Evaluación Del Aditivo Plastissil En La Fabricación De Morteros De Alto Modulo Para La Recuperación De Pavimentos Rígidos.

Anderson A. Uribe y Jhoan A. Ferrin

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil
Facultad de ingeniería y ciencias básicas, Instituto tecnológico del putumayo

Notas de Autor

Anderson Uribe, Johan Ferrin, Departamento de Ingeniería y ciencias básicas, Instituto Tecnológico del Putumayo- Mocoa Putumayo.

Este trabajo fue realizado con la ayuda financiera de Laboratorios Walter Cortez. Cuenta con la corrección de estilo de la especialista Eliana Santacruz, Del programa de ingeniería civil del Instituto Tecnológico del Putumayo.

Cualquier mensaje con respecto a este articulo debe ser enviado al centro de investigación CIECYT del Instituto Tecnológico del Putumayo, Mocoa, Colombia o al correo atencionalusuario@itp.edu.co

Evaluación Del Aditivo Plastissil En La Fabricación De Morteros De Alto Modulo Para La Recuperación De Pavimentos Rígidos.

Anderson A. Uribe y Johan A. Ferrin

Esp. Elina M. Santacruz y Walter H. Cortez

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero civil

Instituto Tecnológico del Putumayo

Mocoa, 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de mi fortaleza y guía en cada paso de este camino, brindándome las oportunidades, los aprendizajes y las bendiciones que me han permitido llegar hasta aquí; a mis padres Marco Uribe y Rosa Aux quienes con su amor incondicional han sido mi mayor inspiración, a mi abuela, quien desde el cielo me acompaña y me cuida y sus enseñanzas permanecen vivas en mi corazón.

ANDERSON URIBE.

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios que sin el nada de esto hubiera sido posible, a mis queridos padres, quienes con su amor, sacrificio y apoyo incondicional me han enseñado el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome el aliento necesario para seguir adelante. A mis hermanas, que por su comprensión y por ser una fuente constante de motivación y alegría en mi vida. Su presencia me da fuerza para superar cualquier obstáculo.

A mis profesores, quienes con su conocimiento y dedicación me han guiado en este proceso de aprendizaje, siempre dispuestos a compartir su sabiduría. A mis amigos, por su compañía, ánimo y comprensión en los momentos de desafío. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

JOHAN FERRIN

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por darme la sabiduría y la fuerza para culminar este importante paso en mi vida; a mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo me han guiado en cada paso de mi vida. Ustedes son mi mayor inspiración y la razón por la cual he logrado llegar hasta aquí.

A mi familia, por su compañía, ánimo y compresión en los momentos más desafiantes de este camino. Su fe en mí ha sido una fuerza invaluable que me ha impulsado a superar los obstáculos; además, expreso mis sinceros agradecimientos a mis asesores Eliana Santacruz y Walter Cortez, por su guía, paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo.

ANDERSON URIBE

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres Jaime Ferrin y Stella Pava, como a mis hermanas por su apoyo incondicional durante todo el proceso de investigación. Sin su amor, comprensión y estímulo constante, este logro no habría sido posible.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación. A mis asesores y profesores, por su guía y apoyo constante, así como a mis compañeros de investigación por su colaboración y valiosas ideas.

JOHAN FERRIN

RESUMEN.

El objetivo del presente estudio es evaluar el uso del aditivo Plastissil en la fabricación de morteros de alto módulo para la recuperación de pavimentos rígidos, analizando su influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del mortero. Esto con el fin de proponerlo como una alternativa viable para la rehabilitación de pavimentos rígidos que presentan altos niveles de desgaste en la superficie de rodadura, específicamente en el municipio de Mocoa.

Para ello, se realizaron ensayos de laboratorio siguiendo la normativa colombiana NTC 1299, empleando arena que pasa por el tamiz N°8 (2.36 mm) proveniente de la cantera GRAVACOL, cemento de uso general de las marcas Cemex y Holcim, agua, y el aditivo Plastissil. Se trabajaron tres dosificaciones del aditivo en proporción al peso del cemento (10%, 15% y 20%), seleccionándose la de 15%, equivalente a 600 gramos, por presentar mejores resultados.

Asimismo, se utilizó cemento en bolsas de 4 kg y se probaron cinco proporciones distintas de agua (800, 1000, 1200, 1500 y 2000 mililitros), optando por la de 1200 ml por cada 4 kg de cemento, con la cual se logró una resistencia a la compresión de 38.7 MPa.

Palabras clave: *aditivo, mortero, pavimento, resistencia, estado fresco, NTC*

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the use of the additive Plastissil in the production of high-modulus mortars for the rehabilitation of rigid pavements, analyzing its influence on the physical and mechanical properties of the mortar. This is intended to propose it as a viable alternative for the rehabilitation of rigid pavements that exhibit high levels of surface wear, specifically in the municipality of Mocoa.

To achieve this, laboratory tests were carried out following the Colombian standard NTC 1299, using sand passing through the No. 8 sieve (2.36 mm) from the GRAVACOL quarry, general-use cement from the brands Cemex and Holcim, water, and the Plastissil additive. Three dosages of the additive were tested in proportion to the weight of the cement (10%, 15%, and 20%), with the 15% dosage—equivalent to 600 grams—being selected for yielding the best results.

Additionally, 4 kg cement bags were used, and five different water proportions were tested (800, 1000, 1200, 1500, and 2000 milliliters). The 1200 ml dosage per 4 kg of cement was selected, as it resulted in a compressive strength of 38.7 MPa.

Key words: admixture, mortar, pavement, strength, fresh state

Contenido

Introducción 14

Planteamiento del Problema. 16

Justificación. 20

Hipótesis. 21

Hipótesis General. 21

Hipótesis Específicas. 21

Objetivos 22

Objetivo General 22

Objetivos Específicos 22

Marco de Referencia 23

Marco Teórico. 23

Concreto. 23

Componentes Convencionales del Concreto. 24

Marco Conceptual. 47

Aditivos. 47

Slump. 48

Mortero. 48

Pavimento Rígido 49

Temperatura de mezcla. 49

Marco Legal. 50

Marco Contextual. 52

Municipio de Mocoa. 52

Barrio la Independencia. 53

Metodología. 54

Método y Alcance de la Investigación. 54

Tipo de Investigación. 54

Enfoque de la Investigación. 55

Diseño de la Investigación. 57

Población y Muestra. 58

Población. 58

Muestra. 59

Tamaño de la Muestra. 59

Procedimiento y Resultados. 61

Identificar la Influencia del Aditivo Plastissil en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Mortero de Alto Modulo. 62

Etapa 1 preliminar. 62

Etapa 2 Diagnostico. 65

Etapa 3 Experimentación. 83

Etapa 4 de Selección. 106

Etapa 5 Evaluación. 112

Examinar el desempeño del mortero de alto modulo en pavimentos rígidos sometidos a distintos niveles de tránsito. 113

Analizar la Relación Costo Beneficio del Aditivo en la Reparación de Fallas en los Pavimentos. 124

Conclusiones. 127

Recomendaciones. 128

Referencias..... 129

Tabla de Tablas

Tabla 1. _____ *26*

Tabla 2. _____ *27*

Tabla 3. _____ *29*

Tabla 4. _____ *30*

Tabla 5. _____ *31*

Tabla 6. _____ *32*

Tabla 7. _____ *33*

Tabla 8. _____ *50*

Tabla 9. _____ *53*

Tabla 10. _____ *56*

Tabla 11. _____ *60*

Tabla 12. _____ *69*

Tabla 13. _____ *70*

Tabla 14. _____ *76*

Tabla 15. _____ *80*

Tabla 16. _____ *80*

Tabla 17. _____ *81*

Tabla 18. _____ *90*

Tabla 19. _____ *92*

Tabla 20. _____ *93*

Tabla 21. _____ *94*

Tabla 22. _____ *101*

Tabla 23. _____ *101*

Tabla 24. _____ *105*

Tabla 25. _____ *106*

Tabla 26. _____ *106*

Tabla 27. _____ *107*

Tabla 28. _____ *107*

Tabla 29. _____ *109*

Tabla 30. _____ *110*

Tabla 31. _____ *112*

Tabla 32. _____ *125*

Tabla 33. _____ *126*

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. _____ *52*

Ilustración 2. _____ *53*

Ilustración 3. _____ *57*

Ilustración 4. _____ *61*

Ilustración 5. _____ *63*

Ilustración 6. _____ *63*

Ilustración 7. _____ *64*

Ilustración 8. _____ *65*

Ilustración 9. _____ *66*

Ilustración 10. _____ *66*

Ilustración 11. _____ *67*

Ilustración 12. _____ *68*

Ilustración 13. _____ *68*

Ilustración 14. _____ *69*

Ilustración 15. _____ *71*

Ilustración 16. _____ *72*

Ilustración 17. _____ *73*

Ilustración 18. _____ *73*

Ilustración 19. _____ *75*

Ilustración 20. _____ *75*

Ilustración 21. _____ *77*

Ilustración 22. _____ *78*

Ilustración 23. _____ *79*

Ilustración 24. _____ *84*

Ilustración 25. _____ *84*

Ilustración 26. _____ *85*

Ilustración 27. _____ *85*

Ilustración 28. _____ *86*

Ilustración 29. _____ ***¡Error! Marcador no definido.***

Ilustración 30. _____ *87*

Ilustración 31. _____ *88*

Ilustración 32. _____ *89*

Ilustración 33. _____ *91*

Ilustración 34. _____ *92*

Ilustración 35. _____ *94*

Ilustración 36. _____ *95*

Ilustración 37. _____ *96*

Ilustración 38. _____ *96*

Ilustración 39. _____ *97*

Ilustración 40. _____ *97*

Ilustración 41. _____ *98*

Ilustración 42. _____ *99*

Ilustración 43. _____ *100*

Ilustración 44. _____ *102*

Ilustración 45. _____ *102*

Ilustración 46. _____ *103*

Ilustración 47. _____ *103*

Ilustración 48. _____ *104*

Ilustración 49. _____ *104*

Ilustración 50. _____ *105*

Ilustración 51. _____ *108*

Ilustración 52. _____ *109*

Ilustración 53. _____ *110*

Ilustración 54. _____ *111*

Ilustración 55. _____ *114*

Ilustración 56. _____ *116*

Ilustración 57. _____ *117*

Ilustración 58. _____ *118*

Ilustración 59. _____ *119*

Ilustración 60. _____ *119*

Ilustración 61. _____ *120*

Ilustración 62. _____ *121*

Ilustración 63. _____ *122*

Ilustración 64. _____ *122*

Ilustración 65. _____ *123*

Ilustración 66. _____ *124*

Ilustración 67. _____ *124*

Introducción

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta retos significativos relacionados con la sostenibilidad, eficiencia y durabilidad de los materiales utilizados en diversas infraestructuras. Los constantes avances de la ciencia de los materiales han permitido el desarrollo de soluciones innovadoras que mejoran las propiedades de los materiales tradicionales, y uno de los componentes más influyentes son los aditivos. (OIKOS CONSTRUCTORA, 2024)

