos técnicos del cement		
Cemento <i>portland</i> . Requisitos.	NTP 334.009:2011	ASTM C-150
Requisitos técnicos del agua		
Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento <i>portland</i> . Requisitos.	NTP 339.088:2006	ASTM C-1602
Requisitos técnicos del aditivo superplastificante Tipo F		
Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (concreto). Especificaciones. 2a. ed.	NTP 334.088:2006	ASTM C-494

**Tabla 14. Normas de ensayo y requisitos para cada material constituyente de la matriz de concreto.**

**Fuente: (K. Sanchez, 2017).**

Seguidamente para obtener los diseños de mezclas, calcularon la relación o proporción óptima de agregados usando el método de peso unitario compactado para cada caso ( $f'c$  210, 175 y 245) y la relación Agua/cemento que fueron de 0.63, 0.56 y 0.51 para los  $f'c$  210, 175 y 245 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente para un asentamiento de 3.5". Luego de obtener sus muestras de control, proceden a realizar diseños de mezclas donde se le adiciona tres dosificaciones de aditivos (650, 1100 y 1600 ml/100 kg) para cada tipo de concreto, cae mencionar que las

proporciones entre agregados y la relación A/C se mantienen constantes como fueron estipuladas en las muestras patrón, solo varia el porcentaje de aditivo súperplastificante.

Consecuentemente, realizaron los respectivos ensayos del concreto en estado fresco para cada diseño de mezcla (ver tabla 12)

ID mezcla	Relación a/c	Dosis kg	ml/100	Slump máximo (pulg)	Porcentaje de variación con respecto al patrón
A	0.63	0		4	100.00%
A-1	0.63	650		9 ½	237.50%
A-2	0.63	1100		10	250.00%
A-3	0.63	1600		10 1/2	262.50%
B	0.56	0		4	100.00%
B-1	0.56	650		9	225.00%
B-2	0.56	1100		10	250.00%
B-3	0.56	1600		11	275.00%
C	0.51	0		4	100.00%
C-1	0.51	650		9 ½	237.50%
C-2	0.51	1100		10	250.00%
C-3	0.51	1600		11	275.00%

**Tabla 15. Propiedades en estado fresco del concreto.**

**Fuente: (K. Sanchez, 2017).**

Donde concluyeron que el aumento de porcentaje de aditivo va arrojar mejores resultados de trabajabilidad evidenciado en los asentamientos iniciales, y que esta variable es superior para el concreto con  $f'c$  de  $245\text{kg/cm}^2$ , puesto que este tendrá una cantidad mayor de cemento y a su vez mayor cantidad de aditivos debido a que las dosificaciones de aditivos se miden respecto al peso del cemento, en promedio el asentamiento incremento un 170.83% con respecto al de la muestra patrón y el tiempo para alcanzar un asentamiento de 3.5" estuvo en el rango de 210 a 260 minutos con respecto a los concretos patrones que el rango fue de 15 a 40 minutos, es decir con la adición de aditivos se cuenta con un mayor tiempo para manejar o trabajar la mezcla (transporte, colocación, retrasos en obra).

Finalmente determinaron la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido para cada caso (ver tabla 15)

ID mezcla	Dosis (ml/100 kg cemento)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )			
		Edad (días)			
		1	3	7	28
A	0	25.05	70.32	112.00	176.85
A-1	650	33.75	75.13	124.07	188.78
A-2	1100	39.35	77.72	129.70	212.93
A-3	1600	30.87	73.03	120.15	178.75
B	0	41.65	109.43	176.30	241.83
B-1	650	68.49	123.60	178.63	262.80
B-2	1100	79.74	132.07	186.30	282.23
B-3	1600	60.77	113.99	177.56	248.69
C	0	57.30	104.55	173.75	249.67
C-1	650	75.43	140.83	193.00	273.73
C-2	1100	86.90	151.30	227.20	293.87
C-3	1600	69.99	128.77	183.33	265.15

*Tabla 16. Propiedades en estado endurecido del concreto.*

*Fuente: (K. Sanchez, 2017)*

A través de dichos datos concluyeron que a cualquier edad del concreto y porcentaje de aditivos propuestos, las resistencias fueron mayores comparándola con el concreto patrón, sin embargo, los diseños de mezclas con dosis de aditivos de 1100 ml/100 kg de cemento dieron las mayores resistencias en contraste con hormigones con dosis de 1600 ml/100 kg de cemento donde las resistencias fueron menores aun con las resistencias calculadas con dosis de 650 ml/100 kg de cemento.

**1.2.2.5 Influencia de la granulometría del agregado y el aditivo súperplastificante sika cem en las propiedades del concreto rheoplástico dosificado en volumen. Montero Carlos, Vásquez Julio. En la universidad privada Antenor Orrego, Facultad de ingeniería, Perú (2018).**

El objetivo de dicha investigación fue determinar la influencia de la granulometría del agregado y el aditivo súper plastificante Sika Cem en las propiedades del concreto rheoplástico dosificado en volumen, con el fin de proponer un método práctico de preparación de la mezcla in situ (en obra) que logre las propiedades del concreto autocompactante (rheoplástico), para construcciones de baja o mediana envergadura, en localidades donde la obtención de la mezcla premezclada en fábrica se vuelve inviable y a su vez reducir costos en el bombeo, vibrado de la mezcla y mano de obra.

Teniendo en cuenta que la resistencia y trabajabilidad de la mezcla en estado fresco es influenciada por la absorción, la forma de las partículas, la textura superficial, el tamaño y la granulometría, de los agregados (Chan, Solis, & Moreno, 2003), inicialmente hallaron la relación óptima entre los agregados (fino y grueso) usando el método del peso unitario compactado (ensayo PUC-método O'Reilly). Se probaron varias combinaciones, dejando constante la cantidad de agregado grueso y variando la cantidad de agregado fino. Dichos ensayos arrojaron que la proporción óptima de agregados entre grueso y fino es de 42,67% y 57,33% respectivamente, posterior a esto, a través del método Artecú, determinaron el volumen de agregado total (Grava y arena) por cada bolsa en relación al consumo de cemento. Dicho método empírico fue creado por el Ingeniero Gerardo Arteaga Cuba, profesor de la asignatura Tecnología del concreto en la Universidad Privada Antenor Orrego (Perú), el cual relaciona el volumen absoluto de la mezcla de concreto por cada bolsa de cemento en función a la cantidad de bolsas de cemento por m<sup>3</sup> de concreto, a través de la siguiente fórmula:

$$\sum Rv = \frac{56}{\# \text{ bolsas de cemento}} = 1 \text{ pies}^3 \text{ de cemento} + \text{Vol agregados en pies}^3$$

Cabe aclarar que este método fue usado para una bolsa de cemento tipo ICO de un pies<sup>3</sup> de volumen, con una masa de 42,05kg (Fraguado inicial 45min, fraguado final 42min. Resistencia a compresión a 28 días de 25 MPa.)

Para la determinación del volumen de agregado total (Grava y arena) toman consumos de 8 y 10 bolsas y obtienen para un consumo de 8 bolsas, lo siguiente:

$$\frac{56}{8} = 1 \text{ pies}^3 \text{ de cemento} + \text{Vol agregados en pies}^3$$

$$7\text{pies}^3 = 1\text{pies}^3 + \text{vol agregado grueso}$$

Despejando el volumen de agregado grueso total queda:

$$\text{vol agregado grueso} = 7\text{pies}^3 - 1\text{pies}^3$$

$$\text{Vol agregado total} = 6\text{pies}^3$$

En consecuencia por cada  $1\text{pies}^3$  de cemento se necesitan  $6\text{pies}^3$  de agregado de los cuales  $3,5\text{pies}^3$  (57,33%) son de arena y  $2,5\text{pies}^3$  (42,67%) son de grava y para un consumo de 10 bolsas, siguiendo el mismo procedimiento, por cada  $1\text{pies}^3$  de cemento se necesitan  $4,6\text{pies}^3$  de agregado de los cuales  $2,5\text{pies}^3$  (57,33%) son de arena y  $2\text{pies}^3$  (42,67%) son de grava. Dichas proporciones obtenidas fueron corregidas puesto que al realizar las mezclas con esas proporciones iniciales realmente se daba un consumo de cemento menor a las esperadas (8 y 10 bolsas). Como consecuencia, las proporciones corregidas para un consumo de 8 bolsas fue (1:2.75:2) y de 10 bolsas fue (1:2:1.5), seguidamente usando las proporciones corregidas, establecieron el porcentaje conveniente de súperplastificante a utilizar, variando de un rango de 0 a 900 ml/bolsa para el consumo de 8 bolsas y de un rango de 0 a 800ml/bolsa para el consumo de 10 bolsas, obteniendo que la mayor trabajabilidad de la mezcla sin segregación de los materiales constituyentes de esta se dio con una proporción de 800ml/bolsa con asentamiento de 260 mm para consumo de 8 bolsas y 700ml/bolsa con asentamiento de 265mm para consumo de 10 bolsas y su resistencia a la compresión fueron de 304,20 (aumento del 25,7% respecto al normal) y 384,35 (aumento del 24.6% respecto al normal)  $\text{kg/cm}^2$  respectivamente.

#### **1.2.2.6 Posibilidades de utilización del concreto de alta resistencia con el uso de puzolana y súperplastificante para viviendas en Venezuela. Águila, Idalberto, Mejías, Solangel. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad central de Venezuela (2016)**

La investigación tuvo como objetivo, elaborar un concreto de alta resistencia añadiéndole puzolana y súperplastificante, con el fin de reducir costos en viviendas de baja complejidad, puesto que al ser un concreto de alta resistencia, los elementos estructuras disminuirían sus dimensiones lo que causaría un ahorro significativo en materiales y a su vez se reduciría el

impacto ambiental acarreado por el uso del concreto. Para esto inicialmente determinan un diseño de mezcla patrón al cual se le mide sus resistencias a edades de 7, 14 y 28 días, posterior a esto, proceden a encontrar la dosificación óptima a adicionar Puzolana que para este estudio fue microsilíce y de aditivo súperplastificante de tipo poli carboxilato, los mejores resultados de resistencia se obtuvieron con un 20% de microsilíce respecto al peso del cemento y 11,6 litros/m<sup>3</sup> de concreto de aditivo, seguidamente midieron su resistencia del concreto modificado a los 7, 14 y 28 días, a continuación se mostrara una tabla donde se muestran los diseños de mezcla y el valor de la resistencia a la compresión en las diferentes edades para el concreto normal y modificado.

	Muestra patrón	Muestra con adiciones
Cemento (g.)	740	740
Microsilíce (g.)	0	185
Arena (g.)	2.035	2.035
Agua (ml.)	359	323,8
Relación agua/cementente	0,485	0,35
Policarboxilato (litros/m <sup>3</sup> )	0	11,6
Resistencia 7 días (Kg./cm <sup>2</sup> )	330	526
Resistencia 28 días (Kg./cm <sup>2</sup> )	442	793
Resistencia 56 días (Kg./cm <sup>2</sup> )	527	792

**Tabla 17. Diseño de mezclas y resultados de resistencia a la compresión del concreto normal y el modificado.**

**Fuente: (Mejías & Águila, 2016).**

De la tabla se puede observar el aumento significativo de la resistencia a la compresión del concreto modificado respecto al convencional, de aproximadamente el 60% en cada una de las edades, a los 28 días el concreto modificado, logro casi los 800kg/cm<sup>2</sup>(11000psi. Finalmente concluyeron que la adición de microsilíce y aditivos súperplastificantes en sus proporciones óptimas producen efectos positivos muy grandes en las propiedades físico-mecánicas del concreto como la resistencia a la compresión, además que pueden ser usados tantos para obras de pequeña o gran envergadura.

En términos generales las limitaciones de todas las tesis aquí planteadas y que en consecuencia hace de este trabajo una investigación novedosa y justificable para su

realización es el hecho de que todas no relacionan la incidencia del tamaño máximo nominal en el consumo óptimo de aditivo súperplastificante; algunas investigaciones solo se basan en hallar el porcentaje óptimo para un diseño de mezcla patrón específico, es decir para un agregado pétreo de tamaño nominal determinado, el cual no es mencionado en la mayoría de las tesis debido a que el enfoque de estas, solo es saber el efecto que causa el uso de aditivo súperplastificante en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de forma general, por lo tanto dicho consumo óptimo de aditivo es aplicado solo para ese tipo de agregado específico. Por tal motivo esta investigación pretende encontrar una dosificación óptima para cada tamaño máximo nominal del agregado, que servirá de guía para hacer un uso más eficiente del aditivo al utilizar la cantidad adecuada (Sin exceso o déficit); se espera que tamaños máximos nominales pequeños, demanden mayor cantidad de aditivo, debido a que su superficie específica es mayor.

### **1.3 MARCO TEÓRICO**

#### **1.3.1 Introducción a la tecnología del concreto**

El concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Pórtland Hidráulico), unos materiales de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión(D. Sanchez, 2010).

Se ha convertido en el material de construcción más ampliamente utilizado a nivel mundial, en razón a su extraordinaria versatilidad en cuanto a las formas que se pueden obtener; sus propiedades físicas y mecánicas para ser usado como elemento estructural; y, su economía; razones que lo hacen muy competente frente a construcciones de madera, mampostería o acero.

El concreto, se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad que al endurecer a la velocidad

apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas.

Las propiedades del concreto fresco están gobernadas por el tipo de construcción, las condiciones climáticas de la zona, por las técnicas de colocación y de transporte; por su parte, las propiedades del concreto endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura. En general, cada tipo de construcción tiene requerimientos particulares que dependen de las condiciones climáticas, del sistema constructivo, del tiempo y de los costos de ejecución (D. Sanchez, 2010).

### **1.3.2 Cemento de Uso General**

El cemento Pórtland es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene otros compuestos como sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire (Sanjuán & Chinchón, 2006).

Cabe recalcar que en el año 2014, en la nueva actualización de la norma técnica Colombiana NTC 121 se modificó la nomenclatura y tipología del cemento, de esta manera, los cementos tipo I, II, III, IV, V pasan a ser Tipo UG – Uso General, Tipo MRS – Moderada Resistencia a los Sulfatos, Tipo ART – Alta Resistencia Inicial, Tipo BCH – Bajo Calor de Hidratación, Tipo ARS – Alta Resistencia a los Sulfatos respectivamente; además se tiene otro tipo, el cemento Tipo MCH – Moderado Calor de Hidratación (Cementos Tequendama, 2018).

Para la presente investigación se utilizó como material aglutinante cemento gris de uso general para construcciones el cual presenta las siguientes especificaciones técnicas:

PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121:2014 TIPO UG
Finura	Blaine, mín. (cm <sup>2</sup> /gr)	NTC 33	A
	Retenido Tamiz 45 µm (%)	NTC 294	A
Cambio de longitud por autoclave expansión, máx. (%)		NTC 107	0.80
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat <sup>B</sup>	No menos de, minutos	NTC 118	45
	No más de, minutos	NTC 118	420
Contenido de Aire en volumen de mortero, máx (%)		NTC 224	12
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx. (%)		NTC 4927	0.020
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)			
3 días		NTC 220	8.0
7 días		NTC 220	15.0
28 días		NTC 220	24.0

**Tabla 18. Especificaciones técnicas Cemento gris Argos de uso general.**

**Fuente:** (ARGOS, 2018)

### 1.3.3 Agua

El agua es uno de los componentes del concreto más importantes, gracias a ella se dan las reacciones necesarias para que el concreto pueda adquirir sus propiedades principales; el agua se encarga de hidratar las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Usualmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para poder proveer una buena relación agua/cemento acorde con las necesidades que se requieran para obtener una trabajabilidad y resistencias óptimas, pero su uso es evidente que vas más allá de solo hidratar la mezcla, se emplea para el lavado de los agregados (áridos), y luego de la mezcla durante el curado, por tanto, no solo la cantidad a emplear es importante sino también sus propiedades químicas y físicas. (D. Sanchez, 2010). 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.

#### 1.3.4 Agregados

Los agregados para concreto pueden ser definidos como aquellos materiales inertes que poseen una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), que no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico y que garantizan una adherencia con la pasta de cemento endurecida. Estos materiales por tanto, pueden ser naturales o artificiales, dependiendo de su origen (Rivera, 2009).

La razón principal de utilizar agregados dentro del concreto, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, proporcionan parte de la resistencia a la compresión (D. Sanchez, 2010).

Los agregados representan alrededor de las  $\frac{3}{4}$  partes (75%) del volumen de concreto convencional, consisten en materiales como arena, grava, roca triturada o escoria siderúrgica. Sus propiedades físicas y químicas inciden directamente, y no se hace referencia solo a la resistencia de las partículas, también se tiene que tener en cuenta otras características como el tamaño, forma, textura de superficie y mineralogía, o la absorción del agregado, la cual juega un papel fundamental en el concreto cuando está en estado fresco, pues, entre mayor sea ésta, menor será la manejabilidad de la mezcla (Chan et al., 2003).

Para el concreto de la investigación realizada, se utilizaron agregados finos presentes en la ciudad de Cartagena, mientras que el agregado grueso a utilizar fue un agregado pétreo de tipo silíceo obtenido de fuentes de materiales del Luruaco, Atlántico; a estos se les realizaron los ensayos respectivos al control de calidad en base a las normas NTC 174, NTC 1776, y INV E-230-07.

#### 1.3.5 Trabajabilidad o manejabilidad del concreto

La trabajabilidad es aquella que determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada. En otras palabras, es la capacidad que él tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna. La trabajabilidad está

representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la consistencia o movilidad. Por otra parte, los factores que afectan la manejabilidad son principalmente el contenido de agua de mezclado, contenido de aire, propiedades de los agregados, la relación pasta/agregado y las condiciones climáticas.

El ensayo de “asentamiento con el cono o slump” (NTC 396) que se le realiza al concreto es una medida para determinar su consistencia, hace referencia al grado de fluidez de la mezcla, indicando que tan seca o fluida esta cuando se encuentra en estado plástico y por lo tanto constituye una medida indirecta de la trabajabilidad, es decir, este es solo un índice representativo del conjunto de propiedades como la cohesividad, facilidad de colocación y terminación. Esta prueba se usa con frecuencia en las construcciones alrededor de todo el mundo, pues, es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas (Rivera, 2009).

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos “in situ”.	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Super Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

**Tabla 19 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.**

**Fuente: Tecnología del concreto (Rivera, 2009)**

### 1.3.6 Resistencia a la compresión

El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, dependiendo de las propiedades tanto físicas, químicas, mecánicas de sus componentes y de la interacción de cada uno de ellos. Por tanto, la resistencia no es más que la habilidad del concreto para resistir esfuerzos ya sea a compresión, flexión, tracción y corte, de las cuales el concreto presenta alta afinidad a resistir los esfuerzos a compresión y desde este punto se considera que un concreto es de resistencia normal cuando no supera los 42 MPa, mientras que, si resiste cargas superiores a 42 MPa y menores a 100 MPa, a 28 días, se considera como un concreto de alta resistencia. 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 (D. Sanchez, 2010).

### 1.3.7 Aditivos

Los aditivos se definen como ingredientes del concreto o mortero que además del agua, agregados, cemento hidráulico y en algunos casos fibras de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. Se utilizan con el objeto de modificar las propiedades del concreto o mortero, en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia y para que cumpla los requisitos y especificaciones particulares de cada tipo de estructura. Estas características son la reducción del costo de la construcción de concreto, aumentar las especificaciones del concreto, asegurar la calidad del concreto en condiciones ambientales severas durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.