La inclusión de los aditivos en los procesos constructivos ha transformado la forma en que se diseña y se ejecutan los proyectos de construcción, permitiendo la adaptación a condiciones específicas, la optimización de recursos y la mejora de las propiedades estructurales de los materiales. (Chaparro Acuña, Gil Chavez, Bello Escobar, & Ortiz Baron , 2019)

Uno de los sectores que ha optado por el uso de aditivos en la fabricación de morteros y concretos es la rehabilitación de pavimentos, una actividad esencial para que la infraestructura vial conserve la propiedad de durabilidad que es fundamental para la conectividad y el transporte vehicular de manera óptima y eficiente. Una de los principales y más comunes fallas presentada en los pavimentos rígidos que pueden ser sometidos rehabilitación es el desgaste de la superficie de rodadura que en la mayoría de las ocasiones no es una afectación en todas la estructura de pavimento por lo que con la intervención de la superficie para recuperar la uniformidad de la misma es suficiente razón para la cual se presentan varias alternativas de solución que son convencionales y también aparecen soluciones que tienen como componente principal el uso de aditivos que mejoran características de resistencia, durabilidad y adherencia.

La infraestructura vial urbana del municipio esta constituidos por 69,70 kilómetros de red vial compuesta por avenidas, vías primarias, secundarias y de carácter barrial. Las Avenidas principales del casco urbano, vías Primarias y secundarias en el municipio de Mocoa, se encuentran en su mayoría pavimentadas siendo el pavimento rígido el sistema predominante, el cual presenta un alto grado de deterioro causado en primer lugar por los años de servicios que estos han prestado a la comunidad, además de que el sistema constructivo de la época en que se construyó no fue el óptimo se realizó a través de mingas, otro factor importante que incide de manera directa en el deterioro de la red vial del municipio de Mocoa es el paso constante de tráfico pesado que de un tiempo para acá circula por las principales vías del casco urbano, y las estructuras de pavimento con la que cuenta el municipio no han sido diseñadas para soportar los esfuerzos que estos vehículos le transfieren. (Alcaldía Municipal de Mocoa, 2016)

La presente investigación da a conocer la influencia del aditivo plastissil en el uso de morteros destinados a la rehabilitación de pavimentos rígidos para atender el deterioro superficial presente para lo cual se encontró que la inclusión de este aditivo mejoro las propiedades mecánicas de adherencia, resistencia, manejabilidad del mortero fresco lo que conllevo a reducir la cantidad de agua utilizada, además de presentar características hidrófobas permitiendo la reducción de los agrietamientos en los pavimentos recuperando de esta manera la uniformidad de la capa de rodadura.

Planteamiento del Problema.

Rozas y Sánchez (2004) considera que las carreteras son infraestructuras clave para el desarrollo económico y social de cualquier sociedad, ya que juegan un papel fundamental en la conectividad, la seguridad y la calidad de vida de las personas. Su importancia se extiende a varios ámbitos, desde la facilitación del acceso a recursos naturales y zonas rurales, hasta la mejora de la movilidad y la comunicación entre diferentes regiones. Gracias a su red vial, se facilita el transporte de recursos y bienes, lo que optimiza la logística y reduce los costos asociados con el traslado de productos. Además, las carreteras permiten el acceso a áreas de alta productividad, favoreciendo el desarrollo de actividades económicas como la agricultura, la industria y el comercio. Este acceso facilita no solo la explotación de recursos naturales, sino también la distribución eficiente de bienes y servicios, lo que impulsa la competitividad de los mercados y promueve un crecimiento económico sostenido. (Rozas & Sanchez, 2004)

Flores y Sandoval (2020) sostiene que, a lo largo de los años, los pavimentos rígidos han demostrado ser una opción destacada para la construcción y rehabilitación de vías de diferentes tamaños en todo el mundo. No obstante, este tipo de pavimentos puede enfrentar una serie de problemas que impactan su rendimiento y durabilidad debido a diversas circunstancias. (Yap flores & Sandoval Marichi, 2020).

En la industria de la construcción, se ha seguido durante años un proceso tradicional para la fabricación de concreto, que involucra agua, arena, cemento y agregados. No obstante, es esencial que esta industria evolucione, buscando constantemente mejoras para lograr estructuras más resistentes, seguras y sostenibles.

El concreto es uno de los materiales más empleados en la construcción a nivel global, gracias a su versatilidad, durabilidad y resistencia. No obstante, su rendimiento puede fluctuar considerablemente según las condiciones internas y externas. Las condiciones internas se refieren a la calidad de los materiales, el proceso de construcción y las proporciones de la mezcla, mientras que las condiciones externas incluyen factores fuera de nuestro control, como el clima, la temperatura y la humedad. Todos estos elementos son fundamentales para garantizar una correcta fabricación del concreto.

Para Rodríguez (2018) argumenta que el concreto, en su estado fresco, es un material limitado que se mantiene manejable durante un tiempo determinado antes de que comience su proceso de endurecimiento debido a las reacciones químicas del material. Durante este intervalo, desde su preparación hasta el inicio del endurecimiento, el concreto puede ser manipulado en la obra, pero este tiempo varía dependiendo de las condiciones. Las fluctuaciones climáticas juegan un papel crucial en el comportamiento de la mezcla, especialmente cuando no se utilizan aditivos. Por ejemplo, en un entorno cálido, la mezcla puede volverse inutilizable a las dos horas, mientras que, en un ambiente frío, puede pasar más de ocho horas sin que el concreto llegue a endurecer. (Rodriguez Custodio , 2018).

Según molina (2013) identifico que los principales daños patológicos en pavimentos rígidos, se observan grietas longitudinales, que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa. Las causas más comunes de estas grietas incluyen el asentamiento de la base o subrasante, la falta de soporte en la losa debido a la erosión de la base, un ancho excesivo de la losa, la ausencia de juntas longitudinales, el mal posicionamiento de las dovelas y la contracción del concreto. Además, se presentan grietas transversales, que son perpendiculares al eje de circulación de la vía, y sus principales causas son problemas de drenaje y cargas excesivas.

También se ha identificado que muchos pavimentos, debido a su antigüedad, se encuentran en mal estado, lo que ha provocado el desgaste de las placas y el descascaramiento de la superficie de la losa, generando ahuellamiento y baches. (Molina, 2013)

Para el instituto nacional de vías (2019) manifestó que las vías de Colombia, presenta uno de los problemas más recurrente en los pavimentos rígidos, los cuales son el deterioro ocasionado por la culminación de su vida útil de la estructura ya sea porque su periodo de diseño se ha completado o por que los deterioros son ocasionados por la repetición de ciclos de carga sobre las estructuras a largo de su vida útil, lo que ha ocasionado disminuir considerablemente su nivel de servicio. estas condiciones dadas por los pavimentos en Colombia, no es solo evidenciada por los usuarios de las vías, sino también por el informe técnico del INVIAS del semestre del 2018-2, en el cual reportaron que las vías pavimentadas solo el 47.19% se encuentran en estado excelente o bueno. (Instituto nacional de vias, 2019).

En el departamento del Putumayo, la situación no es un caso aislado, ya que la mayoría de sus carreteras pavimentadas se encuentran en mal estado debido al vencimiento de su periodo de diseño. El mantenimiento y las reparaciones de estos pavimentos no son tareas sencillas, ya que intervienen diversos factores que contribuyen a la aparición de estos daños, como se mencionó previamente, además de los elevados costos asociados. Esta situación ha llevado a la industria a desarrollar soluciones, como la creación de guías para los procesos constructivos y de inspección.

La red vial del municipio de Mocoa está compuesta en aproximadamente un 80% por pavimento rígido. No obstante, una parte significativa de esta presenta un notable deterioro en la superficie de rodadura debido a factores internos y externos, lo que provoca baches, grietas, fisuras y desniveles en las losas. Incluso cuando la estructura subyacente del pavimento rígido se

encuentra en buen estado, estos problemas superficiales son los principales responsables del deterioro de las vías.

De esta situación surge la pregunta ¿Cómo se puede determinar si el aditivo plastissil afecta las propiedades físicas y mecánicas de los morteros utilizados en la rehabilitación de pavimentos rígidos?

Justificación.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño del aditivo Plastissil en pavimentos rígidos, ya que este puede mejorar las propiedades del concreto hidráulico, incrementando su resistencia, durabilidad y estabilidad estructural, especialmente en pavimentos sometidos a condiciones extremas y tráfico pesado. Estas mejoras contribuyen a extender la vida útil de las carreteras y a reducir los costos asociados con el mantenimiento y la rehabilitación de pavimentos.

Los aditivos juegan un papel crucial en la construcción, ya que optimizan las características del concreto. Diversas investigaciones han explorado los efectos de distintos aditivos y sus propiedades. Al aumentar la resistencia a la tracción y a la fatiga, los morteros con Plastissil ayudan a prevenir la formación de grietas causadas por cargas repetitivas. Esto permite una distribución más eficiente de las cargas sobre la superficie del pavimento y hacia las capas inferiores, disminuyendo los puntos de tensión concentrada y reduciendo el riesgo de fallas locales.