Los aditivos generalmente ayudan a conseguir un concreto más durable, resistente y la experiencia indica que se agrieta menos que un concreto que no lo incluya. En la norma NTC 1299 se presentan las clasificaciones convencionales de los aditivos en cinco grupos de acuerdo con el efecto que producen los cuales son aditivos plastificantes, acelerantes,

retardantes, súperplastificantes, Inclusores de aire. La siguiente tabla muestra la clasificación de los aditivos (D. Sanchez, 2010).

TIPO DE ADITIVO	EFECTO DESEADO
<b>Aditivos convencionales</b>	
• Plastificantes	Plastificar o reducir agua entre 5% y el 12%.
• Retardantes	Retardar el tiempo de fraguado.
• Acelerantes	Acelerar el fraguado y el desarrollo de las resistencias a edades tempranas.
• Plastificantes retardantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12% y retardar el fraguado.
• Plastificantes acelerantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12% y acelerar el fraguado.
• Súperplastificantes	Súperplastificar o reducir agua entre el 12% y el 30% y retardar el tiempo de fraguado.
<b>Inclusores de aire</b>	<b>Aumentar la impermeabilidad y mejorar la trabajabilidad.</b>
<b>Aditivos minerales</b>	
• Cementantes	Aumentar propiedades cementantes. Sustituir parcialmente el cemento.
• Puzolanas	Mejorar la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia de los sulfatos. Reducir la reacción álcali-agregado, la permeabilidad y el calor de hidratación. Sustituir parcialmente el cemento y rellenar.
• Inertes	Mejorar la trabajabilidad y rellenar.
<b>Aditivos misceláneos</b>	
• Formadores de gas	Provocar expansión antes del fraguado.
• Impermeabilizadores	Disminuir la permeabilidad.
• Ayudas de bombeo	Mejorar la capacidad de bombeo.
• Inhibidores de corrosión	Reducir el avance de la corrosión en ambientes con cloruros.
• Colorantes	Colorear concreto.

**Tabla 20. Clasificación de los aditivos para concreto.**

**Fuente: Tecnología del concreto (D. Sanchez, 2010).**

### 1.3.7.1 Aditivos súperplastificantes.

Con estos aditivos se pueden obtener reducciones de agua entre el 12% y el 30%, esta reducción y la disminución de la relación agua/cemento permite obtener concretos con mayores adquisiciones de resistencia a edades tempranas. Usualmente son productos de melanina sulfatada o condensadas de naftalina formaldehído.

Las súperplastificantes producen un concreto de alta fluidez sin reducir la resistencia a la compresión ni aumentar la exudación. La principal ventaja es la mayor consolidación del concreto, aun en elementos estructurales fuertemente armados con vibración mínima; por esta razón son ampliamente usados para fundir muros altos y angostos o columnas de gran altura. Al producirse una reducción de agua, mayor que la obtenida con reductores de agua convencionales, se logran resistencias más altas a todas las edades con trabajabilidad dentro de los límites normalmente especificados para compactar con vibración interna.

La norma ASTM subdivide a los súperplastificantes en tipo F de fraguado normal y tipo G de fraguado retardado. El tipo F se usa en climas fríos y con cemento tipo 1, el tipo G se utiliza en climas cálidos y concretos masivos que requieran alta trabajabilidad. Para el presente estudio se utilizó un súperplastificante, basando las dosificaciones en la ficha técnica del producto, presentando una Densidad:  $1.078 \text{ kg/l} \pm 0,02 \text{ kg/l}$ , y recomendaciones para usar dosis en función del producto final a crear, siendo para concretos normales  $[0.15 - 0.40]\%$  y para concretos auto compactantes dosis entre  $0.40\%$  y  $0.80\%$ .

<b>Ficha Técnica - Aditivo Reductor de Agua de Ultra Alto poder</b>	
<b>Características</b>	Reducción de agua del 10% al 15% en bajas dosificaciones y mayores al 45% para altas dosificaciones.
<b>Densidad</b>	$1,08 \text{ kg/l} \pm 0,03 \text{ kg/l}$
<b>Normas</b>	ASTM C-494 Tipos A y F.
<b>Dosificación</b>	Se recomienda dosis de 0.15% a 0.40% del material cementante para aplicaciones de concreto convencional.

*Tabla 21. Ficha Técnica – Aditivo reductor de agua de ultra alto poder.*

*Fuente: Autores.*

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la incidencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso tipo silíceo sobre la dosificación del aditivo súper plastificante en la mezcla de concreto hidráulico, mediante la variación de las dosificaciones del aditivo y el tamaño nominal del agregado grueso a través de la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos, con el fin de evaluar la manejabilidad y determinar la resistencia mecánica a la compresión del concreto endurecido.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el asentamiento y la resistencia de la mezcla de concreto hidráulico sin aditivo súperplastificante para el agregado grueso pétreo tipo silíceo con tamaños máximos nominales de 3/4", 1/2", y 1".
- Evaluar la trabajabilidad del concreto en estado fresco a través del ensayo de asentamiento "Slump" para cada tamaño máximo nominal de los agregados gruesos (3/4", 1/2", y 1"), con las variaciones en la dosificación de los aditivos súperplastificantes.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido para cada tamaño máximo nominal de los agregados gruesos con las variaciones en la dosificación de los aditivos súperplastificantes.
- Comparar los resultados obtenidos para la mezcla de concreto con y sin aditivo súperplastificante para cada tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Encontrar el porcentaje óptimo de aditivo para cada tamaño nominal de agregado grueso que arroje el mejor comportamiento de trabajabilidad en estado fresco y resistencia a la compresión en estado endurecido en relación al tamaño nominal del agregado grueso.

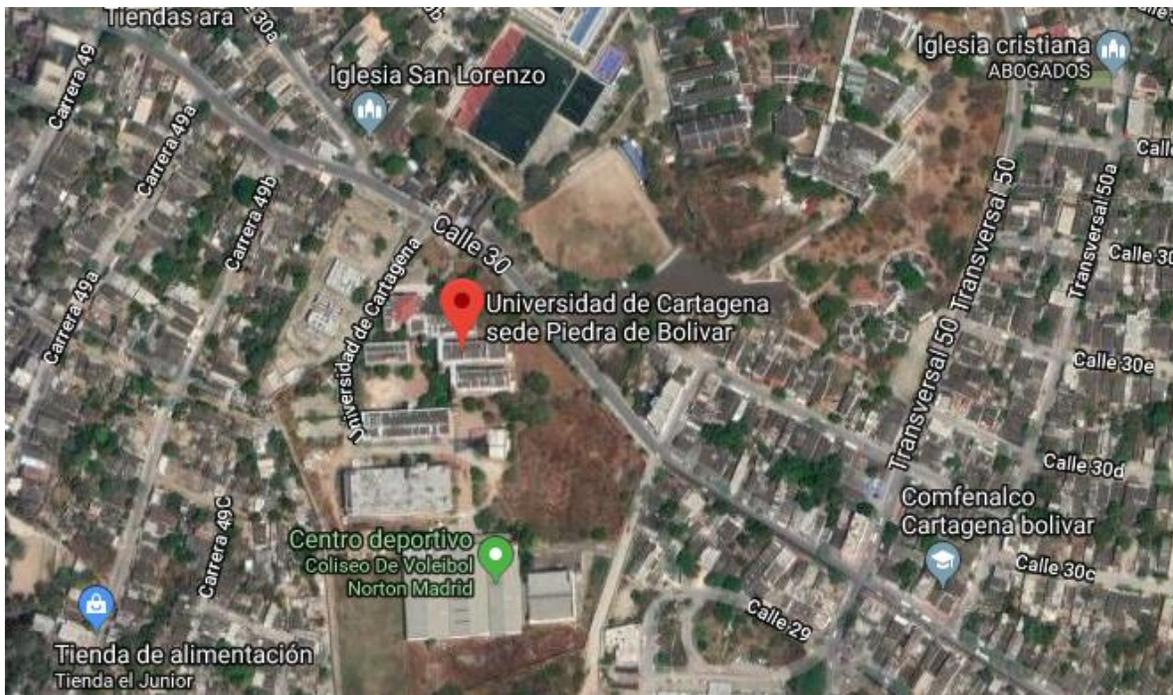
### 3 ALCANCE

Esta investigación tuvo como fin determinar la relación entre el porcentaje de un aditivo súper plastificante a usar y el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Se estipuló la dosificación óptima de aditivo para cada tamaño máximo nominal (3/4", 1/2", 1"), que permitiera el mejor desempeño de la mezcla en estado fresco (Trabajabilidad) y mayor resistencia a la compresión en estado endurecido, tales parámetros se midieron con los ensayos de asentamiento (slump) y prueba de resistencia a la compresión de probetas de concreto.

#### 3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

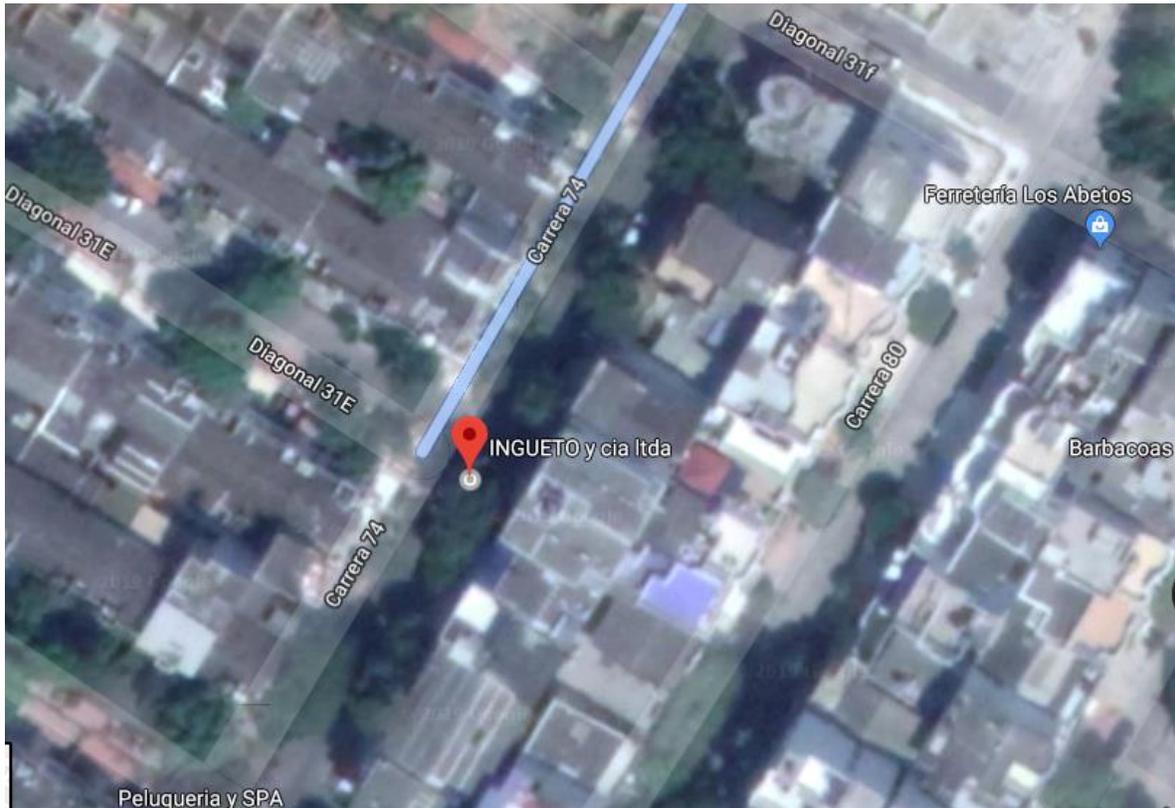
Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar y la empresa INGUETO Y CIA LTDA, ubicada en la ciudad de Cartagena D.T. y C. del departamento de Bolívar, ubicado en la región caribe al norte de Colombia, con coordenadas 10° 25' 30" Latitud Norte y 15° 32' 25" Longitud Oeste.

#### *Ilustración 2. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, sede Piedra Bolívar*



*Fuente: Google Earth(2020).*

**Ilustración 3. Ubicación geográfica de la empresa INGUETO Y CIA LTDA.**



*Fuente: Google Maps (2020)*

### 3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Este trabajo investigativo tuvo como fecha de inicio el 19 de septiembre del 2019 y finalizó el 22 de febrero del 2020. Después de una revisión y recolección bibliográfica, se procedió a realizar los ensayos referentes a cumplir los objetivos planteados para este estudio.

### 3.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Se determinaron las variaciones de resistencia a la compresión y la trabajabilidad de los concretos (variables dependientes) al emplear distintas dosificaciones de aditivo súper plastificante para cada tamaño nominal de agregado grueso utilizados en el diseño de mezcla. (Variables independientes), y por consiguiente se obtuvo la relación existente entre estas dos variables.

El concreto fabricado consta de cemento portland tipo UG (uso general), agua potable, agregado grueso pétreo tipo silíceo de distintos tamaños nominales (1/2", 3/4" y 1"), el cual

fue proporcionado por una cantera del Luruaco Atlántico, y por último, aditivo súperplastificante proporcionado por una empresa con gran trayectoria y especializada en la producción de aditivos para concreto, el cual se usara en distintas proporciones (0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%) basándose en la ficha técnica (ver Tabla 21.), para cada diseño de mezcla que consta de un tamaño de agregado y un porcentaje de aditivo específico se realizaron 9 cilindros de concreto.

Los resultados de resistencia a compresión y revenimiento del hormigón, que se obtuvieron en la investigación, se encuentran en este informe en unidades de presión (Kg/cm<sup>2</sup> o PSI) y en unidades de longitud (mm o IN) respectivamente. Aquellas variables secundarias que posiblemente estuvieron inmersas en este estudio (Temperatura, entre otros) sus unidades están en el sistema internacional (SI) o en unidades que comúnmente se usen en el campo de la ingeniería civil.

### **3.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR**

Los porcentajes óptimos obtenidos de aditivos para cada tamaño de agregado sirven como guía u orientación para construcciones de baja o mediana complejidad, debido a, que los concretos utilizados en este tipo de obra son fabricados in situ y en consecuencia no cuentan con un control de calidad que garanticen el cumplimiento de las condiciones establecidas en el diseño de mezcla (Relación A/C y resistencia), por ende, al emplear la cantidad óptima de aditivo súperplastificante se podrá obtener un concreto eficiente con una excelente trabajabilidad y altos valores de resistencia a la compresión por encima del concreto convencional, sin comprometer la relación A/c establecida en el diseño; obteniendo un hormigón fluido con gran resistencia, que serviría en estructuras densamente armadas, y en consecuencia causaría una reducción significativa en mano de obra y equipos para la colocación, vibrado y compactación del concreto.

### **3.5 PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS**

Esta investigación podría dar pie a futuras investigaciones tales como si de los porcentajes óptimos encontrados para cada tamaño máximo nominal son aplicables o perfectamente utilizables para otros tipos de aditivos (retardantes, acelerantes, Incluidores de aire, minerales y misceláneos, entre otros). Dado que esta investigación solo evaluó la trabajabilidad (asentamiento) y la resistencia a la compresión, otra investigación estaría encaminada a

determinar, si los porcentajes óptimos encontrados causan un efecto positivo en otras propiedades del concreto en estado fresco, semi-endurecido y endurecido (tiempo de fraguado, contenido de aire, flexión, tracción). Por otro lado, otra investigación podría ir orientada a si el tipo de agregado fino a utilizar (arenas finas, medias o gruesas), influyen en la dosificación del aditivo, como también si el contenido de humedad, absorción, porosidad de los agregados afectan el consumo o cantidad de este.

### 3.6 EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES

Esta investigación tuvo como limitante el diseño de mezcla, es decir no se realizó un diseño, sino que se tomó de estudios o informes técnicos, científico-tecnológico adelantados por los ingenieros Edgar Quiñones y Ramón Torres: “DISEÑO MEZCLAS PRELIMINARES, *CONVENIO 0253 DE 2017*” del cual nuestra investigación está adscrita y es complemento de tales investigaciones.

No se hizo una caracterización del agregado grueso y fino total, es decir no se realizaron ensayos (peso específico, unitario, absorción, desgaste, vacíos) que exigen la norma para evaluar la calidad o la idoneidad del material para el uso en la matriz del concreto, puesto que los agregados a usar fueron previamente verificados en el informe técnico: “características agregados y fibras, *CONVENIO 0253 DE 2017*, En: Colombia, 2018, meses p.35” realizado por los ingenieros antes mencionados. Sin embargo se realizaron ensayos de humedad y granulometría a los agregados, garantizando que estos cumplieran con los requerimientos depositados en la norma.

En esta investigación se determinaron los porcentajes óptimos teniendo en cuenta solo la trabajabilidad y la resistencia a la compresión, por ende, no se determinaron otras características del concreto en estado fresco como extensibilidad, peso unitario de la mezcla de concreto, capacidad de paso, contenido de aire, tiempo de fraguado, segregación estática y en estado endurecido como resistencia a la tracción, cortante, flexión y módulo elástico.

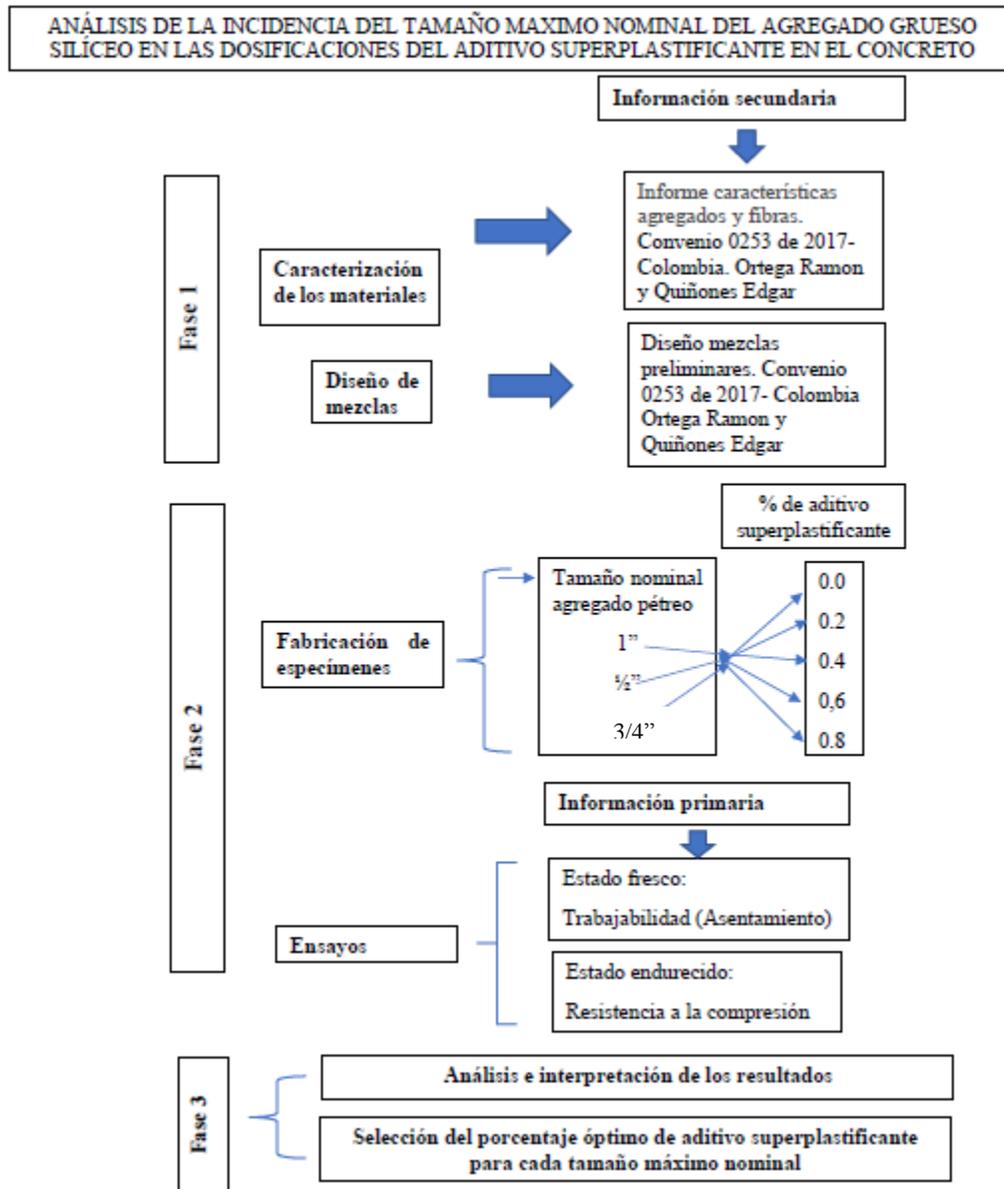
#### 4 METODOLOGÍA

De acuerdo con el producto u objeto estudiado (concretos hidráulicos con tamaños nominales de agregado pétreo diferente y variaciones en aditivo), el alcance o la profundidad de la investigación es de tipo descriptivo, puesto que cada diseño de mezcla fue caracterizado por algunas propiedades físico/mecánicas (Manejabilidad y resistencia a compresión) del hormigón, propiedades que se compararon con concretos convencionales (sin aditivos) con el fin de observar el efecto y variaciones de estas, y así escoger la que mayor efecto positivo le causó al concreto.

Esta investigación tuvo un enfoque mixto puesto que por un lado tuvo una orientación de tipo cuantitativo, debido a que los resultados que se obtuvieron son cuantificables o medibles, es decir es una cantidad que obedece a un patrón o unidad de medida obtenidos por ensayos estandarizados y normalizados, dichos resultados cuantitativos sirvieron de juicio para escoger la dosificación óptima de aditivo súperplastificante para cada tamaño nominal. Y por otro lado fue de tipo cualitativo, ya que, de los resultados medibles obtenidos, iban conexos a un concepto o juicio que generan una cualidad; además a través de dichos datos se derivaron una serie de análisis e interpretaciones que permitieron obtener una idea o significado concreto que sirvieron de ayuda y/o soporte para elegir el fin último de esta investigación (dosificaciones óptimas de aditivo).

La investigación fue de naturaleza experimental (empírico), puesto que se manipularon variables que intervienen en el diseño de mezcla como los tamaños máximos nominales de agregado pétreo y las diferentes dosificaciones de aditivos introducidos en la matriz del concreto, los cuales ocasionaron resultados distintos en los ensayos realizados.

En el siguiente diagrama, se presenta el esquema de la metodología o procedimiento utilizado en la investigación, está dividido en fases y a su vez dichas fases contemplan una serie de actividades:



**Figura 1. Diagrama de la metodología para la elaboración del proyecto.**

*Fuente: Autores.*

El procedimiento experimental de este trabajo investigativo fue contemplado por un lado por los ensayos de slump que se realizaron una vez por tamaño máximo nominal y sus diferentes dosificaciones de aditivos y por otro parte por el número total de ensayos a compresión realizados a los cilindros de concreto los cuales constan de los diferentes tamaños máximos nominales y variaciones de aditivos, estos fueron fallados a los 7, 14 y 28 días como

especifica la norma, en la tabla 22 se puede observar los ensayos de slump realizados y en la tabla 23 se evidencia el número total de cilindros fabricados, que posteriormente fueron sometidos a una falla axial (Compresión simple), cumplido su edad de curado (7, 14 o 28 días).

Tamaño máximo nominal	% de aditivo súperplastificante					Total, ensayos slump
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
1"	1	1	1	1	1	5
1/2"	1	1	1	1	1	5
3/4"	1	1	1	1	1	5
						15

**Tabla 22. Número total de ensayos de asentamiento realizados.**  
**Fuente: Autores.**

La resistencia y la trabajabilidad dependen en gran medida de la relación agua cemento (A/C), puesto que a mayor relación A/C el concreto tendrá buena manejabilidad pero con una resistencia baja, y a menor relación desarrollará una buena resistencia pero con poca manejabilidad (K. Sanchez, 2017); por consiguiente para obtener un concreto que garantice una gran trabajabilidad sin aumentar la relación A/C y, por ende, mantener o aumentar la resistencia, lo cual es primordial en obras con elevada densidad de armadura, zonas esbeltas o de difícil acceso donde la aplicación de vibración externa es complicada, se emplean productos químicos llamados aditivos plastificantes o súperplastificantes, siendo el segundo de mayor rendimiento y eficiencia que el primero debido a que se pueden obtener reducciones de agua entre 12% a 30%, ocasionando la disminución de A/C y por ende un aumento significativo en la resistencia; por tal motivo se utilizó para esta investigación un aditivo súperplastificante o reductores de agua de alta actividad (Puertas & Vázquez, 2001). Ahora bien dentro de la variedad de aditivos de esta naturaleza, que se encuentran en el mercado, se escogió un aditivo con excelente rendimiento porque de acuerdo con su ficha técnica puede reducir la relación A/C a un 40% e incluso llegar a relaciones relativamente bajas de 0.25 y el consumo de aditivo para obtener los beneficios antes descritos son relativamente bajos (<1%), las especificaciones del producto recomiendan dosificaciones de (0.15-0.4)% para concretos normales y dosis entre 0.40% y 0.80% para concretos autocompactantes. Por eso

se eligieron dosificaciones en el rango de 0.2% a 0.8%. Ver Tabla 21. Ficha Técnica – Aditivo reductor de agua de ultra alto poder.

Días-Fallo probeta	Tamaño nominal 1"					Tamaño nominal 1/2"					Tamaño nominal 3/4"				
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0	0.2	0.4	0.6	0.8
7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Subtotal</b>	45					45					45				
<b>Total</b>	135														

**Tabla 23. Número total de cilindros o testigos fabricados y ensayados por compresión simple.**

**Fuente: Autores.**

Siguiendo los requerimientos expuestos por la norma INVE 410-13, se fabricaron 3 testigos por muestra; cabe mencionar que como el objetivo de esta investigación fue hallar el porcentaje óptimo por cada tamaño máximo nominal, que produjera la mayor resistencia a la compresión, se escogió un rango por cada TMN donde el cambio o aumento de resistencia fuese significativo, y dentro de este intervalo, encontrar el porcentaje (si lo hay) que arrojara mejor comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.

Cabe mencionar que se tomaron tamaños máximos nominales de 1" <sup>3</sup>/<sub>4</sub>" y 1/2", puesto que la cantera o fuente de material solo produce tales tamaños, ahora bien, si se tomase TMN menores o mayores a los escogidos, el resultado esperado fuese el mismo; con base en el hecho de que a medida que el tamaño del agregado disminuye mayor será el consumo de aditivo para obtener buena manejabilidad y resistencia, debido a que existe una mayor superficie específica por cubrir.

#### **4.1 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

El agregado grueso utilizado es de origen silíceo y proviene de una cantera del Luruaco-Atlántico, el agregado fino proviene de una fuente de material ubicada en la zona norte de Cartagena de Indias (Europa), ambas canteras cuentan con procesos normalizados de extracción de estos materiales y en consecuencia ofrecen un producto que cumple los requerimientos y normas exigidas, además estos materiales fueron caracterizados en la investigación: “características agregados y fibras, CONVENIO 0253 DE 2017, En:

Colombia, 2018, meses p.35”. Por lo tanto, no se realizaron ensayos de, densidad, absorción, desgaste, materia orgánica, entre otros. Sin embargo, se realizaron ensayos de humedad y análisis granulométrico

El cemento es de Uso General (Tipo I), el cual es certificado y cumple con estándares de calidad por lo tanto no se realizaron ensayos de consistencia normal, tiempo de fraguado (ver ficha técnica) y por último se usó aditivo súperplastificante (soluble en agua).

A continuación, se describen los ensayos realizados en este trabajo de grado a los agregados de acuerdo a las especificaciones exigidas por la norma.

#### 4.1.1 Humedad (INVE-216-13)

Para calcular el contenido de humedad del material de los agregados, se siguieron todas las especificaciones y procedimientos descritos en la norma INVE-216-13. Que en síntesis expone que se debe tomar una muestra del agregado grueso de 4kg, 3kg y 2kg según sea el tamaño nominal 1”, ¾” y ½”. Respectivamente y para la arena 0.5kg. Luego se introduce al horno a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por 24 horas. Seguidamente se pesa la masa seca obtenida del horno. Con los valores del peso tomado antes y después del secado por el horno, se halla el porcentaje de humedad así:

$$\% \text{ Humedad} \Rightarrow \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso seco}} * 100 \dots (1)$$

#### 4.1.2 Análisis granulométrico (INVE-213-13)

Para realizar el análisis granulométrico de los agregados tanto fino como gruesos, se siguen los parámetros expuestos en la norma (INVE-213-13). Dicha norma describe que se debe tomar una muestra del agregado grueso de 2kg, 5kg y 10kg según sea el tamaño nominal ½”, ¾” y 1”. Respectivamente y para la arena 0.3kg, cabe mencionar que tales muestras previamente se escogen bajo un proceso de cuarteo (INVE 202-13), se secan a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y debe estar homogénea totalmente de tal forma que sea representativa. Posteriormente las muestras de agregado grueso se pasan por la serie de tamices (1”, ¾”, ½”, 3/8” N° 4 y N°8) y para la muestra de agregado fino grueso (N° 4 y N°8, N°16, N°30, N°40, N°50), finalmente se determina la masa de la fracción retenida en cada tamiz y su respectivo porcentaje como también aquel porcentaje que pasa.

Para así, poder obtener la curva granulométrica de cada agregado y verificar que se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma NTC 174 para cada tamaño máximo nominal (1", 3/4" y 1/2"). Cabe mencionar que para ciertos tamaños la curva granulométrica no cumplía los límites, y en consecuencia fue necesario ajustar la gradación del material con el fin de que cumpliera. Se usaron las siguientes formulas:

$$\% \text{ retenido en tamiz} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100 \dots (2)$$

$$\% \text{ que pasa en el tamiz} = 100\% - \% \text{retenido acumulado en cada tamiz} \dots (3)$$

***Ilustración 4. Serie de tamices para agregado grueso.***



***Fuente: Autores.***

En la tabla 24 y 25, se muestra un resumen general de las características de los agregados usados en esta investigación.

Nombre del ensayo	Norma	Parámetros	Resultado		Fuente
Resistencia a la abrasión	INVIAS E-218-13	$\leq 40\%$	23.71	Cumple	características agregados y fibras, CONVENIO 0253 DE 2017
Terrones de arcilla y partículas deleznales	INVIAS E-211-13	$\leq 3\%$	0.69	Cumple	
% Caras Fracturadas	INVIAS E-227-13	$\geq 60\%$	95.57	Cumple	
Densidad seca	INVIAS E-223-13	-----	2590	cumple	
Densidad compactada seca		-----	1667.99	Cumple	
Humedad	INVIAS E-216-13	-----	2.97%	-----	Autores
Granulometria	ASTM C33-11 (NTC 174)	Para TMN 1" Number 56		Cumple	
		Para TMN ¾" Number 6		Cumple	
		Para TMN ½" Number 7		Cumple	

**Tabla 24. Caracterización del agregado grueso.**

**Fuente: Autores.**

Nombre del ensayo	Norma	Parámetros	Resultado		Fuente
Absorción	INVIAS E-222-13	$\leq 4\%$	2.35	Cumple	características agregados y fibras, CONVENIO 0253 DE 2017
Densidad Seca		-----	2512	Cumple	
Índice de plasticidad	INVIAS E-126-13	No presenta	No presenta	Cumple	
Humedad	INVIAS E-216-13	$\geq 60\%$	95.57	Cumple	Autores
Granulometría	NTC174(ASTM C33-11)	Numeral 6.1		No cumple	
Modulo finura	Otra literatura	2.15-3.15	2.18	cumple	
	NTC174 numeral 6.3 (ASTMC33)	2.3-3.1		No cumple	

**Tabla 25. Caracterización del agregado fino.**

**Fuente: Autores.**

## 4.2 DISEÑO DE MEZCLA Y PREPARACION

El diseño de mezcla patrón utilizado se tomó de investigaciones anteriores adelantadas por los ingenieros Ortega, Ramón y Quiñonez, Edgar: “Diseño preliminares de mezcla” convenio 0253 de 2017, en Colombia. La relación agua-cemento contemplada en el diseño patrón es de 0.47 el cual corresponde a un Concreto de 4000PSI según la tabla 11.5 del libro Tecnología del concreto T1, esta relación A/C corresponde a una constante que fue validada en términos de diseño de mezclas en el convenio antes mencionado, la relación fue ampliamente utilizada en dicho proyecto, con las fuentes de materiales de la región; obteniendo concretos de altas resistencias al introducir materiales (microsílice, nanosílice, entre otros) no contemplados en este trabajo. Cabe mencionar que el presente trabajo es complementación de dichas investigaciones.

*Tabla 11.5. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c (11.3)*

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm <sup>2</sup> (psi)	Concreto sin incluir de aire	Concreto con incluir de aire
	Relación absoluta por peso	Relación absoluta por peso
175 ( 2 500)	0,65	0,56
210 (3 000)	0,58	0,50
245 (3 500)	0,52	0,46
280 (4 000)	0,47	0,42
315 (4 500)	0,43	0,38
350 (5 000)	0,40	0,35

*Tabla 26. Relación entre la resistencia a la compresión*

La preparación de la muestra se realizó siguiendo el proceso técnico depositado en la norma **INVE-402-13**, donde se especifica que los materiales deben cumplir con ciertas condiciones antes de su mezclado, como estar en temperaturas de laboratorio (24°C-30°C), el cemento deber estar en un recipiente impermeable y ser pasado por el tamiz No 20 para evitar cualquier grumo, la masa de agregado grueso y fino a usar de acuerdo a el diseño de mezcla deben estar contenido en recipientes separados y en un ambiente seco para evitar cualquier absorción de agua (ver ilustración 5). Cabe mencionar que se realizaron las proporciones teniendo en cuenta un desperdicio del 30% el cual es mayor a la propuesta por la norma de 10 %, (norma INVE 402 numeral 6.1.1); esto con el fin de garantizar el concreto suficiente para llenar todas las probetas.

***Ilustración 5 Separación de materiales según dosificaciones para la elaboración del concreto.***



***Fuente: Autores.***

En cuanto al proceso de mezclado siguiendo los parámetros de la norma antes mencionada, se introdujo inicialmente a la mezcladora el agregado grueso, con una fracción mínima del agua calculada en el diseño de mezcla y se dejó por unas cuantas revoluciones (aprox. de 1 min), seguidamente se adiciono el agregado fino y otra fracción adicional de agua, dejándose por varias revoluciones más, finalmente se le añadió el cemento, se mezcló el agua restante con el aditivo súperplastificante descrito anteriormente el cual es soluble en agua, y se introdujo a la mezcladora (ver ilustración 6 - izq.). Se esperó alrededor de 3 minutos mezclando el concreto hasta alcanzar una pasta totalmente homogénea (Ver ilustración 6 - der).

*Ilustración 6. Proceso de mezclado para la obtención del concreto*



### **4.3 FABRICACIÓN Y ENSAYOS A LOS ESPECÍMENES**

La preparación de los diferentes diseños de mezcla según el tamaño máximo nominal y las distintas variaciones de aditivos, la realización del ensayo de asentamiento (Slump) y la fabricación de cilindros o probetas de concreto se realizaron en la Universidad de Cartagena-Campus Piedra Bolívar y la falla de estos especímenes por compresión simple se hicieron en la empresa INGUETO Y CIA LTDA. Cumpliendo con los requerimientos y exigencias de la norma I.N.V. E – 404 – 13 para el ensayo de asentamiento y la norma I.N.V. E – 410 – 13 para el ensayo de resistencia a la compresión, de las cuales se describirán a continuación:

#### **4.3.1 Asentamiento del concreto hidráulico (SLUMP) –INVE-404-13**

Para la obtención del asentamiento del concreto, parámetro que permite evaluar la trabajabilidad del hormigón, se desarrolló la prueba del Slump siguiendo los procedimientos y especificaciones plasmadas en la norma INVE-404-13, dicho ensayo en síntesis, se basa en colocar el concreto fresco consolidado por varillado, en un tronco-cónico, el cual se levanta

con el objeto de que el hormigón caiga o se desplome, y en consecuencia medir la distancia vertical entre la posición inicial y final luego del asentamiento de la pasta.

Para esto inicialmente se procedió a humedecer el molde (material y dimensiones-numeral 4.1 de la norma), y se colocó en una superficie lisa, plana y húmeda controlando que esta no fuese absorbente, seguidamente luego de sostener el molde firmemente, se procedió a tomar una muestra representativa de concreto fresca según lo plasmado en la norma INVE-401, y se introdujo en el tronco-cónico, en tres capas diferentes cada una de 1/3 de volumen del cono. Cada capa se apisonó o consolidó con 25 golpes distribuidos uniformemente en toda la superficie del molde con una varilla (Dimensiones-numeral 4.2 de la norma), En cuanto a las capas superiores (segunda y tercera) se apisonaron, garantizando que la varilla no penetrara en más de 25mm la capa inmediatamente inferior (Ver ilustración 8).

Luego de llenado el molde totalmente, se realizó un movimiento del alisado y rodamiento con la varilla sobre el borde superior del molde, finalmente se levantó dicho molde de forma vertical y seguidamente se midió el asentamiento desde la posición inicial y final con ayuda de un flexómetro.

***Ilustración 7. Molde tronco-cónico (Cono de Abrams)***



***Fuente: Autores***

***Ilustración 8. Procedimiento técnico para el ensayo de asentamiento.***



***Fuente: Autores.***

***Ilustración 9. Medida del asentamiento.***



***Fuente: Autores.***

#### **4.3.2 Elaboración y curado de los cilindros de concreto para ensayos de compresión (INVE-402-13).**

De acuerdo a la norma INVE-402-13, los moldes cilíndricos deben mantener una relación de altura y diámetro de 2:1, en este trabajo se usaron moldes con diámetro de 4" (100mm) y altura de 8" (200mm). Atendiendo al numeral 4.5 de la norma mencionada, se realizaron 3 especímenes para cada edad y condición de ensayo (tamaños máximos nominales y dosificaciones).

En cuanto el proceso técnico de la elaboración de los especímenes, antes del llenado de los cilindros, estos se engrasaron por una pequeña capa de aditivo desformaletador, con el fin de que el concreto no se hubiese adherido a las paredes del molde y por ende el desencofrado fuese mejor (ver ilustración 10), seguidamente se procedió a tomar una muestra representativa de concreto fresca según lo plasmado en la norma INVE-401, y se introdujo en los moldes cilíndricos, en dos capas cada una de 1/2 de volumen del molde (Numeral 6.3.3-de la norma). Cada capa se apisonó o consolidó con 25 golpes distribuidos uniformemente en toda la superficie del molde con una varilla (Dimensiones especificadas en el numeral 6.4.2 de la norma). La capa superior se apisonó, garantizando que la varilla no penetrara en más de 25mm la capa inmediatamente inferior (ver ilustración 11). Posteriormente, con el objeto de eliminar posibles burbujas de aire inmersas en el concreto, se le dio a cada cilindro de 10 a 15 golpes con un mazo de caucho (Especificaciones en el numeral 3.4 de la norma). Finalmente se removió el concreto sobrante en cada cilindro, y se empareja con una llana o palustre hasta conseguir una superficie plana y a nivel (ver ilustración 12).