Este proyecto tiene como propósito demostrar las ventajas de incorporar el aditivo Plastissil en la fabricación de morteros de alto módulo, promoviendo su uso en futuros proyectos de pavimentos rígidos. Además, se busca contribuir a la reducción de los costos de mantenimiento de carreteras afectadas por grietas y baches originados por el tráfico pesado.

Hipótesis.

Hipótesis General.

El uso del aditivo plastissil influye positivamente en la fabricación de morteros de alto modulo para la recuperación de pavimentos rígidos.

Hipótesis Específicas.

La utilización del aditivo plastissil influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas en la fabricación de alto modulo.

El comportamiento del mortero de alto modulo se desempeña positivamente a los distintos niveles de tránsito.

La fabricación del mortero de alto modulo no representa grandes costos en la reparación de fallas de pavimento rígidos.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el aditivo plastissil en la fabricación de morteros de alto módulo para la recuperación de pavimentos rígidos.

Objetivos Específicos

Identificar la influencia del aditivo plastissil en las propiedades físicas y mecánicas del mortero de alto modulo para determinar su aplicación en pavimento rígidos.

Examinar el desempeño del mortero de alto modulo en pavimento rígidos sometidos a distintos niveles de tránsito.

Analizar los resultados obtenidos y su relación costo beneficio del producto en la reparación de fallas en los pavimentos rígidos.

Marco de Referencia

Marco Teórico.

En la industria de la construcción, los aditivos para concreto han transformado los procesos constructivos al permitir la modificación y optimización de propiedades clave del material, como la trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Estos compuestos se incorporan en pequeñas cantidades para mejorar el desempeño del concreto tanto en su estado fresco como endurecido. Investigaciones recientes, como las de Sepúlveda Acosta (2023), Carvajal y Cortés (2019), y Vivanco Barzola (2021), han realizado importantes aportes al estudio de los aditivos, evaluándolos bajo diversos contextos normativos y experimentales.

Concreto.

En el libro denominado Diseños y control de mezclas de concreto de Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi. Se menciona que el concreto también conocido como hormigón, es esencialmente una combinación de dos elementos: agregados y pastas. La pasta, que se forma a partir del cemento y agua tiene la función de unir los agregados como arena y grava (piedra triturada y pedrejón), formando una masa sólida similar a la roca. Este proceso ocurre cuando la pasta se endurece debido a la reacción química del cemento y el agua.

Para Kosmatka et al. (2002) menciona que los agregados se clasifican principalmente en dos categorías: finos y gruesos. Los agregados finos incluyen arena artificial o natural, con partículas de hasta 9.5mm mientras que los agregados gruesos son aquellas cuyas partículas se retienen en una malla de 1.18mm y pueden alcanzar tamaños de hasta 150mm (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2002).

Por otro lado, Rivva (2000) menciona que el concreto inventado por el ser humano es uno de los materiales más utilizados y versátiles ya que este puede emplearse en una amplia variedad de estructuras y en distintos climas. Sin embargo, presenta limitaciones en cuanto su resistencia a la atracción, flexión y permeabilidad. A medida que profundiza en el estudio de los materiales, sus propiedades, el proceso de fabricación y su correcta instalación, será posible realizar una adecuado mantenimiento y reparación frente a los diversos factores que afectan al concreto debido a su exposición. En este sentido la toma de decisiones oportunas es crucial para encontrar soluciones efectivas (Rivva López, 2000)

Componentes Convencionales del Concreto.

El concreto fresco es una mezcla liquida compuesta por cemento, arena, grava y agua. A través de un proceso denominado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con agua lo que provoca que el concreto se endurezca y se transforme en un material duradero.

Cemento.

Según Carvajal y Cortez (20199 argumenta que, en la industria del cemento, se pueden clasificar en dos grupos principales: los cementos hidráulicos y los cementos no hidráulicos. Los cementos no hidráulicos no reaccionan cuando entran en contacto con el agua o en ambientes húmedos, por lo que no son de interés en este caso. En cambio, los cementos hidráulicos sí interactúan con el agua mediante una reacción química entre el polvo de cemento, compuesto principalmente por silicatos hidráulicos de calcio, y el agua. Este proceso, llamado hidratación del cemento, produce una pasta que, al combinarse con agregados finos o gruesos según el propósito de la mezcla, adquiere propiedades que permiten que el material adquiera consistencia y resistencia. (Carvajal Vega & Cortéz Pomar , 2019).

El cemento es uno de los componentes clave del concreto, además, es el de mayor costo por unidad. Las propiedades finales del concreto dependen directamente de la cantidad y calidad de los materiales utilizados, así como de su correcta selección y manejo. Por ello, es crucial tener en cuenta estos factores para obtener las características deseadas en la mezcla de manera económica.

Para Vivianco (2021) el cemento se produce a partir de la trituración de materiales como caliza, arenisca y arcilla. Al agregar agua en la cantidad precisa, se forma una pasta que, al endurecerse, se convierte en un material sólido y estable. Este material, que actúa como un aglomerante hidrófilo, adquiere resistencia y adherencia cuando entra en contacto con el agua.

Los principales componentes de los aglomerantes hidráulicos, como el cemento, son la cal, la sílice, la alúmina y el óxido férrico. La mayor parte de su composición está formada por cuatro compuestos principales, que suman más del 95% del contenido total: óxido de calcio (CaO), óxido de sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). El restante 5% está compuesto por otros elementos, como óxido de magnesio, sodio, potasio, titanio, azufre, fósforo y manganeso. (Vivanco Barzola , 2021).

Tabla 1.

Compuestos químicos y sus límites aproximados del cemento.

Compuesto	Símbolo químico	Limites aproximados (%)
Cal	CaO	60 a 67
Sílice	SiO2	17 a 25
Alúmina	AL2O	3 a 8
Óxido de hierro	Fe2O3	0.5 a 6
Óxido de magnesio	MgO	0.5 a 4
Álcalis	Na2O,K2O	0.3 a 1.2
Anhídrido Sulfúrico	SO3	2 a 3.5

Nota. esta tabla indica los compuestos químicos del cemento y sus límites aproximados. Recuperado de fundamentos de concreto aplicados a la construcción. *Medellín, Piloto SA, 2006.*

Por otro lado, la normativa ASTM C150, el cemento portland se clasifica en los siguientes tipos:

- Tipo I: destinado a uso general.
- Tipo II: resistencia moderada a los sulfatos y al calor de hidratación. Recomendados para ambientes agresivos y vaciados masivos.
- Tipo III: desarrolla la resistencia con rapidez con un calor de hidratación elevado. Su aplicación debe ser en climas fríos donde se requiera acelerar la puesta en servicio.
- Tipo IV: tiene como característica principal que tiene bajo calor de hidratación, alcanza la resistencia con lentitud. Su uso es recomendado para concretos masivos.

Tabla 2.

Clasificación del cemento Portland.

Cemento	Nombre	Características
Tipo I	Normal	
Tipo IA	Normal inclusor del aire	De uso general
Tipo II	De resistencia moderada a los sulfatos	
Tipo II A	De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire	Uso como precaución en el ataque moderado de sulfatos
Tipo III	De alta resistencia a edad temprana	
Tipo III A	De alta resistencia a edad temprana, inclusor del aire	Proporciona resistencia elevadas a edades tempranas
Tipo IV	De bajo calor de hidratación	Se emplea para reducir al mínimo la cantidad y la velocidad de generación de calor ocasionada por la hidratación. Favorece el desarrollo de resistencia a una velocidad muy baja
Tipo V	De resistencia elevada a los sulfatos	Se emplea exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos

Nota. la tabla nos indica los tipos de cemento y sus principales características de uso. Recuperado de fundamentos de concreto aplicado en la construcción, 2006.

Agregados.

Coronel (2018) describe que los agregados pétreos, como arenas, gravillas y guijarros, provienen de rocas naturales o artificiales y se utilizan tal como están o triturados en trabajos de construcción, especialmente en carreteras y hormigones. Los agregados tanto finos como gruesos de peso normal o livianos son fundamentales para las propiedades del hormigón ya que constituyen su estructura granular y representan aproximadamente el 80% de su volumen. El uso de estos materiales en el hormigón se justifica por dos razones, por un lado, los áridos ofrecen mayor estabilidad volumétrica y durabilidad que la pasta de cemento y por otro, actúan como un material de relleno más económico. (Coronel, 18).

Agregados gruesos.

Según Rodríguez (2012) menciona el conjunto de partículas que quedan retenidas en el tamiz N°4, obtenida por desintegración natural. Estas partículas están reguladas por la norma ASTM C33 o NTP400.037. pueden estar formadas por piedra partida, grava natural o triturada, concreto triturado y agregados tanto naturales como artificiales. Se recomienda que tengan formas angulares o semi angulares, sean compactas, resistentes, limpias, duras y con una textura rugosa. Es importante evitar partículas blandas o materiales escamosos y desde el punto de vista químico, deben ser estables libres de impurezas como escamas, polvo, sales, materia orgánica, incrustaciones u otros elementos que puedan afectar negativamente al concreto.

Para Vivanco (2021) la resistencia a la compresión debe estar comprendida desde los 600kg/cm2 hasta los 800kg/cm2, no debe superar el doble de la resistencia a la compresión de diseño, los agregados como mínimo deben ser 1.25 veces la resistencia a la compresión del concreto (Vivanco Barzola , 2021)

La granulometría debe ser continua y permitir alcanzar una densidad máxima que proporcione una trabajabilidad adecuada según las condiciones de colocación de la mezcla. Es importante que no se supere el 5% de material retenido en la malla de 1 ½” y el 6% de material que pase a través del tamiz de 1/4”.