***Ilustración 10. Moldes cilíndricos de 4" de diámetro y 8" de altura.***



***Fuente: Autores.***

*Ilustración 11. Preparación de los especímenes cilíndricos.*



*Fuente: Autores.*

*Ilustración 12. Acabado final de los especímenes cilíndricos de concreto.*



*Fuente: Autores.*

Se garantizaron las condiciones ambientales adecuadas para que los especímenes no perdieran humedad en su curado inicial, luego se procedió a extraerlos de sus moldes, pasado el tiempo estipulado por la norma ( $24 \pm 8$  horas) y seguidamente se inició el curado húmedo

de estos, introduciéndolos en una piscina o cámara de curado hasta que tales muestras alcanzaran la edad de ensayo.

#### **4.3.3 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto y densidad (INVE-410-13).**

El ensayo a compresión de cilindros de concreto, se realizó en base a los requerimientos y especificaciones de la norma INVE-410-13, que en síntesis consiste en someter a los cilindros a una carga axial de compresión, hasta que el espécimen presente una falla visible o representativa.

Este ensayo se realizó en la empresa INGUETO Y CIA LTDA mencionada anteriormente, la cual cumple a cabalidad con todos los requerimientos como especificaciones de la máquina, calibración, diseño, exactitud, precisión, diámetros máximos de carga, velocidad de carga entre otras, depositados en la sección 4 y 6 de la norma y con un personal idóneo con amplia experiencia (ver ilustración 13).

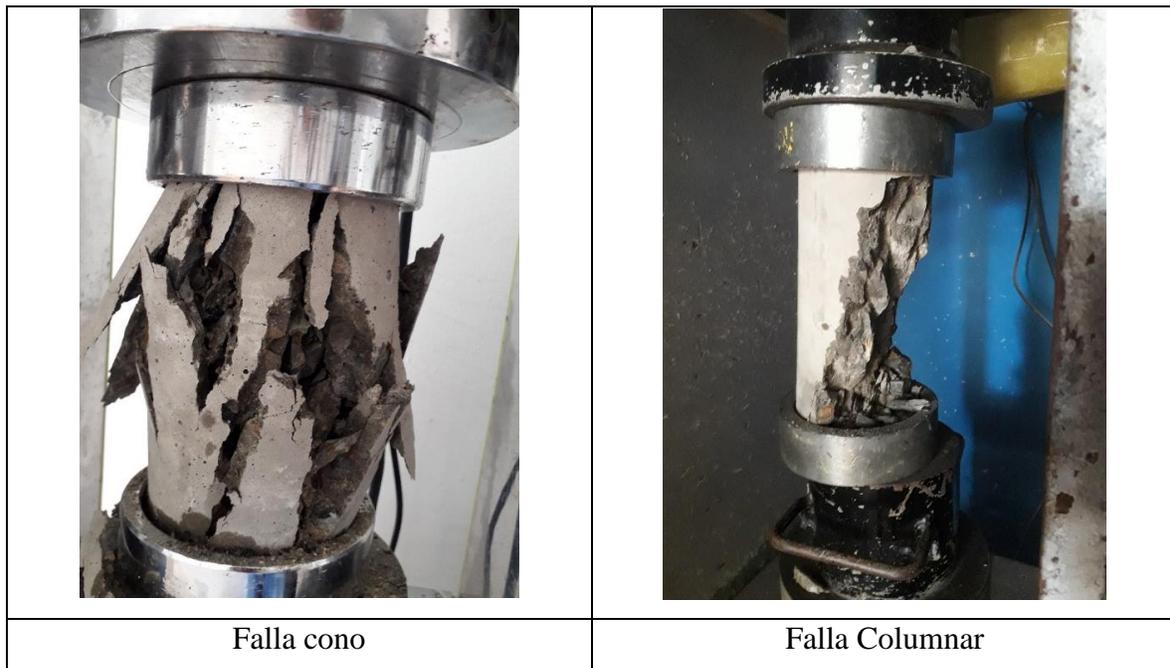
*Ilustración 13 Máquina de compresión simple.*





*Fuente: Autores.*

*Ilustración 14 Tipos de falla de los ensayos a compresión de cilindros de concreto.*





*Fuente: Autores.*

Finalmente, luego de obtener la carga axial soportada por los cilindros, se procede a calcular la resistencia a la compresión, dividiendo la carga por el área de la sección transversal del cilindro, así:

$$Presion = \frac{Carga\ axial}{Area\ transversal} = \frac{Carga\ axial}{A} \dots (4)$$

#### 4.4 SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN MÁS FAVORABLE DEL ADITIVO SÚPERPLASTIFICANTE PARA CADA TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Se tomaron como porcentajes óptimos aquellos que produjeron aumentos significativos en la propiedad del concreto medida en estado endurecido (resistencia a la compresión), y que en estado fresco alcanzaran una buena trabajabilidad, es decir el porcentaje optimo es aquel punto donde la curva de resistencia (Dosificación vs Esfuerzo), tienda a decrecer o por el contrario tienda a ser asintótica (aumentos mínimos de resistencia), esta última consideración se tiene en cuenta para este tipo de estudio, porque en la ingeniería, no siempre lo óptimo está ligado al resultado más alto que se pueda conseguir, si este demanda una inversión de recursos o energía muy altos en comparación al resultado positivo a obtener, para esta investigación en particular no es factible el usar porcentajes de aditivos altos, si el aumento de resistencia alcanzado, no es significativo respecto a la resistencia conseguida usando un

porcentaje menor. Dicho de otra manera, la selección del porcentaje óptimo dependerá de un análisis beneficio/costo entre la resistencia obtenida y la cantidad de recurso (aditivo) invertido para obtenerla.

Cabe mencionar que esto se hizo a través de un análisis exhaustivo y minucioso de los resultados obtenidos, que se organizaron de forma sistemática (tablas y gráficos), los cuales sirvieron de herramienta para la elección de la mejor alternativa.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos, a los ensayos realizados a los materiales constitutivos del concreto (Cemento, agregado fino y grueso), para la verificación de calidad o cumplimiento de requerimientos según normas. También se plasmarán los datos obtenidos y su respectivo análisis de las pruebas realizadas al concreto en estado fresco y endurecido de los diferentes diseños de mezcla los cuales son por tamaño máximo nominal (1", ¾" y ½") y porcentajes de aditivos, y así finalmente obtener la dosificación óptima para cada tamaño de agregado grueso. Como se mencionó en el apartado anterior, todos los ensayos aquí expuestos se realizaron bajo las normas INVE en complemento con la norma NTC.

### 5.1 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

#### 5.1.1 Agregado fino

##### 5.1.1.1 Humedad (INVE-216-13)

Se realizó este ensayo de acuerdo a la norma INVE-216-13, esta recomienda una masa mínima de 500 g, sin embargo se tomó de 600g, se realizó el ensayo tres muestras diferentes, a continuación se muestran los resultados:

Masa húmeda	Masa seca	Humedad
600 g	584.1 g	2.72 %
600 g	581.6 g	3.16%
600 g	582.4	3.02%

**Tabla 27. Ensayo Humedad.**

**Fuente: Autores.**

Se presenta el procedimiento matemático realizado para la obtención de este parámetro

$$w_n = \frac{\text{Masa húmeda} - \text{Masa seca}}{\text{Masa seca}} * 100 \rightarrow w_n = \frac{600g - 582.4g}{582.4g} * 100 = 3.02\%$$

Posterior a esto se calcula el promedio de la humedad de la arena

$$\frac{2.72 + 3.16 + 3.02}{3} = 2.97\%$$

La humedad fue de 2.97%, se puede decir que la arena se encuentra seca.

### 5.1.1.2 Análisis granulométrico.

El agregado fino utilizado fue pasado por el tamiz No 4, con el fin de eliminar cualquier partícula de agregado grueso y así obtener una arena fina. Luego de relizar el proceso de cuarteo de la muestra se tomó una masa seca de 2000g. En consecuencia a continuación se mostrara el análisis granulométrico del agregado luego de ser tamizado..

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido(g)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Limites	
						Inferior	Superior
N °4	4.76	0	0,00	0,00	100,00	95	100
N° 8	2.38	117,46	5,87	5,87	94,13	80	100
N° 16	1.19	95,21	4,76	10,63	89,37	50	85
N° 30	0.595	147,74	7,39	18,02	81,98	25	60
N° 50	0.297	1353,98	67,70	85,72	14,28	10	30
N°100	0.149	235,6	11,78	97,50	2,50	2	10
N°200	0.074	50,01	2,50	100,00	0,00		
<b>Total</b>		2000	100,0				

*Tabla 28. Análisis granulométrico del agregado fino.*

*Fuente: Autores.*

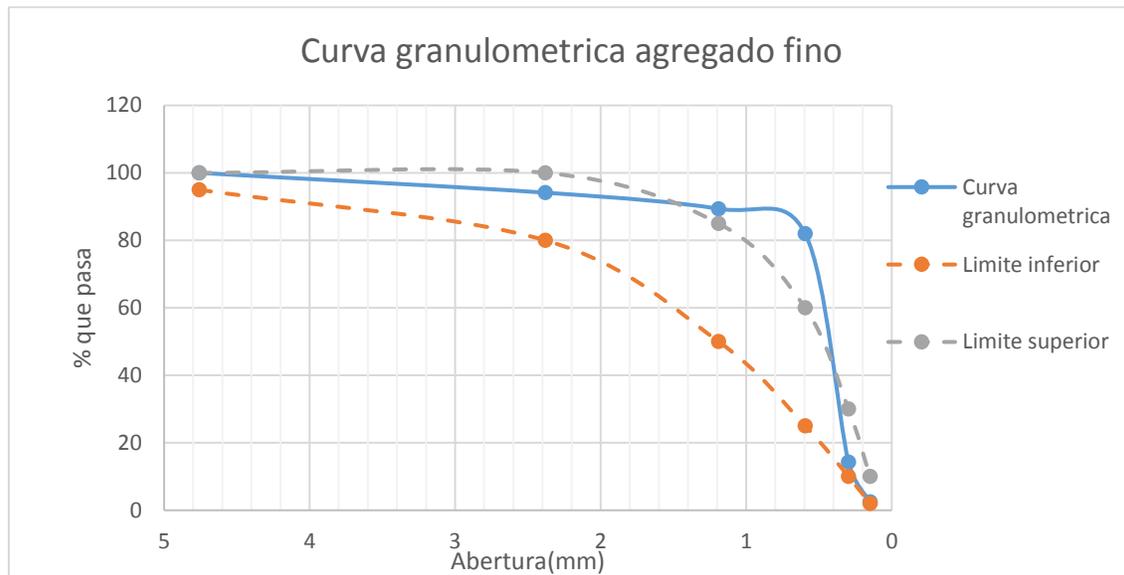
De acuerdo a los datos obtenidos de la tabla anterior, se calculó el módulo de finura de la siguiente manera:

$$MF = \frac{5.87 + 10.63 + 18.02 + 85.72 + 97.50}{100} = 2.18$$

Del dato obtenido se puede catalogar el agregado fino, como una arena fina, puesto que se encuentra en el rango 2.00-2.3 del módulo de finura (MF). Usualmente para fabricar concretos se utilizan valores de MF que se encuentren dentro del rango de 2.15 a 3.15, es decir arenas finas a ligeramente gruesas; para la NTC 174 numeral 6.3 el rango estipulado es de 2.3 a 3.1, esto quiere decir que la arena en estudio, cumple el primer rango mencionado, sin embargo para el rango estipulado por la NTC queda mínimamente por debajo del límite inferior. En consecuencia se puede decir que el agregado fino utilizado goza de un módulo finura aceptable lo que permite que la arena produzca una mejor trabajabilidad a la mezcla, puesto que arenas por debajo del límite inferior, pueden causar que el concreto tienda a ser

pastoso, necesite un mayor consumo de cemento, para una determinada resistencia por su superficie específica mayor y a su vez MF bajos produce que el concreto tienda a grietarse por contracción al momento del secado, en cuanto a MF por encima del límite superior, produce que las mezclas sean pocos manejables y que la cohesión entre sus componentes no sea muy buena (Uribe. 1991 citado en Chan, Solis, & Moreno, 2003).

Ahora bien aunque el MF, sirva para determinar características granulométricas, este no da una idea exacta de dicha granulometría, es decir puede haber agregados finos con igual MF, pero tener una curva granulométrica muy diferente(D. Sanchez, 2010). El agregado fino en estudio, según la granulometría propuesta por la NTC 174(ASTM C33), cumple mínimamente los rangos estipulados por la norma (ver figura 2)



**Figura 2. Curva granulométrica – agregado fino.**

**Fuente: Autores.**

De la gráfica, se puede observar que el porcentaje que pasa por el tamiz N<sup>o</sup> 30 no se encuentra dentro de los límites inferior y superior (25 a 60), propuesto por la NTC174, esto quiere decir que existe una cantidad mayor de agregado menores a  $600\mu m$  ( $N^o 30$ ) de la permitida; esto quizás ocasionó que el MF, estuviese muy sesgado hacia el límite inferior permitido, por el exceso de finos. Sin embargo, en términos generales, se puede decir que el agregado fino, goza de un MF buena dentro del rango y una gradación aceptable. Ahora bien, la NTC 174

en el numeral 6.4 menciona, que si el agregado fino no cumple con los rangos establecidos para el MF y granulometría, dicho agregado puede ser aceptado, si existen registros de comportamientos aceptables del concreto fabricado; tales registros de buen comportamiento se encuentran sustentados en el convenio 0253 de 2017 (Diseño preliminares de mezcla), donde se obtuvieron valores esperados de resistencia a la compresión de los especímenes. Además en la Sección 5.2.3 de esta investigación, se puede observar que se obtuvieron los valores de resistencia aceptables, en la muestra patrón o de diseño (4000 psi), lo que indica que hubo un buen comportamiento del agregado fino. Cabe mencionar que el objeto de estudio de este trabajo, es buscar la relación entre el consumo de aditivo supe plastificante y el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y para esto, los demás materiales que intervienen en el concreto (agua, cemento y arena), deben quedar fijos, es decir sus proporciones no cambian, lo que implica que la influencia del agregado fino fue la misma o se mantuvo constante en todo el proceso y por consecuencia no alteraría los objetivos de esta tesis.

### **5.1.2 Agregado grueso**

Las propiedades de los agregados gruesos tales como Forma, textura de las partículas, porosidad, absorción, la adherencia, la resistencia propia de esta, la gradación y el tamaño de los mismos, pueden influir de forma positiva o negativamente en el comportamiento físico-mecánico del concreto ya sea en estados fresco o endurecido(D. Sanchez, 2010).

*Ilustración 15 Agregado grueso – Grava tipo silícea.*



*Fuente: Autores.*

Por tal motivo para la investigación se toma como estudio un agregado grueso de un mismo tipo, es decir con iguales propiedades, exceptuando el tamaño de este y su granulometría, puesto que el foco de la investigación es encontrar la incidencia del tamaño máximo nominal (TMN) en el consumo de aditivos súperplastificantes y su repercusión en las propiedades del concreto como trabajabilidad y resistencia y por ende era necesario que las demás propiedades fuesen constantes o fijas.

El agregado grueso en estudio es un agregado de tipo silíceo procedente de una cantera de la costa caribe colombiana (Luruaco- Atlántico), dicho agregado es vítreo con forma angular y cubica lo cual es ventajoso o ideal para la matriz del concreto (Chan,1991 citado en Chan, Solis, & Moreno, 2003), puesto que formas alargadas, tubulares, planas, alongadas o escamosas pueden ocasionar un punto de debilidad en la matriz del concreto(D. Sanchez, 2010); y poca trabajabilidad debido a que las partículas tenderán a acomodarse a un solo plano, acumulando el agua y espacios porosos, a su vez la forma de estos aumentan el consumo de arena y por ende un volumen de agua mayor( Uribe 1991 citado en Chan, Solis, & Moreno, 2003).

La absorción del agregado es muy baja, esto le permite ser más compacto y de mejor calidad (D. Sanchez, 2010), a su vez esta propiedad al tener un índice bajo y un coeficiente de forma bueno el material producirá una mejor consistencia y manejabilidad (Alejos y Fernández 1996 citado en Chan, Solis, & Moreno, 2003).

La textura del agregado es fracturada para diámetros grandes de piedra y lisa para diámetros pequeños, por lo tanto su adherencia no es buena, lo que resulta desventajosa en la matriz del concreto; lo ideal es tener una superficie áspera o rugosa, puesto que causa una mayor fricción en las partículas y en consecuencia una mayor resistencia; sin embargo, ajustes en el diseño de mezcla para la textura del agregado (lisa), puede producir concretos de buena resistencia (D. Sanchez, 2010), tales ajustes fueron contemplados en el diseño.

La resistencia propia del agregado es muy alta por ser de tipo silíceo de origen metamórfica, por lo tanto la falla del concreto ocurrió por la matriz y la zona de transición de este, caso contrario de los agregados tipo calizos, donde en ocasiones la falla del concreto se presenta en el agregado. (Chan, Solis, & Moreno, 2003).

#### 5.1.2.1 Humedad (INVE-216-13).

Se realizó este ensayo de acuerdo a la norma INVE-216-13, esta recomienda una masa mínima de 2000 g para un tamaño máximo nominal de ½”, se hizo el ensayo a tres muestras diferentes a continuación se muestran los resultados:

Masa húmeda	Masa seca	Humedad
2000 g	1977.2 g	1.15 %
2000 g	1972.7 g	1.38%
2000 g	1973.6 g	1.34%

Se presenta el procedimiento matemático realizado para la obtención de este parámetro

$$w_n = \frac{\text{Masa húmeda} - \text{Masa seca}}{\text{Masa seca}} * 100 \rightarrow w_n = \frac{2000g - 1977.2g}{1977.2g} * 100 = 1.15\%$$

Posterior a esto se calcula el promedio de la humedad de la arena

$$\frac{1.15 + 1.38 + 1.34}{3} = 1.29\%$$

La humedad fue de 1.29%, se puede decir que el agregado grueso silíceo se encuentra seco; cabe aclarar que solo se calcula la humedad a un tamaño, puesto que es un mismo material (silíceo) y se encuentran en las mismas condiciones ambientales.

### **5.1.3 Análisis granulométrico (INVE-213-13).**

Como se ha mencionado anteriormente una de las propiedades influyentes en las propiedades físico-mecánicas del concreto, es el tamaño y la granulometría de las partículas gruesas, por tal motivo y teniendo en cuenta que el objeto de estudio de esta investigación es la incidencia de los TMN (tamaños máximos nominales) en el consumo de aditivo para lograr buena manejabilidad y máximas resistencias, se tomaron TMN de 1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ "; cabe mencionar que se decide trabajar con tamaños máximos nominales y no tamaños máximos(TM), porque el primero define mejor el tamaño de las partículas más grandes en el agregado grueso, el segundo solo indica el tamaño máximo que se puede encontrar en el agregado, que en ocasiones suele ser unas cuantas partículas que no son representativas en el agregado o dicho de otro modo, menor a un 15% del agregado total.(D. Sanchez, 2010)

Ahora bien, para obtener un concreto con alta resistencia, es necesario que la combinación del agregado fino y grueso, formen una masa unitaria máxima, puesto que esto permite un volumen de espacio mínimo y por ende un consumo de pasta menor para cubrir tales espacios, produciendo un concreto de alta calidad, con condiciones técnicas buenas y a su vez económico. Por eso los agregados que estén mejor acomodados, producirán menos inestabilidad volumétrica (Alexander 1996, citado en Chan, Solis, & Moreno, 2003). Por tal motivo es importante que la granulometría de los gruesos, este en los rangos proporcionados en la NTC 174, para que se pueda consolidar o compactar la mezcla a su máxima densidad con un esfuerzo moderado de energía (D. Sanchez, 2010). Además un agregado con curva de gradación suave, sin exceso o deficiencia de un tamaño, produce buen comportamiento en el concreto en su estado fresco (Kosmatka y Panarese 1992-citado de Chan, Solis, & Moreno, 2003).