El agregado grueso debe cumplir con las siguientes características:

a) Su gradación debe ajustarse a los estándares establecidos por las normas ASTM C 33 y NTP 400.037.

b) La granulometría debe ser continua.

c) Debe permitir alcanzar la densidad máxima del concreto, garantizando una trabajabilidad adecuada conforme a las condiciones de colocación de la mezcla.

d) No debe retener más del 5% de material en el tamiz de 1 ½" y más del 6% de material que pase a través del tamiz de 1/4".

e) Debe cumplir con estos requisitos incluso cuando se utilicen combinaciones de más de dos tipos de agregados.

Tabla 3.

Clasificación de agregados gruesos.

ORIGEN		TIPO	FORMA	TEXTURA	Ejemplos de Identificación Mineralógica
Pétreos	Naturales	Canto Rodado	Redondeada	Lisa	Sedimentaria
	Triturados Mecánicamente	Piedra Triturada	Poliédrica	Rugosa	Granítica Calcárea Basáltica

Nota. se indica la clasificación de los agregados gruesos de acuerdo con su origen, tipo, forma.
Fuente. Studocu de coronel Guadalupe.

Tabla 4.

Agregado grueso Vs. Tamaño de malla.

TAMAÑO DEL AGREGADO	TAMAÑO DE LA MALLA
Agregado grueso	75 mm (3”) 50 mm (2”) 37,50 mm (1 1/2”) 25 mm (1”) 19 mm (3/4”) 12,50 mm (1/2”) 9,50 mm (3/8”)

Nota. RECUPERADO DE ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES. ASOCRETO. *Tecnología y propiedades colección básica del concreto, 2006, vol.1*

Agregados finos.

Según Silva (2021) los agregados finos se componen de partículas que pasan por el tamiz Nº 3/8 y, al menos, el 95% pasa por el tamiz Nº 4 y queda retenido en la malla Nº 200. Por lo general, se trata de arenas naturales o artificiales, o una mezcla de ambas, que provienen de la desintegración natural o artificial de las rocas, las cuales deben cumplir con los requisitos especificados en la NTP 400.037 o ASTM C33. (Silva, 2021).

Según Sánchez (2016) en los agregados finos, es fundamental considerar la distribución numérica de las partículas en función de su distribución volumétrica, lo que se conoce como granulometría. Esta se refiere a los diferentes tamaños del material, que se miden a través de mallas o tamices con aberturas específicas. El material retenido en cada tamiz se pesa y se expresa como un porcentaje, y luego se presenta gráficamente utilizando un sistema semilogarítmico.

- La granulometría debe mostrar una distribución continua en los materiales retenidos en los tamices que van desde el Nº 4 hasta el Nº 100.

- No se debe tener un 45% de material retenido en mallas consecutivas, y el módulo de fineza debe estar entre un mínimo de 2.3 y un máximo de 3.1.
- La granulometría debe estar comprendida dentro de los límites de la tabla 05.

Tabla 5.

Análisis granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8pulg)	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100
1.18 mm (N°16)	50 a 85
600 µm (N°30)	25 a 60
300 µm (N°50)	05 a 30
150 µm (N°100)	0 a 10

Nota. Recomendaciones del porcentaje que pasa. Recuperado de NTP 400.037 (22).

Agua.

Según Flores (2020) este componente es esencial en la elaboración del concreto, ya que permite que el cemento reaccione y se convierta en un material cementante. Esto facilita la formación del Gel y en su estado fresco mejora la manipulación y colocación del concreto. En su estado endurecido asegura que el producto final tenga las características y propiedades deseadas.

Para su uso generalmente se emplea agua potable que haya sido previamente utilizada, siempre y cuando no cauce problemas y afecte negativamente el concreto. (Flores, 2020).

Mortero.

El mortero se define como una mezcla de agua, aglomerantes inorgánicos (como cal, yeso o cemento) y un material de relleno (generalmente arena o agregados finos), a los que en ocasiones se les añaden aditivos. Se utiliza comúnmente como revestimiento en superficies tanto

exteriores como interiores. Los morteros se pueden clasificar en dos grandes grupos: según los materiales que los componen y según su proceso de endurecimiento.

Para Sánchez et al. (2019) definió el mortero de cemento está formado por agua y cemento Portland. La manejabilidad de estos morteros varía según la proporción de arena y cemento, y sus propiedades de resistencia son generalmente favorables. La calidad del mortero depende también de la cantidad de materia orgánica y de las características de la arena, como su textura, granulometría y forma. Para obtener un mortero con alta resistencia, es necesario aumentar el contenido de cemento en la mezcla, aunque esto puede hacer que sea más propenso a agrietarse. En cambio, si se busca un mortero más manejable, pero con menor resistencia, se deben utilizar arenas con baja cantidad de arcilla o limo. La dosificación de estos morteros se basa en la proporción en peso de arena y cemento, y se puede consultar una tabla que especifica las proporciones, características y usos de los morteros de cemento. (Sánchez Cornelio, Salvador Montañez, Lii, & Paredes Álvarez, 2019).

Tabla 6.

Proporciones de morteros cemento- arena, características y usos

DOSIFICACIÓN MORTERO	CARACTERÍSTICAS	USOS
1:1	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Poseen alta resistencia, necesariamente arena limpia.	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Arena limpia o semilavada	Pega para ladrillos en muro y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Arena limpia o semilavada	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines. Pañetes y mampostería en general.

1:6	Arena limpia o semilavada	Pañetes interiores. Pega para ladrillos y baldosines. Pañetes y mampostería en general.
1:7	Poca resistencia arena sucia	Pañetes interiores. Pega para ladrillos y baldosines. Pañetes y mampostería en general.
1:8	Poca resistencia arena sucia	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.
1:9	Poca resistencia arena sucia	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Nota. recuperado de GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, El concreto otros materiales para la construcción. 2003

Según Gutiérrez (2017) menciona que los morteros calcáreos son aquellos en los que la cal actúa como aglomerante. Dependiendo del tipo de cal utilizada en la mezcla, se pueden distinguir los morteros aéreos, que generalmente emplean cal gris o blanca. En estos morteros, la arena desempeña un papel crucial al prevenir la formación de grietas, por lo que debe estar libre de materia orgánica y se recomienda que sus partículas sean angulares. Para morteros destinados a la construcción, la proporción de cal-arena debe ser de 1:3 a 1:4, mientras que, para revestimientos, se sugiere una proporción de 1:2. A continuación, se presenta una tabla que indica las proporciones en volumen de cal y arena, junto con sus respectivos usos.

Tabla 7.

Proporciones de morteros cal-arena y usos.

MORTEROS DE CAL - ARENA		
Proporción en volumen		
Cal	Arena	USO
1	1	Enlucidos
1	2	Revoques
1	3	Muros de ladrillo
1	4	Muros de mampostería

Nota. Recuperado de CATEDRA DE INGENIERÍA RURAL, Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola de ciudad real.

Según Gutiérrez de López (2003) argumenta que cuando los morteros se encuentran en su estado plástico, presentan propiedades como la velocidad de fragüe, la cual depende de factores como las condiciones ambientales (clima, humedad, etc.) y los componentes de la mezcla. Estos factores pueden generar variaciones en el tiempo de fragüe, que puede oscilar entre 2 y 24 horas. La manejabilidad, que se refiere a la facilidad de manipular la mezcla, se ve influenciada por la proporción de cemento y arena, así como por las características de la arena, como su textura, forma y tamaño de partículas. Este factor se mide según la norma NTC 111. Finalmente, la retención de agua, que puede impactar tanto la resistencia final como la velocidad de fragüe, es un indicador clave de la hidratación del cemento. Para mejorar la retención de agua, se recomienda añadir cal a la mezcla, usar aditivos plastificantes o aumentar la cantidad de agregados finos en la arena.

Por otro lado, cuando el mortero se encuentra en su estado endurecido, se pueden evaluar propiedades como la apariencia, un aspecto importante en trabajos donde el acabado final es crucial, como en la construcción. Para lograr una buena apariencia final, se recomienda utilizar morteros con buena plasticidad. La adherencia, que se refiere a la capacidad del mortero para resistir fuerzas de tensión, tanto tangenciales como normales, en la zona de unión entre la estructura y el mortero, también es relevante. Para obtener una buena adherencia, se sugiere trabajar sobre superficies rugosas que puedan absorber adecuadamente el mortero. Otra propiedad importante en el mortero endurecido es la durabilidad, ya que puede verse afectada por factores como cambios de temperatura, mala impermeabilización o agentes corrosivos. Los morteros con alta resistencia a la compresión suelen ser más duraderos. La retracción, que es una

de las causas de agrietamiento del mortero, ocurre debido a la reducción de la pasta de cemento y puede ser más pronunciada en mezclas con alto contenido de cemento. Por lo tanto, es fundamental tener cuidado con las proporciones de la mezcla para evitar que la calidad final del mortero se vea afectada. Para reducir la aparición de grietas, se recomienda usar arenas con granos rugosos y considerar el clima al que será expuesto el mortero. (Gutiérrez de López , 2003)

Aditivos.

Según ingenieros de caminos (2019) en su página web idc el aditivo es una sustancia química, distinta de los agregados, cemento y agua, que se incorpora antes o durante el proceso de mezcla para formar la pasta con la que se trabajará. Su función es modificar de manera controlada algunas propiedades físicas o químicas del material, como la fluidez, el tiempo de fraguado, las resistencias tempranas y finales, y la manejabilidad, entre otras. Esto permite ajustar el concreto o mortero a las especificaciones requeridas. Es importante destacar que los aditivos se deben dosificar en una cantidad inferior al 5% de la masa total de cemento con la que se va a trabajar.

Los fabricantes proporcionan información detallada sobre la composición del aditivo, el comportamiento de la mezcla de concreto y la proporción de su uso. Sin embargo, es fundamental que el uso de aditivos sea controlado mediante mezclas de prueba, para evitar alteraciones imprevistas que puedan comprometer la integridad estructural de la obra civil. (INGENIEROS DE CAMINOS, 2019)

Características y propiedades.

Según Vivanco (2021) describe el uso de aditivos permite controlar adecuadamente ciertas propiedades del concreto, y su efecto depende del agua y de la cantidad de agua que se

debe agregar a la mezcla para lograr la trabajabilidad y compactación deseadas. Los áridos de baja densidad son poco resistentes y presentan porosidad.

- Modificar las propiedades del concreto
- Facilitar la colocación del concreto
- Generar un ahorro sustancial en el costo de producción
- Ahorro de energía
- Modificar la resistencia a la compresión
- Preservar las propiedades del concreto frente a ciclos de congelamiento o altas temperaturas
- Modificar las proporciones de las mezclas de concreto

Los aditivos ayudan a mejorar la trabajabilidad y a regular el proceso de fraguado del concreto útil para concretos secos, concretos bombeados, listos y los concretos fuertemente armados por otro lado estos no se deben dar uso en concretos blandos y concretos fluidos. (Vivanco Barzola , 2021)

Según Rodríguez (2011) describe que, en el estado endurecido, el uso de aditivos es beneficioso para alcanzar diversas propiedades en el concreto. Entre ellas se incluye la capacidad de reducir o retrasar el calor de hidratación durante el endurecimiento inicial, así como acelerar el desarrollo de la resistencia en edades tempranas. Los aditivos también contribuyen a mejorar la resistencia del concreto a la flexión, compresión y corte, además de aumentar su durabilidad y resistencia frente a condiciones severas de exposición. Asimismo, ayudan a disminuir la permeabilidad del concreto y a controlar la expansión debido a la reacción álcali-agregado. Los aditivos también favorecen la adherencia tanto entre el acero y el concreto, como entre el

concreto antiguo y el fresco. De igual manera, mejoran la resistencia al impacto y a la abrasión, previenen la corrosión del acero embebido, y permiten la producción de concretos y morteros coloreados, así como de concretos celulares.

Existen varias razones para investigar el uso de aditivos, y estas se definirán de la siguiente forma: en primer lugar, se comprobará que se cumplan las especificaciones requeridas; en segundo lugar, se analizará cómo los aditivos afectan las propiedades del concreto en función de los materiales y métodos de construcción utilizados; y, por último, se garantizará que el producto final sea consistente.

Clasificación de los aditivos.

Según Sepúlveda (2023) describe que, desde el desarrollo e investigación de los aditivos a nivel mundial, se comenzaron a establecer normativas técnicas y regulaciones para controlar los productos comerciales conocidos como aditivos para la construcción, con el objetivo de supervisar y evaluar cada uno de ellos, evitando que productos no conformes pudieran comprometer la funcionalidad y durabilidad de las infraestructuras. Por esta razón, normas como la ASTM-C497, el comité 212 del ACI y la NTC 1299 de 2008 han establecido diversas clasificaciones de aditivos. (Sepulveda Acosta, 2023).

Clasificación según la ASTM-C494.

La sociedad estadounidense para pruebas y materiales (American Society for Testing and Materiales) en la publicación C494 determina siete tipos comerciales de aditivos según su funcionalidad.

- Tipo A: reductor de agua.
- Tipo B: retardador de fraguado.

- Tipo C: acelerador de fraguado.
- Tipo D: reductor de agua y retardador.
- Tipo E: reductor de agua y acelerador.
- Tipo F: reductor de agua de alto efecto.
- Tipo G: reductor de agua de lato efecto y retardador.

Por otro lado, el Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute) en la publicación 212 de su comité, clasifico a los aditivos según el tipo de material que los conforman o los efectos que producen.

- Aditivos acelerantes.
- Aditivos reductores de agua y que controlan el fraguado.
- Adictivos para inyecciones.
- Aditivos incorporadores de aire.
- Aditivos extractores de aire.
- Aditivos formadores de gas.
- Aditivos productores de expansión.
- Aditivos minerales finalmente molidos.
- Aditivos impermeables y reductores de permeabilidad.
- Aditivos pegantes o epóxidos.
- Aditivos químicos para reducir la expansión.
- Aditivos fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Aditivos floculadores y colorantes.

Clasificación de la NTC 1299.

El instituto colombiano de normas técnicas y certificación a través de sus publicaciones de normas técnicas colombianas en su numeral 1299 de 2008, cuarta versión, expone la siguiente clasificación para los aditivos comerciales en el territorio colombiano:

Tipo A: Plastificante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del concreto.

• Tipo B: Retardante. Demora el tiempo de fraguado del concreto.

• Tipo C: Acelerante. Acelera tanto el fraguado como la ganancia de resistencia a edad temprana del concreto.

• Tipo D: Plastificante retardante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y retardar su fraguado.

• Tipo E: Plastificante acelerante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a una edad temprana.

• Tipo F: Superplastificante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto.

• Tipo G: Súper Plastificante retardante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y además retardar su fraguado.

• Tipo H: Superplastificante acelerante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y acelerar tanto el fraguado

como la resistencia a temprana edad.

Aditivo tipo A plastificante.

Los aditivos tipo A o también conocidos como reductores de agua permiten el uso de menos agua para generar una mejor trabajabilidad y finalmente una mejor resistencia, pues reducen la relación agua cemento sin alterar su consistencia.

Esto se logra mediante un efecto base, es decir, se crea una interface entre el cemento y el agua en la pasta, lo que ocasiona que las partículas se repelen y así se mejora el proceso de hidratación.

Para Silva (2020), en su página web PSI menciona que los aditivos reductores de agua tienen como objetivo disminuir el contenido de agua en la mezcla fresca de concreto, con una reducción porcentual que oscila entre el 5% y el 10%, y un máximo del 15% solo en concretos con altas exigencias de trabajabilidad. Esto permite reducir la relación agua-cemento sin afectar la trabajabilidad. Las recomendaciones técnicas sugieren una granulometría adecuada, pero cuando esta es deficiente, los reductores de agua pueden mejorar las propiedades y capacidades del concreto fresco, asegurando que estos factores no se conviertan en un problema para su desempeño a largo plazo. (PSICONCRETO, 2020).

El efecto directo de un plastificante sobre la pasta de cemento es reducir su viscosidad. Este aditivo hace que la pasta se vuelva más "líquida" y fluya con mayor rapidez. Lo consigue recubriendo las partículas de cemento, lo que genera una repulsión entre ellas. Al repelerse las partículas, se reduce la resistencia al flujo (menor fricción) y se eliminan los micro flóculos, lo que facilita la liberación y una distribución más uniforme del agua.

Aditivo tipo B retardante.

El aditivo tipo B retardante está compuesto por sustancias químicas que disminuyen la velocidad de la reacción de hidratación del cemento, extendiendo el tiempo de fraguado. Estas sustancias suelen incluir compuestos como lignosulfonatos, azúcares o ácidos hidroxi carboxílicos. Este aditivo permite conservar la manejabilidad del concreto fresco durante períodos prolongados, especialmente útil en climas cálidos o en proyectos que requieren transporte de largas distancias.

Para el grupo PASA (2016) menciona que estos aditivos presentan diversos beneficios tanto técnicos como económicos en los cuales se destacan un mayor tiempo de trabajabilidad lo que facilita la colocación y el acabado del concreto, reduciendo la posibilidad de fisuras, además, de tener un control del fraguado ya que este permite una hidratación uniforme del cemento, mejorando la resistencia mecánica del concreto. Es importante destacar que, aunque los retardantes retrasan el fraguado, no altera las propiedades finales del concreto, como es su resistencia, siempre y cuando se sigan las dosis recomendadas (PASAIMPER, 2016).

Aditivo tipo C acelerantes.

Para el grupo ARGOS (2020), en su página 360 en concreto menciona que los aditivos tipo C, conocidos como acelerantes, son productos líquidos que reaccionan químicamente con el cemento, lo que acelera el tiempo de fraguado del concreto y el desarrollo temprano de su resistencia máxima. Este tipo de aditivo se emplea en diversas situaciones, como:

- Cuando el vaciado del concreto se realiza en bajas temperaturas.
- Para reducir el tiempo de desencofrado.
- Cuando se requiere que la terminación del concreto sea rápida, especialmente en placas.
- En la ejecución de estructuras presforzadas.

Generalmente, los acelerantes están compuestos por sales orgánicas e inorgánicas, y se dividen en dos categorías: aquellos que contienen iones de cloro y aquellos que no. Los acelerantes que contienen iones de cloro son los más utilizados en la construcción debido a su mayor eficiencia. Sin embargo, es importante considerar las condiciones de uso, ya que investigaciones han demostrado que un exceso de iones de cloro puede causar problemas como la corrosión de la armadura, contracción por secado y oscurecimiento del concreto, lo que podría dañar la estructura. Por esta razón, el comité ACI 318 ha establecido límites para el uso de iones de cloruro, especificando lo siguiente:

Para el concreto que no es presforzado, la cantidad máxima de iones cloruro solubles en agua, que se integran al concreto y se miden según la norma ASTM C1218M entre los 28 y 42 días, depende del nivel de exposición a fuentes externas de humedad y cloruros. En el caso del concreto presforzado, el límite es el mismo, es decir, 0.06 por ciento de iones cloruro por peso de cemento, sin tener en cuenta el tipo de exposición.

Aditivo tipo D plastificante retardante.

Según SIKA (2019) argumenta que los plastificantes-retardantes (Tipo D) son los más usados en la fabricación de concreto premezclado puesto que aprovechan las ventajas de reducción de cemento y agua y al mismo tiempo tienen un efecto sobre los tiempos de fraguado que facilita su transporte sobre todo en climas cálidos. (SIKA, 2019)

los plastificantes-retardantes permiten mantener la trabajabilidad del concreto durante un período más largo, al tiempo que evitan que el concreto se endurezca prematuramente. Este tipo de aditivo es particularmente útil en proyectos de gran tamaño o en situaciones donde el tiempo

de manipulación y colocación es prolongado, o cuando las condiciones climáticas hacen que el concreto fragüe demasiado rápido.

Según Silva (2021) menciona que el aditivo Tipo D actúa reduciendo el contenido de agua de manera similar a los aditivos Tipo A, alcanzando una reducción del 12% en el agua de mezcla. Esto permite que los rangos tradicionales de asentamiento se mantengan, mientras que la mezcla puede obtener altas resistencias en cualquiera de sus etapas de servicio. (Silva, 2021)

Aditivo tipo E plastificante retardante.