Teniendo en cuenta la importancia de una buena granulometría se garantizó que los agregados gruesos cumplieran dichos rangos, cabe aclarar que se tomaron rangos de granulometrías continuas (material retenido en tamices sucesivos), debido a que así se evita el exceso de material retenido en un tamiz lo que causa una mejor trabajabilidad, puesto que

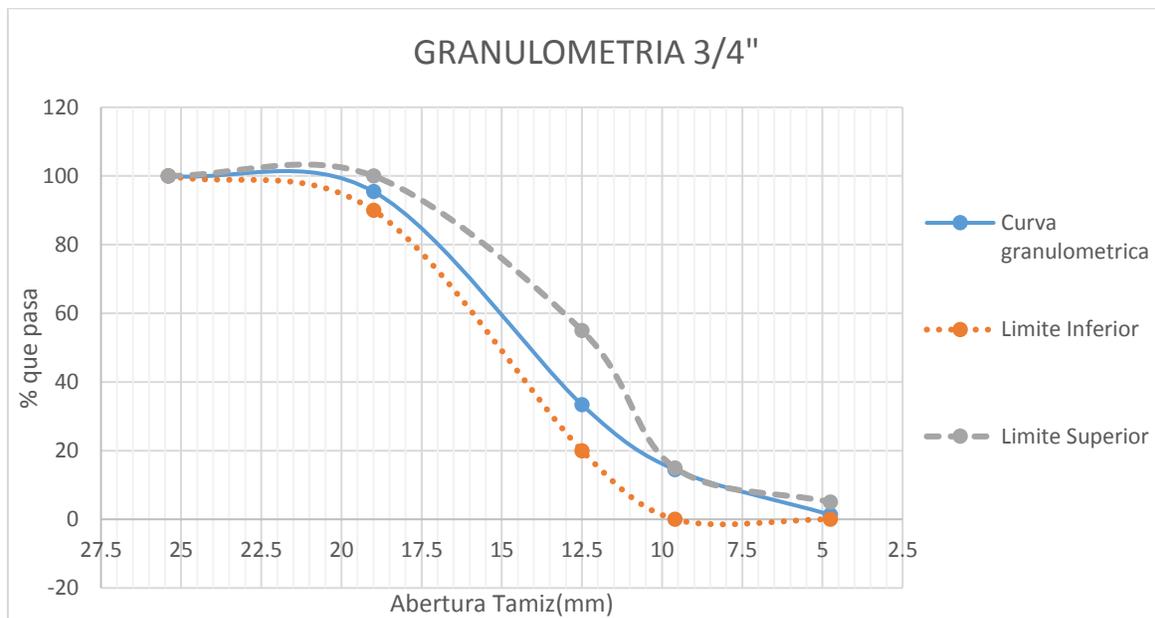
con las granulometrías discontinuas la mezcla puede comportarse como si no tuviera pasta (D. Sanchez, 2010). A continuación, se mostrarán los análisis granulométricos por cada tamaño máximo nominal

**5.1.3.1 Tamaño máximo nominal de 3/4".**

En la Tabla 24 y la figura 4 se muestra el análisis granulométrico del TMN de 3/4", dicho ensayo se realizó al agregado grueso proporcionado por la cantera, es decir sin ninguna alteración, la masa seca escogida luego del proceso de cuarteo fue de 2999g, en consecuencia:

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Agregado Grueso	
						Límite inferior	Límite superior
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19	136.4	4.55	4.55	95.45	90	100
1/2"	12.5	1861.6	62.07	66.62	33.38	20	55
3/8"	9.6	567.2	18.91	85.54	14.46	0	15
N ° 4	4.75	394.4	13.15	98.69	1.31	0	5
Fondo		39.4	1.31	100.00	0.00		
<b>Total</b>		2999	100				

**Tabla 29 Granulometría del agregado grueso TMN 3/4".**  
**Fuente: Autores.**



**Figura 3. Curva granulométrica agregado grueso de TMN 3/4".**  
**Fuente: Autores.**

De esto se puede observar que el tamaño máximo encontrado es de  $\frac{3}{4}$ " y dicha gradación cumple del todo con los porcentajes correspondientes de acuerdo a la norma NTC 174, Aunque la curva se encuentra dentro de los límites inferiores y superiores, esta no está bien distribuida en la abertura  $\frac{3}{8}$  (9.6mm) sino que esta sesgada hacia el límite superior. Estas pequeñas variaciones se pueden deber a procesos de mezclado a raíz de las circunstancias climáticas (lluvias fuertes) o al transporte del lugar de depósito.

Se realizaron varias ensayos o pruebas granulométricas al agregado grueso de TMN  $\frac{3}{4}$ ", dichos ensayos cada uno describieron una curva granulométrica dentro de los rangos expuestos por la NTC 174, sin embargo cada curva aunque cumplieran la norma, fueron mínimamente diferentes entre sí; cabe mencionar que no tener una curva granulométrica constante puede ocasionar cambios bruscos o sorpresivos en el concreto en sus diferentes estados (D. Sanchez, 2010). Sin embargo, dicho fenómeno no sucedió en esta investigación.

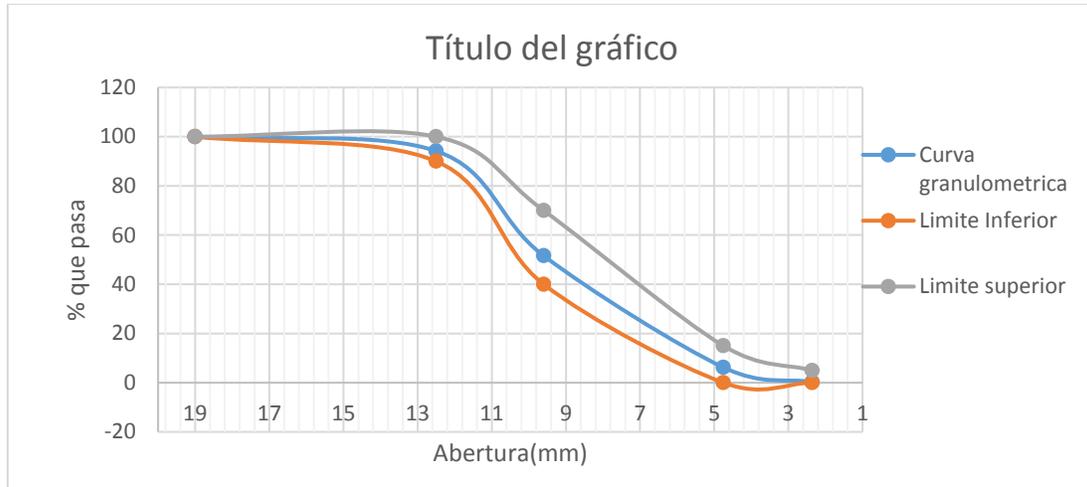
#### 5.1.3.2 Tamaño Máximo Nominal de $\frac{1}{2}$ ".

En la Tabla 25 y la figura 5 se muestra el análisis granulométrico del TMN de  $\frac{1}{2}$ ", dicho ensayo se realizó al agregado grueso proporcionado por la cantera, es decir sin ninguna alteración, la masa seca escogida luego del proceso de cuarteo fue de 2000g, en consecuencia:

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	Agregado Grueso	
						Límite inferior	Límite superior
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.5	116.7	5.835	5.835	94.165	90	100
3/8"	9.6	851.3	42.565	48.4	51.6	40	70
N ° 4	4.75	907.6	45.38	93.78	6.22	0	15
N°8	2.36	118.9	5.945	99.725	0.275	0	5
Fondo		5.5	0.275	100	0		
<b>Total</b>		2000	100				

*Tabla 30. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2".*

*Fuente: Autores.*



**Figura 4. Curva Granulométrica agregado grueso TMN 1/2”.**

**Fuente: Autores.**

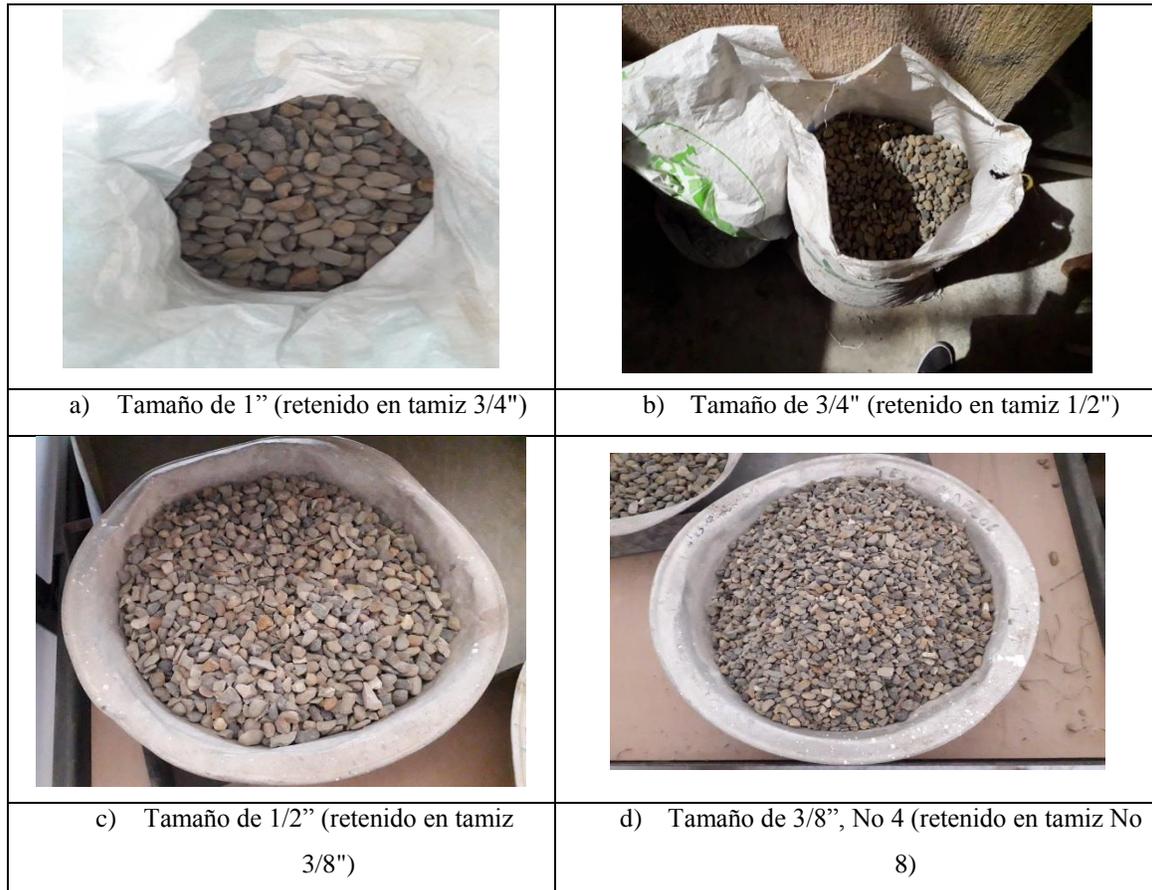
De la figura se puede observar que el agregado con TMN de 1/2”, cumple con la curva granulométrica, es decir se encuentra dentro de los límites inferiores y superiores, Se puede observar que la curva descrita, se encuentra en la mitad entre las curvas de los límites, lo que da pie para decir que la gradación de este tamaño es óptimo. Dicha curva fue representativa en todas las muestras tomadas, por tal motivo en los resultados de manejabilidad y resistencia, se encuentra una tendencia clara, marcada y definida, lo que permitió un análisis mejor en cuanto a este tamaño.

### **5.1.3.3 Tamaño Máximo Nominal 1”**

En cuanto al TMN de 1”, los ensayos granulométricos realizados al material traído de la cantera, no cumplía los rangos establecidos en la norma NTC 174, por consiguiente, se decidió crear un material, que cumpliera con los límites inferiores y superiores de la norma para este tamaño.

Para esto se realizó un proceso de cribado, zaranda o separación de cada tamaño o abertura de tamiz, necesario, para satisfacer dicha curva (Ver Ilustración 17). Los porcentajes escogidos para cada tamaño corresponden a los valores centrales de los límites superiores e inferiores, a excepción del tamaño de 1”. El cual su valor está próximo al límite superior (Poco material de ese tamaño); este proceso de cribado se hizo con el objeto de obtener una curva óptima.

**Ilustración 16 Separación manual de tamaños máximos de agregado grueso tipo silíceo.**



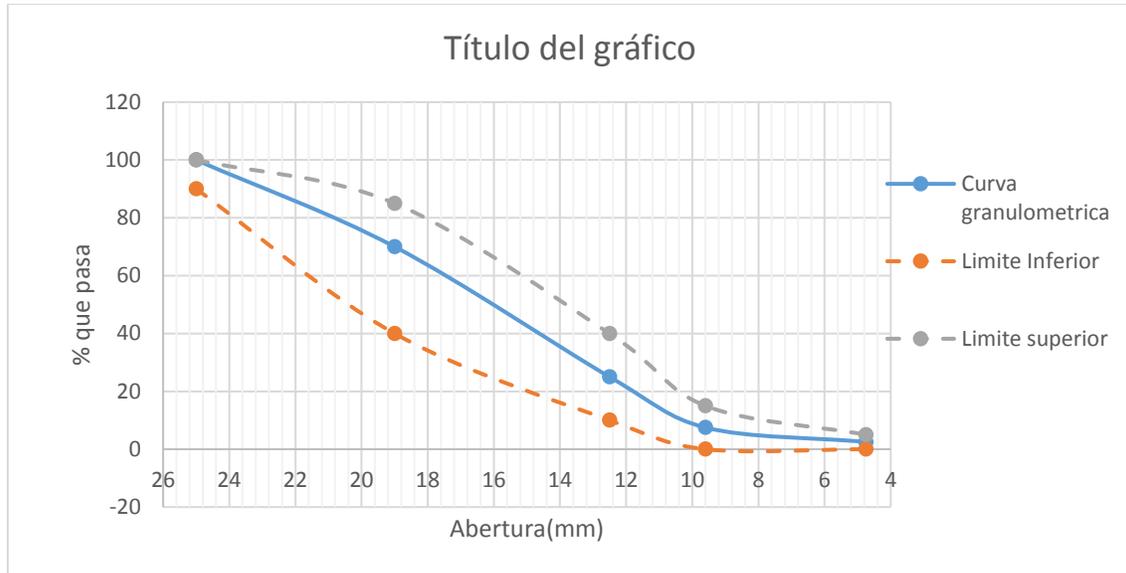
**Fuente: Autores.**

En la tabla 31 y la figura 6 se muestra los porcentajes retenidos correspondientes a la curva granulométrica escogida:

Tamiz	Abertura (mm)	Agregado Grueso		% que pasa escogido	% retenido a buscar por tamiz
		Límite inferior	Límite superior		
1"	25	90	100	100	0
3/4"	19	40	85	70	30
1/2"	12.5	10	40	25	45
3/8"	9.6	0	15	7.5	17.5
N ° 4	4.75	0	5	2.5	5
Fondo					2.5
Total					100

**Tabla 31. Granulometría del agregado grueso TMN 1".**

**Fuente: Autores.**



**Figura 5. Curva Granulométrica agregado grueso de TMN 1”.**

**Fuente: Autores.**

Como se puede observar, luego de realizar el cribado o tamizado manual, se consiguió un agregado de tamaño máximo nominal 1” con una buena gradación.

#### **5.1.3.4 Aditivo Súperplastificante.**

El aditivo usado en la investigación es súperplastificante el cual cumple con los requerimientos de la norma ASTM C – 494 Tipos A y F. Densidad: 1.078 kg/l ± 0,02 kg/l, como se especifica en la tabla 21.

### **5.2 FABRICACIÓN Y ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES.**

#### **5.2.1 Asentamiento del concreto hidráulico “SLUMP” (INVE-404-13).**

Partiendo de los pasos indicados anteriormente en el inciso 4.3.1., se realizan los ensayos de revenimiento con base en lo establecido en la INVE – 213 – 13, para cada tamaño máximo nominal y dosificaciones de aditivos, obteniéndose así los siguientes resultados, ver **tabla 32**.

T.M.N.	Dosificación	Asentamiento (in)	Asentamiento (mm)	Consistencia	Incremento (%)
1"	0.0%	3.74	95	Plástica(media)	---
	0.2%	5.90	150	Húmeda	57.75
	0.4%	7.48	190	Muy húmeda	100.00
	0.6%	9.44	240	Súper Fluida	152.41
	0.8%	10.63	270	Súper Fluida	184.22
3/4"	0.0%	3.40	86	Plástica(media)	----
	0.2%	5.00	127	Húmeda	47.06
	0.4%	7.00	178	Muy Húmeda	105.88
	0.6%	8.00	203	Súper Fluida	135.29
	0.8%	10.00	254	Súper Fluida	194.12
1/2"	0.0%	3.15	80	Plástica(media)	---
	0.2%	4.30	109	Húmeda	36.51
	0.4%	5.90	150	Húmeda	87.30
	0.6%	6.70	170	Muy Húmeda	112.70
	0.8%	8.66	220	Súper Fluida	174.92

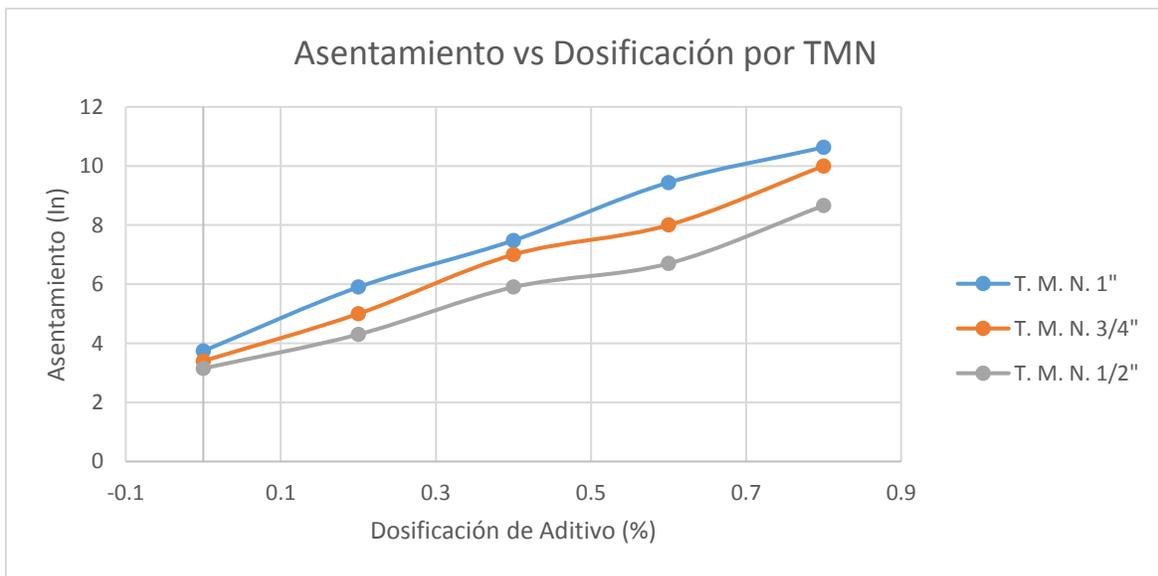
**Tabla 32. Resultados ensayo de revenimiento o “Slump” para cada muestra.**

**Fuente: Autores.**

A partir de los resultados se pudo observar el tipo de mezcla que se producía, así como también determinar la trabajabilidad de ésta y la incidencia del aditivo súperplastificante sobre esta propiedad y al compararse con los parámetros de referencia de la **Tabla 19** se pudo apreciar que los valores de asentamiento para las muestras patrón se acomodan en el rango “Plástico (medio)” (50-100 mm), para dosificaciones de 0.2% los tres TMN se ubican en un rango de consistencia húmeda (100-150 mm), para dosificaciones de 0.4% los TMN de 1” y 3/4” obtuvieron consistencias catalogadas como muy húmedas ( 150-200 mm), pero el TMN de 1/2” para la misma dosificación, se mantuvo en una consistencia húmeda, esto debido a que a medida que disminuye el tamaño de las partículas, la superficie específica es mayor y por lo tanto, se necesita un mayor consumo de pasta para cubrir el agregado, ocasionando un asentamiento menor en comparación a tamaños superiores, este comportamiento fue el mismo para las dosificaciones de 0.6% y 0.8%, donde los TMN de 1” y 3/4” se ubican dentro

de un concreto súper fluido ( $>200$  mm), pero el TMN de  $\frac{1}{2}$ " logra una consistencia súper fluida solo en la última dosificación que es la de 0.8%, puesto que en la dosificación de 0.6% es un concreto muy húmedo, característica que obtuvieron los concretos con TMN de 1" y  $\frac{3}{4}$ " con una dosificación menor.