El aditivo tipo E, en forma líquida, se añade a la mezcla de concreto para combinar las propiedades de un reductor de agua y un acelerante. Esta combinación se logra en la pasta de concreta fresca, alcanzando una reducción de agua de hasta un 15% o más, lo que facilita la obtención de altas resistencias en todas las etapas de endurecimiento del concreto. Sus características son especialmente útiles en mezclas expuestas a bajas temperaturas, ya que facilita la colocación del concreto.

Según SIKA (2019) menciona que los aditivos tipo E actúan en la obra a través de procesos dispersantes, lo que permite una distribución uniforme de las partículas de cemento, logrando una hidratación completa y mejorando la adherencia del cemento, superando las propiedades convencionales. (SIKA, 2019)

Las ventajas de este tipo de aditivos, presentadas por los fabricantes y respaldadas por los procesos normativos de regulación ICONTEC, son las siguientes:

- Reducción de la necesidad de vibración, excepto en áreas con armado denso.
- Mejora en la homogeneización de la mezcla de concreto fresco, logrando resistencias finales uniformes.

- Reducción de la contracción en los elementos de concreto.
- Menor tendencia a la formación de fisuras.
- Ahorro en mano de obra y reducción del tiempo de ejecución.
- Disminución de la segregación del concreto.
- Mejora en la manejabilidad de la mezcla.
- Reducción de la contracción del concreto.
- Menor permeabilidad del concreto una vez endurecido.
- Cumplimiento de los factores dispersantes en el cemento.
- Retraso en el proceso de fraguado del concreto, útil para transporte a largas distancias.
- Reducción del contenido de agua en la mezcla, manteniendo y mejorando la trabajabilidad de la pasta.

Aditivo tipo F super plastificante.

Según SIKA (2019) menciona que la innovación más significativa en los aditivos para concreto en las últimas dos décadas ha sido el desarrollo de los superplastificantes. Estos aditivos, como su nombre indica, cumplen una función similar a la de los plastificantes, es decir, mejoran la manejabilidad de las pastas de cemento y, por ende, la del concreto. Este aumento en la trabajabilidad permite reducir el contenido de agua y cemento (lo que resulta en un ahorro de pasta), sin afectar la fluidez ni la resistencia del material. Los superplastificantes se utilizan una vez que los plastificantes alcanzan su límite de efectividad. Son especialmente eficaces en concretos con altos asentamientos o en aquellos que requieren altas resistencias, ya que en ambos casos se necesita un mayor contenido de pasta. (SIKA, 2019)

Según Silva (2021) argumenta que los superplastificantes son aditivos de una categoría superior a la de los plastificantes. Permiten dosificaciones hasta 5 veces mayores sin alterar significativamente el tiempo de fraguado ni el contenido de aire del concreto. La aplicación práctica de estos aditivos se encuentra en la elaboración de mezclas con altas resistencias, con un porcentaje de cemento balanceado, sin problemas de contracción y fisuramiento de aquellas que contienen cemento en exceso. Otras aplicaciones inmediatas de las mezclas fluidas se dan en el bombeo del concreto, la colocación de concreto tipo tremie y en elementos esbeltos y/o densamente armados, entre otros, pues el desempeño es muy alto compensando de esta manera los costos. (Silva, 2021).

Según Sepúlveda (2023) menciona como los reductores de agua, los aditivos Tipo F ofrecen beneficios al permitir una reducción del 15% al 18% del contenido de agua en la mezcla de concreto. Además, cuando el aditivo Tipo F se utiliza con bomba, se logran altos índices de colado por unidad de tiempo, lo que contribuye a reducir los requerimientos de mano de obra y esfuerzo. (Sepulveda Acosta, 2023).

Ensayos.

Ensayos arena.

Esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos (exceptos los agregados livianos y pesados) para uso en concreto. Esta norma también se usa para especificaciones de proyectos, para definir la calidad de los agregados, su tamaño máximo nominal y otros requisitos de gradación específicos. Las personas responsables de seleccionar las proporciones de las mezclas de concreto también tendrán la responsabilidad de determinar las proporciones de agregados fino y grueso y la adición de una mezcla de agregados de diferentes tamaños, si es requerido o aprobado.

- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 174 ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO. (NTC, 2020)
- DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75 µm (N°200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO I.N.V. E – 214 – 13. (INVIAS, 2019)
    - Granulometría agregado fino: El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada, u otro agregado reciclado, o una combinación de estas.

Tamiz (NTC 32)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm (3/8 de pulgadas)	100
4,74 mm (N.4)	95 – 100
2,36 mm (N.8)	80 – 100
1,18 mm (N.16)	50 – 85
600 um (N.30)	25 – 60
300 um (N.50)	5 – 30
150 um (N.100)	0 – 10
75 um (N.200)	0 – 3 A.B

A. Para concretos que no están sometidos a abrasión, el límite para el porcentaje que pasa el tamiz de 75 um (N. 200) es, máximo, 5%.
B. Para el agregado fino obtenido por trituración, si el material mas fino que el tamiz de 75 um (N. 200) consiste de polvo de trituración, esencialmente libre de arcillas o esquistos, este límite debe ser 5%, máximo, para concretos sometidos a abrasión. Para los concretos no sujetos a la abrasión debe ser máximo el 7,0 %.

- Norma NTC 237: Ensayo para determinar la densidad relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del agregado fino: La densidad relativa se expresa como seca al horno (SH), como saturada y superficialmente seca (SSS), o como densidad relativa aparente.
- INV E – 222 – 13: Densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción de los agregados finos

Ensayos para el mortero.

- Ensayo de resistencia: para el grupo Icontec (2010) define este ensayo como una prueba que mide la capacidad de un material para soportar cargas que intentan reducir su tamaño. Se realiza aplicando una carga axial de compresión a cilindros de concreto, la resistencia

del concreto se evalúa a los 7, 14 y 28 días. A los 7 días, el concreto tiene aproximadamente el 65-75% de la resistencia final. A los 14 días, la resistencia indica más claramente el desempeño de la mezcla. A los 28 días, el concreto tiene la resistencia máxima diseñada. NTC 673:2021 (Icontec, 2010).

- Ensayo cono de Abrams: según Cure (2021) en la página web 360 en concreto argumente que para analizar la manejabilidad del concreto es necesario regirse bajo la NTC 396 – Ingeniería Civil y Arquitectura. establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto de cemento hidráulico en la obra y en el laboratorio. Este método de ensayo no es aplicable a concretos autocompactantes. (Cure, 2021).

Marco Conceptual.

En este capítulo dará a conocer varios conceptos clave dentro de la ingeniería de materiales de construcción, específicamente en el ámbito de la restauración y recuperación de pavimentos mediante el uso de morteros mejorados con aditivos.

Aditivos.

Según Flores (2020) menciona que los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que, además del agua, agregados, cemento hidráulico y, en algunos casos, fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Se utilizan con el objeto de modificar las propiedades del concreto o mortero, ya sea en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia dada y para que cumpla los requisitos y especificaciones particulares de cada tipo de estructura. Podemos clasificar a los aditivos en dos grupos, los aditivos naturales y los aditivos artificiales. (Umiri Flores, 2020)

Slump.

Según el grupo Dimacro (2023) discute que el ensayo de asentamiento con el cono de Slump, también denominado prueba de asentamiento, es un método ampliamente empleado en la industria de la construcción para medir la consistencia y la facilidad de trabajo del concreto recién mezclado. El objetivo principal de esta prueba es determinar la capacidad del concreto para fluir y deformarse bajo su propio peso, lo que se conoce como su asentamiento. Esto es importante porque la trabajabilidad adecuada del concreto es esencial para garantizar que pueda ser colocado y compactado adecuadamente en una forma o encofrado y que tenga la resistencia y las propiedades deseadas después de endurecerse. (Dimacro, 2023).

Según la NTC 396 nos dice que una muestra de concreto fresco se coloca en un molde tronco cónico y se compacta mediante una varilla. El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. Las mediciones e deben tomar en el centro de la cara superior, el valor resultante debe incluirse en el informe como el asentamiento del concreto. (Norma Tecnica Colombiana , 1992).

Mortero.

Según Grupo Argos (2021) menciona que el mortero es el material que resulta de mezclar cemento, arena y agua a diferencia del concreto que además de estos tres elementos contiene grava y aditivos. Mientras que el concreto es usado en la construcción de estructuras sólidas, el mortero es usado para diferentes finalidades tales como: Nivelar pisos, Rellenar espacios, Adherir paredes, ladrillos y bloques, Revestimiento de paredes. (Grupo Argos, 2021)

Pavimento Rígido.

Según la empresa HYMSERCO (2023) concluye que el pavimento rígido es un tipo de superficie vial fabricada con concreto, utilizado en la construcción de calles, autopistas, carreteras, puentes y aeropuertos a nivel mundial. A diferencia de los pavimentos flexibles, como el asfalto, el pavimento rígido tiene una estructura más robusta y duradera, lo que lo hace adecuado para soportar cargas pesadas y un tráfico elevado. Este tipo de pavimento consta de una base de grava y arena, sobre la cual se coloca una capa de concreto reforzado con barras de acero. Gracias a su alta resistencia a la compresión y a la tensión, el concreto es capaz de soportar el peso de vehículos y aeronaves. Además, su superficie lisa y uniforme reduce la fricción, lo que optimiza la eficiencia del transporte. (HYMSERCO, 2023)

Temperatura de mezcla.

La NTC 3357 es la Norma Técnica Colombiana que regula la temperatura de la mezcla de concreto. Establece los límites y condiciones bajo los cuales debe mantenerse la temperatura del concreto durante su preparación, transporte y colocación, con el objetivo de garantizar la calidad y durabilidad del material. Según esta norma, la temperatura del concreto fresco no debe ser superior a 32°C ni inferior a 5°C en el momento de su colocación, para asegurar un adecuado proceso de hidratación y curado del cemento. En caso de que la temperatura de la mezcla se encuentre fuera de los límites establecidos, se deben tomar medidas correctivas, como el uso de agua fría o agregados refrigerados para reducir la temperatura, o la utilización de aditivos retardantes para evitar una hidratación excesivamente rápida del cemento.