Por tanto, se procedió a graficar la dosificación contra el asentamiento presentado para cada tamaño nominal.



**Figura 6. Dosificación VS Asentamiento ("Slump").**

**Fuente: Autores.**

En la figura anterior se pudo notar que entre más pequeño es el tamaño máximo nominal del agregado grueso, menor es el valor del asentamiento, obteniéndose así para la muestra patrón, un valor mínimo para el tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ " un Slump de 80 mm mientras que el obtenido para el tamaño máximo nominal de 1" se obtiene un revenimiento de 90 mm. A partir de la aplicación del aditivo súperplastificante se notó un incremento palpable de la plasticidad y fluidez de la mezcla presentándose asentamientos de más de 200 mm, para dosificaciones de 0.6 a 0.8% en los TMN de 1" y  $\frac{3}{4}$ " presentando así un concreto súper fluido o autocompactante.

La variación en los resultados de asentamiento de cada tamaño máximo nominal está profundamente ligada a la gradación del agregado grueso, puesto que, para las muestras con

agregado de 1” se evidencia la presencia de partículas redondeadas y lisas, lo cual disminuye la adherencia que existe entre la pasta de cemento y los agregados, y de esta manera se evita la absorción por parte de los agregados de agua en la mezcla resultando así en un revenimiento alto, en contraparte, para el bloque de especímenes con tamaño de 1/2" se obtuvieron “Slump” más bajos, reforzando y validando la teoría referente a la relación entre las caras específicas del agregado grueso y su interacción con la pasta del cemento, haciéndose notable por la consistencia de la mezcla, que siempre se mantuvo trabajable, y no líquida como sucedió con lo referente al tamaño máximo nominal de 1”.

Estos resultados se han evidenciado en investigaciones. Para el caso de la incidencia del aditivo súperplastificante sobre la trabajabilidad del concreto (Mayta, 2014), (K. Sanchez, 2017), (Montero Meléndez & Vásquez Chico, 2018) se observa la estrecha relación que existe entre el asentamiento y la cantidad de aditivo súperplastificante aplicada, y esta última a estar relacionada a la cantidad de cemento, hace notable la influencia de la granulometría del agregado, pues este determina la relación de pasta agregado que se necesita para obtener los mejores resultados.

### 5.2.2 Elaboración y curado de cilindros para el ensayo de compresión (INVE-402-13).

Para la elaboración de los especímenes se siguieron los parámetros de la norma INVE-402-13, se usaron cilindros de 4” (100mm) y altura de 8” (200mm). Los cuales tienen un volumen neto de:

$$V = Area \cdot h \rightarrow V = \pi \frac{d^2}{4} \cdot h$$
$$V = \pi \frac{(0.1m)^2}{4} \cdot 0.2m = 0.0016m^3$$

Ahora bien, se asume un factor de seguridad de un 30% más del volumen neto del cilindro, puesto que en la elaboración de la mezcla y llenado de los cilindros, usualmente hay un desperdicio del material, en consecuencia:

$$V \text{ bruto cilindro} = 1.3 * 0.0016m^3 = 0.00208m^3$$

Teniendo en cuenta que, como primera fase, se realizaron 135 especímenes, los cuales son 9 por cada combinación de tamaño máximo nominal (1", ½" y ¾") del agregado grueso y dosificaciones de aditivo (0, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8%), el volumen total de concreto usado fue:

$$V_{total} = \text{Volumen cilindro} * \text{numero de cilindros}$$

$$V_{total} = 0.00208 \frac{m^3}{\text{cilindro}} * 135 \text{ cilindros} = 0.281 m^3$$

### 5.2.3 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (INVE-410-13).

La resistencia a la compresión fue medida en tres edades características del concreto: 7, 14 y 28 días. Estas son las edades más recomendadas puesto que en ellas el concreto al pasar por una correcta maduración y curado alcanzara más del 70% de su resistencia final. Se ensayan según los lineamientos de la norma INVE – 410 – 13, y en total se realizaron pruebas de resistencia a un total de 135 especímenes. Para cada tamaño máximo nominal se hicieron 4 variaciones de aditivo, manteniendo la misma relación a/c de 0.47.

#### 5.2.3.1 Tamaño máximo nominal 1”.

Para la granulometría de 1” se ensayaron 45 muestras, 9 por cada dosificación trabajada, de los cuales se toman 3 testigos para cada edad (7, 14, 28). Al realizar la prueba se obtienen resultados de carga axial aplicada, por tanto, esta última se aplica en la ecuación (4), y el resultado obtenido se le aplica las respectivas equivalencias y factores de conversión para tener el valor de la resistencia a la compresión en PSI.

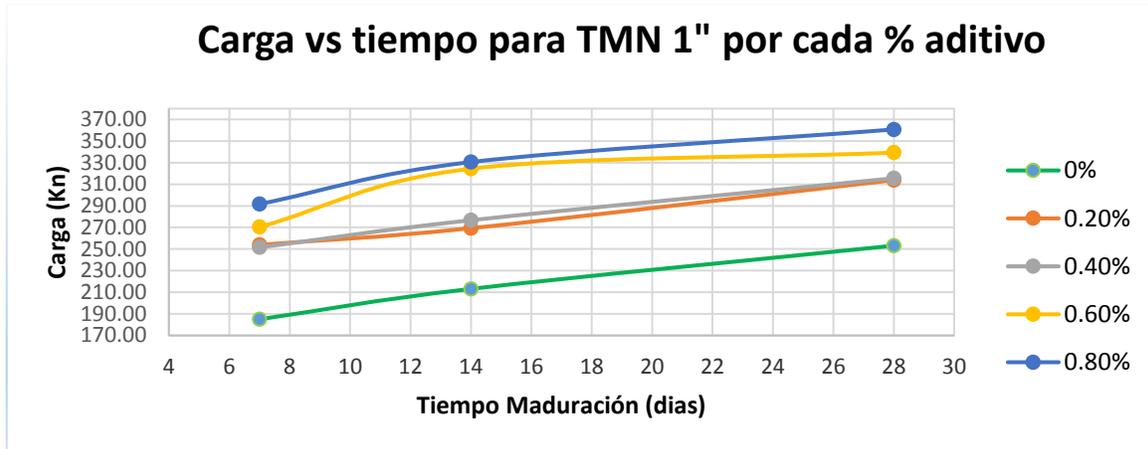
1"				Resist. Prom. (kN)	Asentamiento (in)	F'c (PSI)
0%	7	195.20	187.60	172.30	3.74	3365.57
	14	215.50	200.40	223.50		3876.68
	28	246.70	253.00	259.70		4604.24
0.20%	7	240.80	255.20	265.70	5.90	4618.19
	14	242.60	271.70	293.70		4898.90
	28	296.50	314.90	330.10		5708.31
0.40%	7	236.50	250.30	267.80	7.48	4575.14
	14	290.00	277.00	263.00		5032.29
	28	334.30	299.10	313.20		5739.24
0.60%	7	274.10	246.70	290.40	9.44	4918.31
	14	324.80	317.40	331.00		5900.51
	28	321.80	315.90	380.00		6170.32
0.80%	7	281.20	299.00	294.90	10.63	5305.73
	14	370.40	354.00	267.20		6012.07
	28	334.00	374.10	374.00		6560.77

**Tabla 33 Resultados de resistencia a la compresión para especímenes de T.M.N. 1”.**

**Fuente: Autores.**

Los resultados expresados en la **tabla 28** demuestran que a mayor porcentaje de aditivo mayor resistencia, lo cual coincide con investigaciones previas donde al mantener una relación a/c y variando parámetros como el porcentaje de aditivo o el tipo cemento aplicado se obtienen variaciones positivas en la resistencia final del concreto (Castellón & De la Ossa, 2013).

Los resultados consignados en la tabla 28 se expresan mejor en la siguiente figura:



**Figura 7 Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 1"**

*Fuente: Autores.*

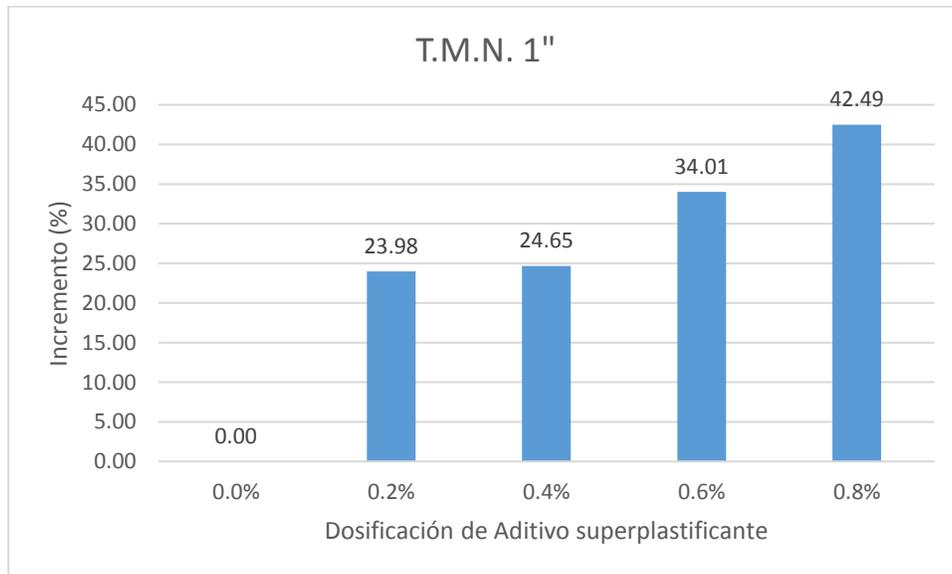
La **figura 8** expresa de mejor manera las variaciones que se presentan en los resultados obtenidos para cada dosificación de aditivo empleada. Cabe resaltar que para las dosificaciones de 0.2% y 0.4% se presentan resultados similares mientras que para dosificaciones de 0.6% y 0.8% se muestran valores mucho más altos, esto posiblemente se deba a que al existir una gradación adecuada donde los tamaños pequeños no abundan y por ende y, al existir mucha pasta y mantener una relación a/c baja, se obtiene una matriz de mortero mejor compactada y con poca relación de vacíos.

De la figura se puede observar, que con un consumo de 0.2% de aditivo, hubo un incremento significativo de la carga soportada por el concreto respecto a la muestra patrón, los incrementos diferenciales obtenidos con porcentajes superiores a 0.2%, no fueron tan notables o abruptos como el obtenido al pasar de 0% a 0.2%.

1"	f'c prom.	Unidad	f'c prom.	Unidad	INCREMENTO porcentual respecto a	
					patrón	dosificación anterior
0.0%	322.30	Kg/cm <sup>2</sup>	4604.24	PSI	---	
0.2%	399.59		5708.31		23.98	23.98
0.4%	401.75		5739.24		24.65	0.54
0.6%	431.93		6170.32		34.01	7.51
0.8%	459.26		6560.77		42.49	6.33

**Tabla 34 Incremento porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para TMN 1".**

*Fuente: Autores.*



**Figura 8 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 1".**

*Fuente: Autores.*

Como se puede apreciar en la tabla 34 y la figura 9 es de resaltar que el aumento de la resistencia final a los 28 días es considerable teniendo hasta un 42 % para una dosis del 0.8% respecto a la muestra patrón. Sin embargo entre dosificaciones continuas el aumento no fue significativo, después de la dosificación de 0.2%.

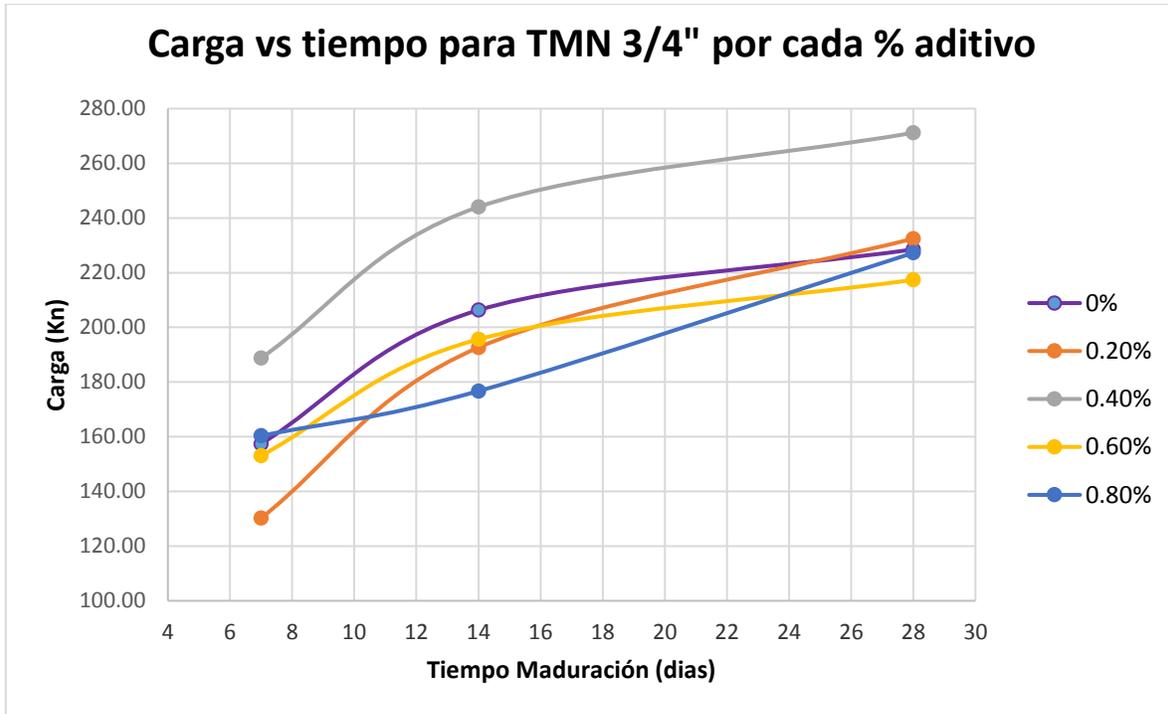
### 5.2.3.2 Tamaño máximo nominal 3/4".

Una vez fundidos los especímenes se dejaron en curado y al cumplir las edades correspondientes se realizaron las respectivas pruebas, las cuales se consignaron en una tabla, la cual presenta información referente a edad, carga soportada, resistencia y asentamiento.

3/4 "	Edad	Resist. Prom. (kN)	Asentamiento (in)	Carga (PSI)
0%	7	157.40	3.4	2862.95
	14	206.30		3752.39
	28	228.50		4156.19
0.20%	7	130.23	5	2368.81
	14	192.63		3503.81
	28	232.43		4227.73
0.40%	7	188.77	7	3433.48
	14	244.03		4438.72
	28	271.15		4931.95
0.60%	7	153.07	8	2784.13
	14	195.63		3558.37
	28	227.96		4146.38
0.80%	7	160.33	10	2916.30
	14	176.70		3214.00
	28	227.23		4133.15

*Tabla 35 Resultados de Ensayo a la compresión a los especímenes de T.M.N. 3/4".*

*Fuente: Autores.*



**Figura 9. Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 3/4"**

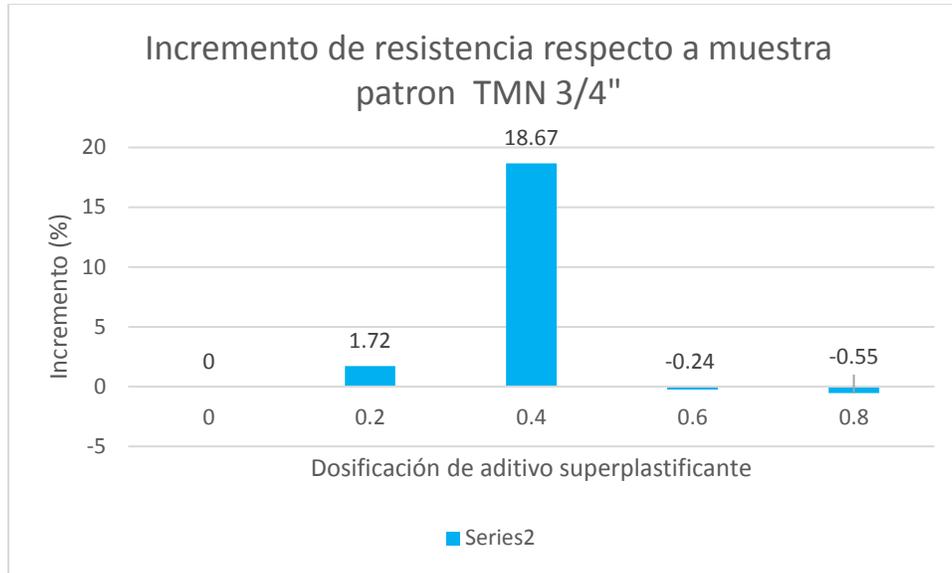
*Fuente: Autores.*

De la figura anterior se detalla que el mejor resultado se encuentra respecto a la dosificación de 0.4% de aditivo súperplastificante, en donde se observa un incremento significativo respecto a la muestra patrón, obteniendo una resistencia de 345.24 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado se puede notar que los porcentajes superiores de 0.6% y 0.8%, no desarrollaron resistencias mayores a la patrón, en todo el proceso de maduración del concreto.

3/4"	f'c prom.	Unidad	f'c prom.	Unidad	INCREMENTO porcentual respecto a	
					Muestra patrón	Dosificación anterior
0.0%	290.94	Kg/cm <sup>2</sup>	4156.19	PSI	---	
0.2%	295.94		4227.73		1.72	1.72
0.4%	345.24		4931.95		18.67	16.66
0.6%	293.05		4146.38		-0.24	-15.93
0.8%	289.32		4133.15		-0.55	-0.32

**Tabla 36. Incremento porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para T.M.N. 3/4".**

*Fuente: Autores.*



**Figura 10 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 3/4”.**

**Fuente: Autores.**

De la *tabla 36* y la *figura 11* se puede evidenciar que el aumento más favorable se aprecia para una muestra con dosificación de 0.4% presentando un aumento de la resistencia de 18.67 % respecto a la muestra patrón. Para los porcentaje de 0.6 y 0.8%, el incremento fue negativo, es decir la resistencia fue menor a la muestra patrón, en cuanto a la dosificaciones de 0.2%, el incremento respecto a la muestra patrón no fue notable.