Cuando la temperatura del concreto es demasiado alta, puede provocar un fraguado rápido, lo que dificulta el manejo y puede resultar en una resistencia más baja a largo plazo. Por otro lado, si la temperatura es demasiado baja, la curación se ralentiza, lo que puede llevar a un

desarrollo insuficiente de la resistencia del concreto. Además, la temperatura debe ser medida de manera precisa, utilizando un termómetro adecuado, en varias etapas del proceso de mezcla y transporte, para asegurar que se mantenga dentro de los límites recomendados. En resumen, la NTC 3357 especifica los rangos de temperatura para las mezclas de concreto y las medidas que deben tomarse para controlar y mantener esta temperatura durante las diversas fases de producción, garantizando así la calidad y durabilidad del concreto. (NTC 3357, 1992).

Marco Legal.

La evaluación del aditivo Plastissil para la fabricación de morteros de alto módulo destinados a la recuperación de pavimentos, el hecho de que este aditivo aún no tenga normatividad significa que no ha sido formalmente regulado ni homologado por las entidades encargadas de establecer las normativas y estándares técnicos en la industria de la construcción ya que este es un producto nuevo y no ha sido probado.

Los aditivos deben pasar por una serie de pruebas de rendimiento, como ensayos de durabilidad, resistencia, compatibilidad con otros materiales y condiciones climáticas. El aditivo Plastissil aún está en una fase de pruebas o no ha sido suficientemente evaluado en diferentes condiciones de aplicación, no se puede emitir una normatividad sin tener evidencia robusta de su efectividad y seguridad a largo plazo.

Tabla 8.

Marco legal.

Norma	Quien expide	Aplicación
NTC 1299	Norma Técnica Colombiana	Utiliza una clasificación específica para los aditivos en el concreto, los cuales brindan versatilidad en obra y así mitigar problemas presentados. Con el uso de cualquier aditivo se puede llegar a

		obtener más durabilidad, resistencia, evitar más fisuramiento, entre otras.
NTC 77	Norma Técnica Colombiana	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos
NTC 121	Norma Técnica Colombiana	Rige la calidad del cemento en Colombia, es una norma de especificaciones por desempeño que cubre los cementos hidráulicos para aplicaciones generales y especiales e involucra parámetros de durabilidad.
Ley 769 de 2002	Código Nacional De Tránsito y Transporte	Presente Código rigen en todo el territorio nacional y regulan la circulación de los peatones, usuarios, pasajeros, conductores, motociclistas, ciclistas, agentes de tránsito, y vehículos por las vías públicas o privadas que están abiertas al público, o en las vías privadas, que internamente circulen vehículos; así como la actuación y procedimientos de las autoridades de tránsito.
NTC 673	Norma Técnica Colombiana	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO, Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados
ASTM C494	American Society for Testing and Materials	Especificaciones estándar para los aditivos químicos para hormigón
INV E 323-07	Instituto Nacional de Vías	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO. Este método de ensayo proporciona un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros. Los resultados se pueden emplear para determinar la conformidad con las especificaciones y otros métodos de ensayos. No se deben emplear sus resultados para estimar la resistencia del concreto
INV E 400-13	Instituto Tecnológico de Vías	Concreto hidráulico

Nota. Fuente propia.

Marco Contextual.

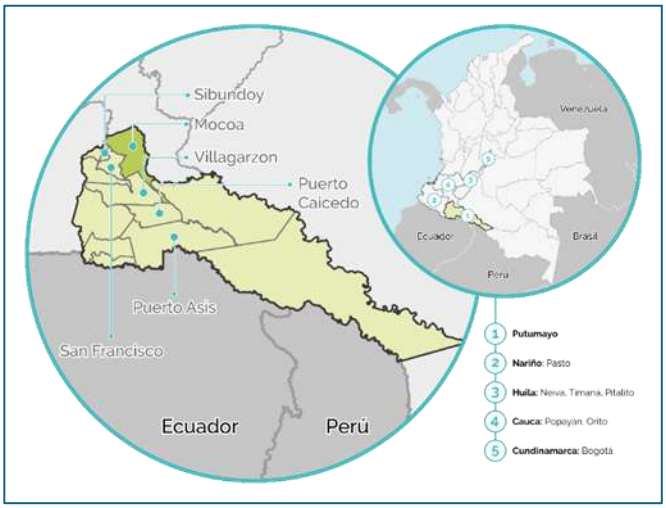
Municipio de Mocoa.

Según la página Gip Mocoa (2021) el municipio de Mocoa se encuentra ubicado en las coordenadas 01º08’56” de latitud norte, y 76º38’52”de longitud. la cabecera municipal está situada, en el norte del departamento del putumayo, sobre el piedemonte de la cordillera Andina, con una población de 46.000 habitantes aproximadamente y se ubica a 611 km de la ciudad de Bogotá D.C y la extensión del área urbana es de 580 km2 y su altitud está comprendida entre los 500 y 600 m.s.n.m.

El municipio de Mocoa es la ciudad capital del departamento del putumayo en el cual cuenta con 53 veredas, 5 inspecciones de policía. la zona urbana está compuesta por 64 barrios legalmente constituidos y más de 15 barrios que no se encuentran localizados (GIP-MOCOA, 2021)

Ilustración 1.

Localización del departamento del Putumayo



Nota. La ilustración nos referencia la localización de Mocoa en un contexto nacional y departamental. Tomado de *DATAREPUBLICA.COM,* 201, localización.

Barrio la Independencia.

El barrio la independencia se localiza al oriente del municipio de Mocoa putumayo, específicamente al norte del rio Sangoyaco y a orillas del rio Mocoa dentro del perímetro urbano. En las coordenadas N1°9´4.22” y E 76°38´37.44”.

Ilustración 2.

Localización del Barrio la Independencia, Municipio de Mocoa Putumayo.



Nota. La imagen nos representa la localización del barrio la independencia del municipio de Mocoa, además, de las condiciones iniciales de la patología vial. Tomado de Google Earth, 2025.

Tabla 9.

Coordenadas de localización de los puntos intervenidos.

Punto	Norte	Este
Barrio la independencia	1°9´4.22”	76°38´37.44”.
Barrio Miraflores	1°08´46.1”	76°39´11.31”
Barrio obrero	1°09´16.6”	76°39´09.9”

Nota. La tabla indica las coordenadas de los puntos a intervenir. Fuente Google Earth.

Metodología.

Método y Alcance de la Investigación.

Según Javier Murillo (2016) en su publicación MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL menciona que una investigación con enfoque experimental, el investigador modifica una o más variables de estudio con el propósito de regular su aumento o disminución y analizar su impacto en las conductas observadas. En otras palabras, un experimento implica alterar el valor de una variable independiente y observar cómo influye en una variable dependiente. Este proceso se desarrolla bajo condiciones estrictamente controladas, con el objetivo de describir cómo o por qué ocurre una situación o evento específico. (Murillo, 2016).

En esta investigación se utilizó el método experimental, ya que la hipótesis fue comprobada mediante la manipulación intencionada de las variables independientes. Estas variables, al ser modificadas, generan un efecto, como sucede al alterar las cantidades de los materiales, lo cual provoca cambios en las propiedades mecánicas, tales como la resistencia, la trabajabilidad, el asentamiento, entre otras.

Tipo de Investigación.

De acuerdo con el fin que se quiere lograr, esta investigación es de tipo aplicada, debido a que tiene como objeto a resolver un problema practico de la ingeniería, en el cual se pretende mejorar las propiedades mecánicas del mortero y así aplicarlo en pavimentos con una afección patológica y su criterio de valoración radico en la utilidad y eficiencia de este mismo, mediante una serie de ensayos no invasivos reglamentados en las normativas colombianas.

Enfoque de la Investigación.

Debido a que se formuló y verificó la hipótesis a través de la recopilación de datos basada en mediciones numéricas y en el análisis de la información obtenida bajo diversos parámetros técnicos normativos vigentes en la regulación colombiana, siguiendo un proceso secuencial y lógico, esta tesis tiene un enfoque cuantitativo.

Según el libro ***Metodología de la investigación*** de Roberto Hernández Sampieri, el enfoque cuantitativo se define como una serie de procesos secuenciales y verificables, en los cuales cada etapa debe seguir un orden específico sin omitir pasos. A partir de las preguntas de investigación, se formulan hipótesis y se determinan variables, estableciendo un plan para su comprobación y midiendo dichas variables dentro de un contexto determinado.

Este enfoque proporciona un método fiable para comprender la realidad a través de la recopilación y análisis de datos, permitiendo responder a las preguntas de investigación mediante mediciones numéricas, conteo y herramientas estadísticas, con el fin de identificar patrones de comportamiento.

En esta investigación, se llevó a cabo la recopilación de datos a través de ensayos realizados tanto en concreto fresco como endurecido, utilizando las unidades de medida del sistema internacional. Asimismo, se empleó la observación, lo que permitió identificar características relacionadas con la hipótesis y analizar los comportamientos que respaldaron su validación.

Ahora para poder realizar la demostración de la hipótesis, se ejecutó un método experimental en el cual según Pedro Ruiz en el libro metodología de la investigación para ingenieros manifiesta

que en este tipo de investigación la hipótesis se verifica mediante la manipulación deliberada de las variables, determinando una relación de causalidad mediante la metodología científica.

En la presente tesis se llevó a cabo una manipulación de las variables independiente en el cual producen los cambios de las variables dependientes. Se dio mediante el factor de intensidad ya que usaron diferentes niveles de aplicación y se verifico el efecto. Además, la dosificación del aditivo plastissil se llevó en tres dosificaciones 1%, 2% y 0.5% en el cual todo partió del 1%, y si se miraba cambios en las propiedades entre ese margen se producía la dosificación número 2, que eran de 3.5% y 0.25% lo cual permitía verificar las propiedades en estado fresco y endurecido.