### 5.2.3.3 Tamaño máximo nominal 1/2”.

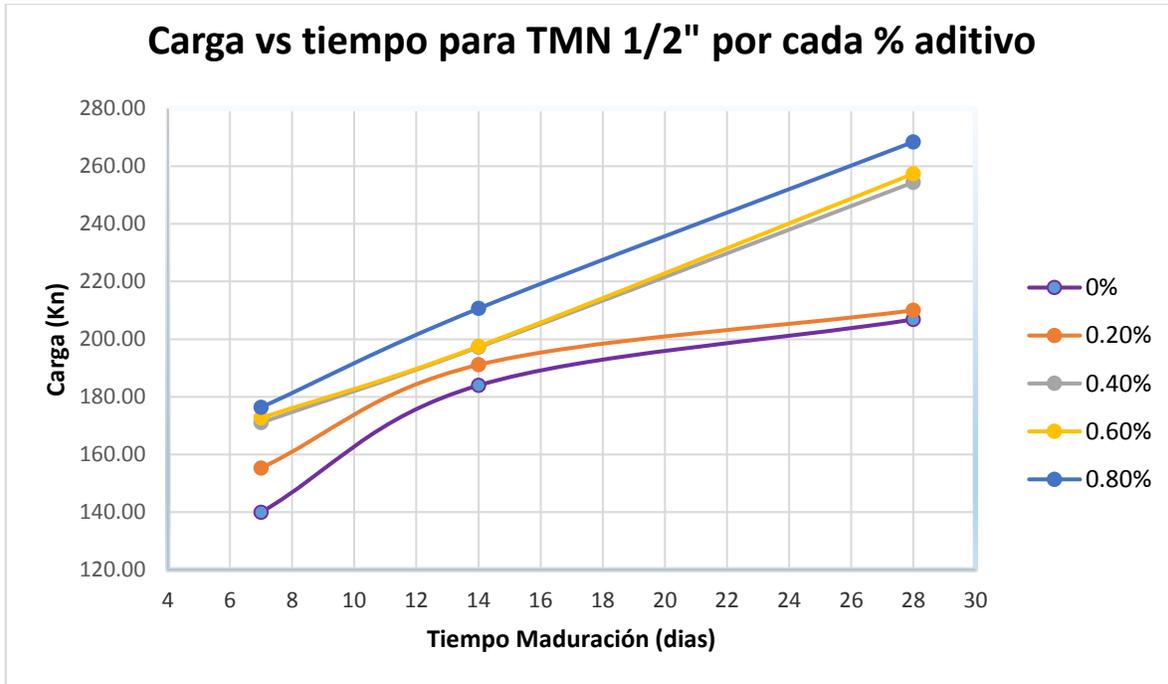
Al cumplirse las edades de referencia se procedió a realizar las pruebas de compresión sobre los especímenes, y los resultados obtenidos fueron tabulados y consignados en tablas y figuras con el fin de tener un mejor análisis y comprensión.

	1/2"	Promedio	Unidad	Asentamiento (in)	Carga (PSI)
0%	7	139.93	KN	3.15	2545.25
	14	183.97			3346.17
	28	206.83			3762.09
0.20%	7	155.30	KN	4.3	2824.75
	14	191.10			3475.92
	28	210.00			3819.69
0.40%	7	171.03	KN	5.9	3110.93
	14	197.20			3586.87
	28	254.40			4627.28
0.60%	7	172.67	KN	6.7	3140.63
	14	197.50			3592.33
	28	257.40			4681.85
0.80%	7	176.33	KN	8.66	3207.33
	14	210.63			3831.21
	28	268.43			4882.53

**Tabla 37. Resultados de Ensayo a la compresión a los especímenes de T.M.N. 1/2".**

**Fuente: Autores.**

De la tabla 37, se puede notar que la resistencia iba aumentando a medida que el porcentaje de aditivo fue mayor, comportamiento que se mantuvo en todas las edades de maduración de los especímenes. Esto se puede evidenciar en la figura 12.



**Figura 11. Relación entre el porcentaje de aditivo aplicado y la carga resistida por el concreto a edades de 7, 14 y 28 días para T.M.N. 1/2".**

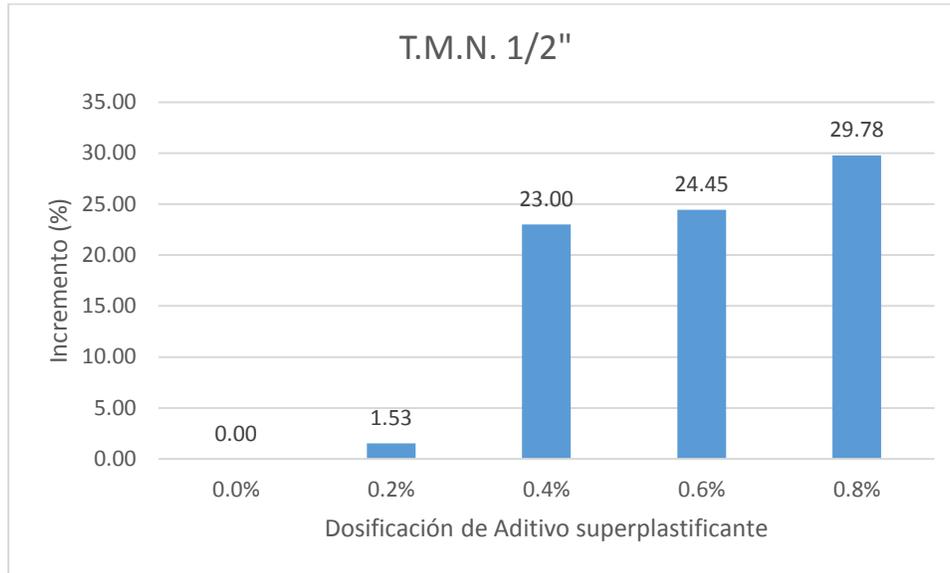
*Fuente: Autores.*

De la figura anterior se puede notar, que para edades de maduración de 7 y 14 días, las resistencias obtenidas, aumentaban gradualmente respecto a su dosificación inmediatamente anterior, sin embargo a los 28 días de maduración, se nota un aumento significativo en la dosificación de 0.4%, con respecto a las dos dosificaciones anteriores (0 y 0.2%), para dosificaciones superiores a 0.4% se evidenciaron pequeños aumentos diferenciales de resistencias.

1/2"	f'c prom.	Unidad	f'c prom.	Unidad	INCREMENTO porcentual respecto a	
					Patrón	Dosificación anterior
0.0%	263.35	Kg/cm <sup>2</sup>	3762.0915	PSI	---	
0.2%	267.38		3819.69		1.53	1.53
0.4%	323.91		4627.28		23.00	21.14
0.6%	327.73		4681.85		24.45	1.18
0.8%	341.78		4882.53		29.78	4.29

**Tabla 38. Incremento de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la muestra patrón y respecto a la dosificación inmediatamente anterior para T.M.N. 1/2".**

*Fuente: Autores.*



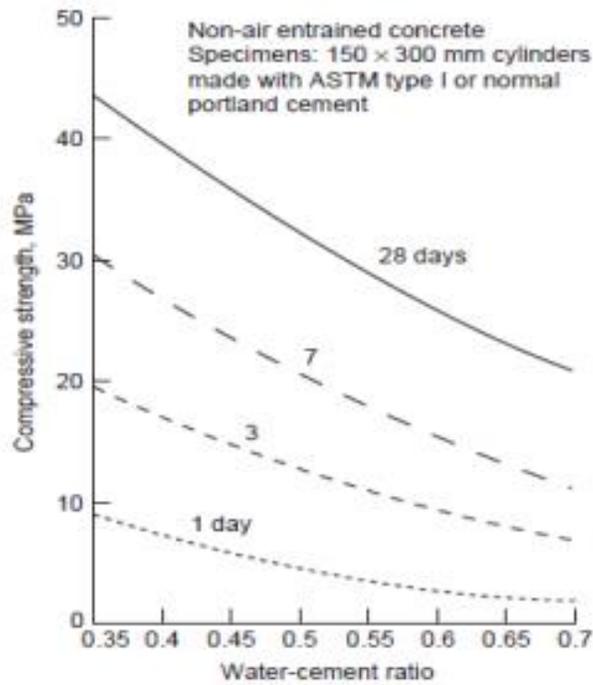
**Figura 12 Incremento porcentual de la resistencia para T.M.N. 1/2”.**

**Fuente: Autores.**

Al observar la **tabla 38** es notable los incrementos de la resistencia a la compresión presentados para todas las dosificaciones trabajadas obteniendo el mejor resultado para una dosis de 0.8 %, alcanzando un valor de 341.78 kg/cm<sup>2</sup> y un incremento del 29.78 % con respecto a la muestra patrón; sin embargo, a pesar de ser la mayor resistencia, el aumento alcanzado con respecto a la dosificación anterior es bajo(4.29%), de modo que un aumento significativo o favorable se puede observar para una dosificación del 0.4% con un aumento inmediato de 23% respecto a la patrón y de 21.14% con la dosis anterior de 0.2%.

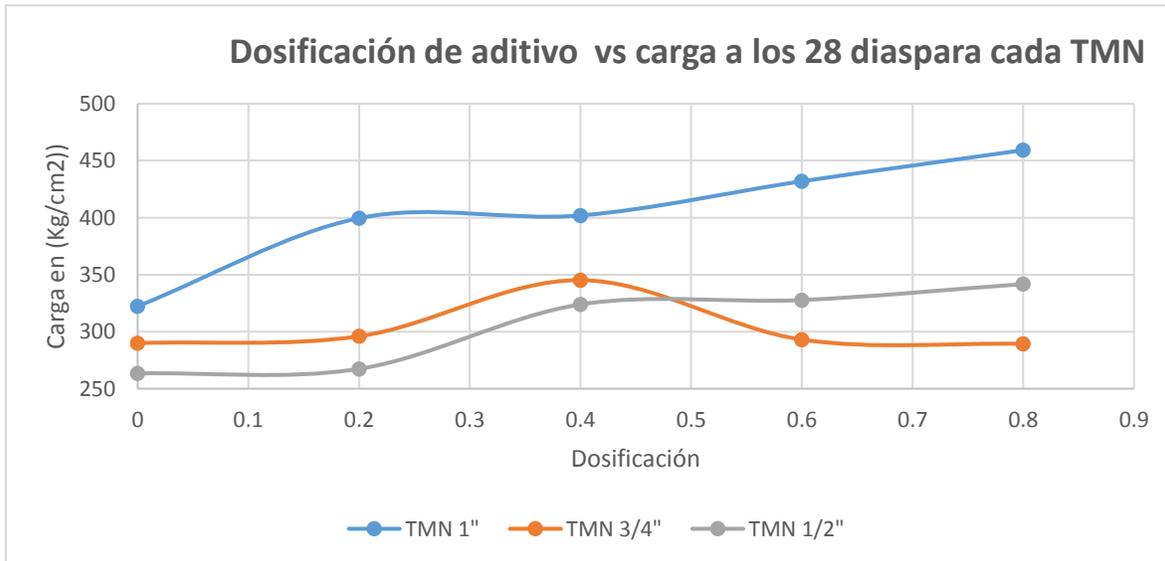
De las resistencias obtenidas para los distintos casos estudiados, se puede observar una variación en el comportamiento de los especímenes respecto a la dosificación del aditivo súperplastificante y la granulometría de los agregados gruesos. Para el caso de T.M.N. 1/2” se presentan resultados consistentes y constantes, demostrando que a mayor superficie específica mayor gasto de pasta de cemento y dosis de aditivo (Chan et al., 2003), para la muestra patrón de este T.M.N. se obtuvieron resultados de resistencia buenos, puesto que a los 28 días se obtuvo una resistencia mayor a 3000 PSI y un asentamiento de 8 cm, con consistencia media plástica; en contraste, para las muestras con dosificación de 0.4 % de aditivo se obtuvieron resistencias mayores a los 4000 PSI y asentamientos de 15 cm, lo que

induce a ser una mezcla con consistencia húmeda, característica de un concreto bombeable, esto evidencia un incremento de la resistencia a la compresión . Los resultados obtenidos para el caso de T. M.N. 3/4” son adecuados para la investigación, al igual que para las muestras con tamaño máximo nominal de 1/2”, se evidencia que dependiendo del porcentaje de superficie específica se necesitara una relación agua-cemento más adecuada para obtener buenos resultados de resistencia y revenimiento; a diferencia de los especímenes de 1/2” se obtienen valores de resistencia mayores, lo que indica que la pasta de cemento esta sobre dosificada, por tanto, hay más cemento del que se necesita. Los especímenes creados con agregado de T.M.N. 1” presentaron una tendencia respecto a la cantidad de aditivo aplicada incremental, es decir, a medida que se agregaba más aditivo, mayor fue el incremento de la resistencia respecto a la muestra patrón, pero, a diferencia de los resultados arrojados por la muestra de T.M.N. 1/2”, se obtuvo una resistencia a la compresión mayor a la esperada, al estudiar los factores que afectan la resistencia se infiere que la razón reside en la relación a/c (Guevara et al., 2012) y la relación pasta/agregado, puesto que al manejar una relación agua – cemento baja, las partículas del concreto se mantendrán unidas y esto radicará en el desarrollo de compuestos de hidratación que se cristalizaran en los espacios de agua fuera de las partículas de cemento (Sepulveda, 2016). Por otra parte, la relación pasta – agregado también juega un papel importante, para este caso en consideración se tiene que al poseer una gradación adecuada, en la cual se evidencian tamaños de partículas correctos, con un alto porcentaje de superficie específica y una excelente distribución, la conformación de la matriz de cemento fue muy buena, y por tanto, la interacción entre los áridos y la pasta se dio de manera correcta, lo cual se comprueba al obtener resistencias altas desde los 7 días de edad.



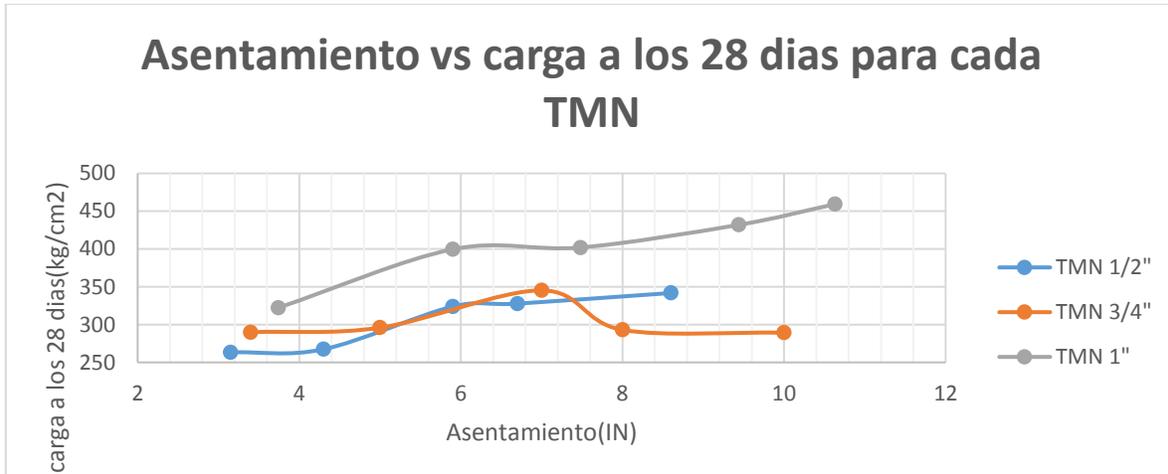
**Figura 13. Influencia de la relación agua-cemento y el tiempo de curado en la resistencia del hormigón.**

**Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto, 13 ed., Asociación de cemento Portland. (Sepulveda, 2016).**



**Figura 14. Relación entre la dosificación y la carga resistida a los 28 días por cada TMN.**

**Fuente: Autores.**



**Figura 15 Relación entre el asentamiento y la carga resistida a los 28 días, por cada TMN**

*Fuente: Autores.*

De las figuras 13 y 14 se puede inferir que para una relación a/c constante, a medida que aumenta la cantidad de aditivo aumentara la resistencia, de igual manera, al presentarse grandes revenimientos se pueden obtener grandes resistencias; para las tres muestras estudiadas es evidente este comportamiento para los T.M.N. 1” y de ½”

Estos resultados expuestos en dichas figuras se han presentado en otras investigaciones como ocurrió en el caso de (Huincho, 2011) donde se evidencia que al variar las cantidades de aditivo súperplastificante se obtienen mejores resultados respecto a la patrón, y al aumentar las dosificaciones de éste, se refleja el aumento de la resistencia a la compresión, sin embargo, en esa investigación solo manejan un tipo de agregado. Cabe resaltar que la relación a/c utilizada en la ya mencionada investigación fue de 0.25 % lo cual verifica que a menor a/c mayor resistencia. Para el caso de (Mayta, 2014), también se evidencia el mismo comportamiento tanto para los resultados de asentamiento como los resistencia a la compresión demostrándose que, a medida que se aumenta la cantidad de agua estos parámetros se verán afectados de manera negativa, y al contrario, al aumentar la cantidad de cemento, se obtendrán mayores resultados. Otra investigación también relaciona la relación agua-cemento y su influencia a la resistencia y asentamiento (K. Sanchez, 2017), demostrando resultados igual de favorables que (Mayta, 2014) e (Huincho, 2011) para

relación a/c de 0.4 y 0.51 respectivamente. Esto da validez y afirma la teoría respecto a la incidencia entre la pasta de cemento y las propiedades del concreto.

A continuación, se presenta una comparación de estos resultados respecto a la investigación actual. Cabe resaltar que se tomó como referencia los resultados obtenidos con relaciones A/C similares a la utilizada en la presente investigación. Además, se toma como punto de comparación los resultados adquiridos para las muestras creadas a partir del agregado grueso de T.M.N.  $\frac{3}{4}$ ", puesto que para éste se presentó un comportamiento similar a los presentados en las investigaciones previas. Al observar los datos de las investigaciones comparadas, se evidencia un comportamiento en estado fresco similar, pues la diferencia fue mínima. Para el caso de estado endurecido, la resistencia a la compresión presentó una tendencia similar para la investigación de (K. Sanchez, 2017), obteniéndose resultados un poco superiores, por otra parte, para la investigación de (Mayta, 2014), evidencia una diferencia palpable respecto a la resistencia, pero esto se puede presentar por las cantidades de aditivo utilizadas en dicha prueba y la relación agua-cemento.



INVESTIGACIÓN	ESPÉCIMEN	RELACIÓN A/C	DOSIS	UNIDAD	SLUMP (in)	f'c PROM. (Kg/cm <sup>2</sup> )
COGOLLO & MORALES, 2020	3/4"	0,47	0%	Kg aditivo / Kg cem	3,4	290,94
	3/4"	0,47	0,20%		5	295,94
	3/4"	0,47	0,40%		7	345,24
	3/4"	0,47	0,60%		8	293,05
	3/4"	0,47	0,80%		10	289,32
MAYTA, 20,14	B	0,5	0	ml/100kg	4	365,63
	B - 1	0,5	250		6	372,23
	B - 2	0,5	40		7 1/2	378,60
	B - 3	0,5	650		8 3/4	395,50
	B - 4	0,5	850		9	379,69
	B - 5	0,5	1050		9 1/2	367,08
K. SANCHEZ, 2017	C	0,51	0	ml/100kg	4	249,67
	C - 1	0,51	650		9 1/2	273,73
	C - 2	0,51	1100		10	293,87
	C - 3	0,51	1600		11	265,15

*Tabla 39. Comparación de resultados entre investigaciones previas.*

*Fuente: Autores.*

### **5.3 SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN MÁS FAVORABLE DEL ADITIVO SÚPERPLASTIFICANTE PARA CADA TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.**

Luego de obtener los resultados de resistencia a los 7, 14 y 28 días, de cada diseño de mezcla (tamaño máximo nominal por cada dosificación) y realizar su respectivo análisis en cuanto al comportamiento de dichos datos, se procedió a buscar la dosificación óptima para cada TMN; es decir aquella dosificación que produce un aumento sustancial en la resistencia y una buena manejabilidad, tal porcentaje corresponde al punto donde la curva de resistencia (Dosificación vs Esfuerzo), tienda a decrecer o por el contrario tienda a ser asintótica (aumentos mínimos de resistencia), el motivo por el cual estas consideraciones se tomaron como determinantes en la obtención de consumo óptimo de aditivo, se encuentra explicado en el numeral 4.4, del presente trabajo.

A continuación, se presentarán las dosificaciones óptimas para cada tamaño máximo nominal.

#### **5.3.1 Dosificación óptima para el TMN 1”**

Teniendo en cuenta la tabla 33 , la dosificación donde se llegó a un aumento abrupto de resistencia a compresión, fue en el porcentaje de 0.2%, donde su resistencia a los 28 días (5708 PSI) aumento aproximadamente 1000Psi en comparación a la muestra patrón(0% -> 4604 PSI), aunque las resistencias de las dosificaciones posteriores a 0.2%, fueron mayores, tales aumentos entre porcentajes continuos no fueron sustanciales, esto se puede evidenciar en la tabla 34, donde se muestran los incrementos porcentuales de resistencia entre la dosificación inmediatamente anterior. Para 0.2% se tuvo un incremento de resistencia del 23.98%, valor mucho mayor a los incrementos de 0.4, 0.6, y 0.8% que fueron de 0.54, 7.51 y 6.33 % respectivamente.

En la figura 15 (Dosificación vs Carga), se puede observar la tendencia de la curva de 1”, donde se nota un incremento exagerado de resistencia en el rango 0% - 0,2%, en los rangos posteriores de dosificación, los aumentos son relativamente bajos. A continuación, se mostrará las diferentes pendientes de la curva en cada intervalo:

Intervalos porcentaje de aditivo	Pendiente
0%-0.2%	303,5
0.2%-0.4%	8,5
0.4%-0.6%	118,5
0.6%-0.8%	107,35

**Tabla 40 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 1”.**

**Fuente: Autores.**

De la tabla anterior puede notar que la curva TMN 1” de la figura 15, presenta en el primer intervalo una pendiente muy alta en comparación a las pendientes subsiguientes de cada tramo, por tal motivo la curva se encuentra muy pronunciada inicialmente.

En cuanto a la trabajabilidad de la muestra, observando la figura 16, se puede notar que el asentamiento asociado al porcentaje óptimo de 0.2%(5708.32PSI) para el TMN de 1”, es de 5.90in (150mm). De acuerdo a la tabla 19, el concreto en estado fresco tendrá una consistencia húmeda o muy húmeda, que es útil para construcciones de elementos esbeltos estructurales, con una colocación sin vibración.

### 5.3.2 Dosificación óptima para el TMN 3/4”

Observando la tabla 35, la dosificación donde se llegó a un aumento abrupto de resistencia a compresión, fue en el porcentaje de 0.4%, donde su resistencia a los 28 días (4932 PSI) aumento aproximadamente 900Psi en comparación a la muestra realizada con 0.2%(4076.2PSI), las dosificaciones posteriores a 0.4%, muestran una tendencia de decrecimiento, especialmente en el intervalo de 0.4% a 0.6% la disminución de la resistencia fue abrupta, aproximadamente el mismo valor que aumento de 0.2% a 0.4% disminuyó en el rango 0.4%-0.6%, este comportamiento se puede notar en la tabla 36, donde se muestran los incrementos y decrecimientos diferenciales de resistencia o de dosificaciones de aditivos continuas. Para 0.2%, 0.4% se tuvo un incremento del 1.72%, 16.66% respectivamente; para 0.6, y 0.8% se tuvo un decrecimiento de 15.93 % y 0.32% respectivamente. En la figura 15 (Dosificación vs Carga), se puede observar la tendencia de la curva de 3/4”, donde se nota un incremento sustancial de resistencia en el rango 0.2% -0,4%, y un decrecimiento notable en el rango 0.4% -0,6% en el rango posterior de dosificación, la disminución fue relativamente

menor, lo que da pie a decir que la curva tendera a decrecer asintóticamente. A continuación, se mostrarán las diferentes pendientes de la curva en cada intervalo:

Intervalos porcentaje de aditivo	Pendiente
0%-0.2%	19.7
0.2%-0.4%	193.6
0.4%-0.6%	-204.95
0.6%-0.8%	-14.63

**Tabla 41 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 3/4”.**

*Fuente: Autores.*

De la tabla anterior se puede notar que la curva TMN 3/4” de la figura 15, presenta en el segundo y tercer intervalo pendientes muy alta la segunda con sentido positivo (incremento) y la tercera con negativo (decremento) se puede decir entonces que la curva de 3/4”, presenta un mismo comportamiento de subida como de bajada.

En cuanto a la trabajabilidad de la muestra, observando la figura 16, se puede notar que el asentamiento asociado al porcentaje óptimo de 0.4%(4931.95 PSI) para el TMN de 3/4”, es de 7in (178mm). De acuerdo a la tabla 19, el concreto en estado fresco tendrá una consistencia muy húmeda, que es útil para construcciones de elementos esbeltos estructurales, pilotes fundidos in situ con una colocación sin vibración.

### 5.3.3 Dosificación óptima para el TMN 1/2”

Teniendo en cuenta la tabla 37, la dosificación donde se llegó a un aumento abrupto de resistencia a compresión, fue en el porcentaje de 0.4%, donde su resistencia a los 28 días (4627.28 PSI) aumento aproximadamente 900Psi en comparación a la muestra patrón (0%->3762 PSI), aunque las resistencias de las dosificaciones posteriores a 0.4%, fueron mayores, tales aumentos entre porcentajes continuos no fueron sustanciales, esto se puede evidenciar en la tabla 38, donde se muestran los incrementos diferenciales de resistencia o aumentos continuos g entre dosificaciones de aditivos. Para 0.2% se tuvo un incremento del 1.53%, para 0.4% el incremento fue abrupto 21.14%, finalmente los porcentajes de 0.6 y 0.8% fueron de 1.18 y 4.29 % respectivamente.

En la figura 15 (Dosificación vs Carga), se puede observar la tendencia de la curva de 1/2", donde se nota un incremento exagerado de resistencia en el rango 0.2%-0.4% en los rangos posteriores y anteriores de dosificación, los aumentos son relativamente bajos. A continuación, se mostrará las diferentes pendientes de la curva en cada intervalo:

Intervalos porcentaje de aditivo	Pendiente
0%-0.2%	15.8
0.2%-0.4%	222
0.4%-0.6%	15
0.6%-0.8%	55.17

**Tabla 42 Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días para T.M.N. 1/2".**

**Fuente: Autores.**

De la tabla anterior puede notar que la curva TMN 1/2" de la figura 15, presenta en el primer y tercer intervalo presentan pendientes casi iguales, pero ambas no se consideran altas en comparación a el segundo intervalo, puesto que dicha pendiente es sustancialmente alta, por tal motivo la curva en el primer tramo inicia un crecimiento moderado, pero en el segundo la curva se nota más pronunciada por su cambio abrupto de pendiente, en los tramos posteriores continua con un crecimiento moderado de la curva.

En cuanto a la trabajabilidad de la muestra, observando la figura 16, se puede notar que el asentamiento asociado a el porcentaje óptimo de 0.4%(4627.3PSI) para el TMN de 1/2", es de 5.90in (150mm). De acuerdo a la tabla 19, el concreto en estado fresco tendrá una consistencia húmeda o muy húmeda, que es útil para construcciones de elementos esbeltos estructurales, con una colocación sin vibración.

A continuación se mostrara el resumen de las dosificaciones óptimas escogidas para cada TMN, con sus respectivas resistencias, asentamientos y su posible uso que se le puede dar a dicho concreto.

<b>Resumen del porcentaje óptimo por cada TMN</b>					
<b>TMN</b>	<b>% Aditivo óptimo</b>	<b>Resistencia (PSI)</b>	<b>Asentamiento (mm)</b>	<b>Consistencia</b>	<b>Uso</b>
1"	0.2	5708.31	150	Húmeda	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados
¾"	0.4	4931.95	178	Muy Húmeda	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ"
½"	0.4	4627.28	150	Húmeda	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados

*Tabla 43. Resumen de los resultados obtenidos.*

*Fuente: Autores.*

## 6 CONCLUSIONES

Para poder establecer la incidencia o relación entre el porcentaje de aditivo súperplastificante a utilizar con respecto al tamaño máximo nominal de agregado grueso para lograr mejores valores o comportamiento en las propiedades del concreto, se tomaron como parámetros el asentamiento del hormigón en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido, es decir se evaluaron dichas propiedades para cada diseño de mezcla, que constaba de un tamaño máximo nominal (1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ") y un porcentaje de aditivo (0, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8%); luego de haber desarrollado los ensayos y pruebas mencionados se puede concluir que existe una relación directa entre el porcentaje de aditivo a emplear para lograr cambios significativos en el comportamiento del concreto y la superficie específica de los agregados, es decir a mayor superficie específica (menor tamaño máximo nominal) el consumo de aditivo será mayor, debido a que existe una cantidad mayor de espacios por cubrir con pasta, y en consecuencia teniendo en cuenta que el aditivo se dosifica con respecto a el cemento (según ficha técnica), se pudo evidenciar la exigencia de mayor aditivo para tamaños máximos nominales menores (mayor superficie específica), para lograr un mejor comportamiento del hormigón.

En consonancia con lo anterior se deduce que para un agregado grueso de tipo silíceo procedente de una cantera de la costa caribe colombiana (Luruaco- Atlántico), el cual es vítreo, con forma angular, con poca absorción, coeficiente de forma bueno y de resistencia propia alta por su origen metamórficos. Los porcentajes óptimos de aditivos que incidieron a un incremento significativo o sustancial de la resistencia a la compresión, con una manejabilidad de la mezcla eficiente para tamaños máximos nominales de 1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ "; fueron 0.2%, 0.4% y 0.4% respectivamente. Cabe aclarar, que para el TMN de 1" y  $\frac{1}{2}$ " para dosificaciones mayores a 0.2% y 0.4% respectivamente, el aumento diferencial de resistencia a los 28 días con respecto a la dosificación anterior, eran mínimos, la curva mostraba que llegaría un momento donde el valor tendería a ser asintótico. Es decir, el aumento de resistencia que se ganaba no era lo suficientemente alto en comparación a la cantidad de aditivo invertido o empleado; y en la ingeniería, no siempre lo óptimo está ligado a el resultado más alto que se pueda conseguir, si esta demanda una inversión de recursos o energía muy altos en comparación a el resultado positivo a obtener. Respecto al TMN de  $\frac{3}{4}$ "

el comportamiento fue diferente puesto que el porcentaje óptimo (0.4%) arrojó la resistencia máxima, después de dicho valor, la curva (Carga vs dosificación) presentó una disminución significativa. Sin embargo, existe la posibilidad de que existe un valor óptimo entre el intervalo 0.2% y 0.4% para el TMN de  $\frac{3}{4}$ ", puesto que la curva en ese rango va en aumento.

De acuerdo a los datos obtenidos de asentamiento, se puede concluir que existe una relación directa entre el porcentaje de aditivo y el asentamiento generado, puesto que a mayor empleo de aditivo superplastificante mayor fue el revenimiento de la pasta, Cabe mencionar que para un mismo porcentaje de aditivo el asentamiento será mayor a medida que el tamaño máximo nominal sea mayor, es decir, a menor superficie específica para un mismo consumo de aditivo la trabajabilidad será mayor. Debido a que existen menos espacios superficiales a cubrir.

Los asentamientos obtenidos en las dosificaciones óptimas de cada TMN 1" (0.2%),  $\frac{3}{4}$ " (0.4%) y  $\frac{1}{2}$ " (0.4%) fueron de 150mm, 178mm y 150mm, estos asentamientos de acuerdo a la tabla 19 del presente trabajo, corresponden a pastas húmedas o semi-húmedas, esto permite concluir que los concretos obtenidos en cada caso tienen buena manejabilidad y sirven para la construcción de elementos esbeltos y estructurales, donde el colocado es sin vibración.

Los resultados obtenidos son coherentes y consecuentes a la teorías ya planteadas y a las investigaciones realizadas; este trabajo es importante debido a que los porcentajes óptimos obtenidos de aditivos para cada tamaño de agregado sirven como guía u orientación para construcciones de baja o mediana complejidad, debido a, que los concretos utilizados en este tipo de obra son fabricados in situ y en consecuencia no cuentan con un control de calidad que garanticen el cumplimiento de las condiciones establecidas en el diseño de mezcla (Relación A/C y resistencia), por ende, al emplear la cantidad óptima de aditivo súperplastificante se podrá obtener un concreto eficiente con una excelente trabajabilidad y altos valores de resistencia a la compresión por encima del concreto convencional, sin comprometer la relación A/c establecida en el diseño; obteniendo un hormigón fluido con gran resistencia, que serviría en estructuras densamente armadas, y en consecuencia causaría una reducción significativa en mano de obra y equipos para la colocación, vibrado y compactación del concreto.

## 7 RECOMENDACIONES

Luego de terminada la investigación, se procede a brindar las siguientes recomendaciones, con el fin de profundizar o ahondar en la temática: Incidencia del tamaño máximo nominal en el consumo de aditivos, y a su vez poder estructurar o formar una guía tecnificada para construcciones de baja o mediana complejidad, donde el concreto utilizado es preparado In Situ y no cuenta con un control de calidad en cuanto a la relación A/C y resistencia; al emplear el correcto uso del aditivo se podrá obtener un concreto eficiente con una excelente trabajabilidad y resistencias sin comprometer la relación a/c establecida en el diseño.

- La investigación se realizó usando un aditivo súperplastificante específico (Ver ficha técnica), se recomienda realizar la investigación, usando otros aditivos de este mismo tipo, ya sean solubles o insolubles (Puzolanas o polvo). Con el fin de comparar cual se comporta de manera eficiente en cuanto a la relación beneficio/costo
- Investigar si las dosificaciones obtenidas para cada TMN con el aditivo súperplastificante son aplicables o perfectamente utilizables para otros tipos de aditivos (retardantes, acelerantes, Incluidores de aire, minerales y misceláneos, entre otros).
- Teniendo en cuenta que las características intrínsecas del agregado grueso (Absorción, porosidad, adherencia-textura entre otras) influye en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se recomienda realizar la investigación, con otros tipos de agregados de origen calizo, o de fuentes de materiales gruesos diferentes
- Por limitaciones de tiempo, no fue posible determinar otras propiedades del concreto en estado fresco (extensibilidad, capacidad de paso, segregación estática, tiempo de fraguado, contenido de aire) y en estado endurecido (tracción, flexión, módulo elástico), por tal motivo se sugiere realizar los ensayos pertinentes y observar que tanto influye las variaciones del aditivo para cada TMN, en tales propiedades.

- En la investigación se tomó como variable fija el tipo de agregado fino usado, que en este caso correspondía a una arena semi-gruesa, se recomienda investigar si los porcentajes óptimos serían diferentes o iguales, usando arenas gruesas o finas.
- La relación de A/C en la investigación fue constante o fija, teniendo en cuenta que los aditivos súperplastificantes son reductores de agua, es decir te permiten una buena trabajabilidad, con relación a/c bajas y por ende mayor resistencia, otra investigación sería encaminada a buscar las reducciones exactas de agua, al aumentar el porcentaje de aditivos.

Como se mencionó, las mayores resistencias se encontraron en el tamaño máximo nominal de 1", las cuales fueron relativamente mayores que en los demás TMN, debido a que el diseño de mezcla patrón usado, está diseñado para un mayor consumo de pasta, es decir para agregados de mayor superficie específica, y en consecuencia al ser el TMN de 1" de menor superficie específica, se produjo un exceso de pasta lo que causó dicho aumento, otra investigación podría ir encaminada a determinar diseños de mezclas acorde a el TMN, de tal forma que el consumo de pasta sea óptimo.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGOS. (2018). Cemento gris. BOGOTA D.C.: Argos. Retrieved from <https://colombia.argos.co/Portals/Colombia/Contenido/Conoce-nuestros-productos/Cemento/Usos-general/Cemento-Gris/Argos-FT-CementoGris-UsosGeneral.pdf>
- Castellón, 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.
- Cementos Tequendama. (2018). Tipos de cementos y características según NTC 121. Retrieved January 17, 2020, from <http://www.cetesa.com.co/tipos-de-cementos-y-caracteristicas-segun-ntc-121/#>
- 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.
- Chan, J., Solís, R., & Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7-2, 39-46.
- Garay, L., & Quispe, C. (2016). *ESTUDIO DEL CONCRETO ELABORADO EN LOS VACIADOS DE TECHOS DE VIVIENDA EN LIMA Y EVALUACION DE ALTERNATIVA DE MEJORA MEDIANTE EL EMPLEO DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Gaspar-Tebar, D. (1982). HORMIGONES, MORTEROS Y PASTAS: GENERALIDADES, CLASIFICACION Y DEFINICIONES. *Informes de La Construcción*, 34(340), 35-40. <https://doi.org/10.3989/ic.1982.v34.i340.2107>
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua / cemento en el concreto. *Tecnología En Marcha*, 25(2), 80-86.

- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia Usando aditivo superplastificante, microsilice y nanosilice con cemento portland tipo I*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
- 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.
- Mejías, S., & Águila, I. (2016). Posibilidades de utilización del concreto de alta resistencia con el uso de puzolana y superplastificante para viviendas en Venezuela. In U. C. de Venezuela. (Ed.), *IDEC XXXIV Jornadas de Investigación*. (Universida, pp. 126–136). Caracas.
- Montero Meléndez, C. M., & Vásquez Chico, J. A. (2018). *Influencia de la granulometría del agregado y el aditivo superplastificante SIKA CEM en las propiedades del concreto rheoplástico dosificado en volumen*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- 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.
- Rivera, G. (2009). *Tecnología del concreto y el mortero*. (Universidad del Cauca, Ed.) (Universida). Cauca: Universidad del Cauca.
- Sanchez, D. (2010). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. (ASOCRETO, Ed.) (ASOCRETO). BOGOTA D.C.: ASOCRETO.
- Sanchez, K. (2017). *ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y SU INFLUENCIA EN LA CONSISTENCIA Y DESARROLLO DE RESISTENCIAS DE CONCRETO PARA  $f'c = 175,210,245 \text{ kg/cm}^2$* . UNIVERSIDAD CONTINENTAL.
- Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2006). *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*. (Universidad de Alicante, Ed.) (Universida, Vol. 1). Alicante: Universidad de Alicante.
- Sepulveda, A. (2016). *FACTORES DETERMINANTES DE LA RESISTENCIA A*

COMPRESIÓN DEL CONCRETO, (October), 7. Retrieved from  
[https://www.researchgate.net/publication/309398676\\_FACTORES\\_DETERMINANTES\\_DE\\_LA\\_RESISTENCIA\\_A\\_COMPRESION\\_DEL\\_CONCRETO](https://www.researchgate.net/publication/309398676_FACTORES_DETERMINANTES_DE_LA_RESISTENCIA_A_COMPRESION_DEL_CONCRETO)

Sika S.A.S. (2014). *Aditivos para concreto*. (Sika S.A.S., Ed.) (SIKA S.A.S). BOGOTÁ D.C.: SIKA S.A.S.

Suarez, M. (2012). *Descripción del uso de concretos especiales en Colombia desde el 2000 hasta el 2010*. Universidad Pontificia Bolivariana.

Toxement. (2018). *Aditivos para concreto*. (Theeuclidgroup, Ed.). Tocancipá.