La medición de la variable independiente influía por el agua, cemento, arena se llevó de la siguiente manera para cada bolsa de cemento de 4kg.

Tabla 10.

Tipos de dosificación de variables independientes.

Número de muestra	Agua (ml)	Arena (g)	Aceptación
1	1500	800	X
2	1200	800	X
3	1000	800	X
4	800	800	X
5	1500	600	X
6	**1200**	**600**	**OK**
7	**1000**	**600**	**OK**
8	800	600	X

Nota. Fuente propia.

Diseño de la Investigación.

En la presente tesis se desarrolló mediante el diseño experimental, debido a la manipulación de las variables que permitió el desarrollo de la hipótesis como se indica en la ilustración número 3.

Ilustración 3.

Ilustración de la hipótesis esperada.



Nota. Ilustración de la hipótesis a comprobar. Fuente propia, 2025.

Para poder ejecutar la comprobación de la hipótesis se requiere contar con al menos dos grupos de comparación. Para validar la hipótesis, la manipulación de las variables independientes debe generar modificaciones en el comportamiento de las variables dependientes. Se llevo dos grupos (grupo de control y el grupo experimental)

- El grupo de control según en el libro metodología de la investigación para ingenieros es aquel que no recibe la manipulación de la variable independiente y se utiliza como referencia para comparar los efectos de dicha manipulación en el grupo experimental. Como grupo de control se tiene la mezcla de mortero tradicional (agua, arena, cemento) sin adicionar cualquier aditivo, y estaba representada por las 8 dosificaciones y se realizaron 6 probetas por cada dosificación por un total de 48 cilindros en la etapa preliminar posteriormente se tomaron dos dosificaciones de la relación de arena y agua de las cuales se iban a estudiar y se representaban en el grupo experimental.

- El grupo experimental según en la revisión bibliográfica de Manuel Borja es aquel conjunto de elementos que reciben la variable independiente, es decir el grupo al cual se le aplico el tratamiento u la intervención para analizar los efectos. Al grupo experimental se realizaron a base de las dosificaciones apropiadas para cada bolsa de 4kg, como se ilustra en la tabla 10. Posteriormente se decidió tomar un rango de comportamiento en función de la dosificación de aditivo 0.5%, 1% y 2% (el porcentaje está en función del peso del cemento) en el cual se realizaron por cada dosificación 6 muestras con un total de 18 especímenes en el cual se determinó que el rango de la dosificación estaba en el 1% ya que al reducir esta dosificación al 0.5% y al duplicar al 2% los efectos influyeron negativamente lo que se descartó seguir con otras dosificaciones.

Población y Muestra.

Población.

Según Toledo y Diaz (2019) describe a la población en un estudio de investigación abarca todos los elementos, como personas, objetos, organismos o historias clínicas, que forman parte del fenómeno definido y delimitado en el análisis del problema. Se distingue por ser objeto de estudio, medición y cuantificación. Asimismo, es fundamental establecer con precisión sus características en términos de contenido, ubicación y período de tiempo. (M. en E. Neftali Toledo & Diaz de Leon, 2019).

La presente investigación tubo como población la fabricación de morteros con uso de aditivos plastificantes.

Muestra.

Según Toledo y Diaz (2019) describe que una muestra es una parte de la población. La muestra puede ser definida como un subgrupo de la población. Para llevar la selección de la muestra, primero deben delimitarse las características de la población. (M. en E. Neftali Toledo & Diaz de Leon, 2019).

La muestra que se determinó son las mezclas de mortero con el uso de aditivo plastissil.

Tamaño de la Muestra.

En la presente tesis se llevó una muestra infinita, refiriéndose a una situación en la que el número de elementos en la población es tan grande que se considera inagotable para efectos prácticos. Según la metodología de la investigación se considera una muestra infinita, a un número de elementos mayores a 100. Donde el tamaño de la muestra para esta investigación es de 384 cilindros.

Población infinita.

Ecuación 1: Tamaño de la población. Muestra Infinita.

$$\boldsymbol{n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}}$$

n: tamaño de la muestra.
P: probabilidad que la hipótesis sea verdadera (0.5)
q: (1-p) probabilidad de no ocurrencia de la hipótesis (0.5)
e: error estimado por estudiar una muestra en lugar de toda la población (5%)
Z: coeficiente de confiabilidad del 95% (1.96).

Tabla 11.

Coeficiente de confiabilidad en relación al nivel de confianza.

Nivel de confianza (%)	Coeficiente de confiabilidad (Z)
99	2.58
98	2.33
97	2.17
96	2.05
95	1.96
90	1.65
80	1.28
50	0.67

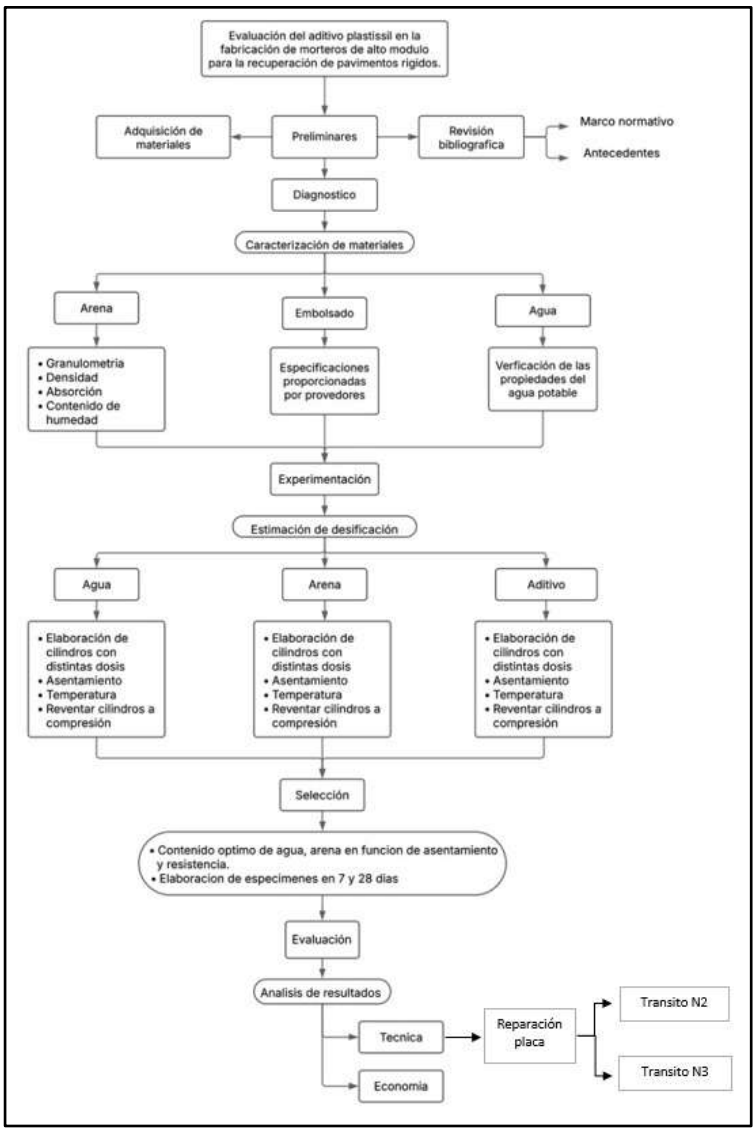
Nota. Recuperado de METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIEROS, Manuel Borja.

En el análisis del aditivo Plastissil para la producción de morteros de alto módulo destinados a la rehabilitación de pavimentos rígidos, se estableció una secuencia de trabajo estructurada en diferentes etapas, las cuales se describen en el diagrama de flujo mostrado en la Ilustración 4.

- Etapa 1 preliminar: revisión bibliográfica y adquisición de materiales.
- Etapa 2 Diagnostico: caracterización de los materiales, agua, arena y embolsado.
- Etapa 3 Experimentación: estimación de dosificación de agua, arena y aditivo mediante ensayos de resistencia y asentamiento.
- Etapa 4 Selección: se seleccionó el contenido óptimo de agua, arena en función del asentamiento y resistencia. Además, se hizo seguimiento mediante elaboración de especímenes de cilindros reventados a los 7 y 28 días.
- Etapa 5 evaluación: análisis de resultados tanto técnicos como económicos.

Ilustración 4.

Flujograma de la metodología.



Nota.Fallo de especímenes en el diagrama de flujo de la metodología. Fuente propia,2025

Procedimiento y Resultados.

A continuación, se indicará el proceso llevado a cabo en la ejecución de la metodología y el análisis de los datos obtenidos para dar el cumplimiento de cada uno de los objetivos.

Identificar la Influencia del Aditivo Plastissil en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Mortero de Alto Modulo.

Etapa 1 preliminar.

Revisión bibliográfica.

En esta etapa se permitió conocer los antecedentes relacionados con aditivos que mejoran las propiedades físicas y mecánicas en la fabricación de morteros, lo que ayudo conceptualizar las ideas y una retroalimentación de la experiencia de investigaciones ya realizadas. Además, de la revisión normativa vigente colombiana relacionada con la fabricación de morteros y el aplicativo de aditivos. En esta etapa se dio la revisión de 22 fuentes en la cual el 90% eran investigaciones del todo el mundo sobre la aplicación de aditivos en morteros, sin embargo, en su totalidad eran investigaciones sobre productos ya comercializados en un mercado que contaban con una ficha técnica.

Adquisición de materiales.

Agregado Fino.

Para la elaboración de mortero, se decidió tomar arena del rio Mocoa, ubicado en el municipio de San miguel de agreda de Mocoa en el departamento del Putumayo, cabe destacar que la obtención del agregado fino es llevada por un procedimiento natural y no por una trituración mecánica.

Ilustración 5.

Localización de la fuente del material. Rio Mocoa.



Nota. Ilustración del rio Mocoa. Fuente adaptada por Google Earth. W. 1° 8'20.25"N-76°38'22.05"O, 2025.

Agua.

Según Silva y Lozano (2023) el suministro de agua a usar era proporcionado por el sistema de acueducto de aguas Mocoa, el cual es abastecido por el Rio mulato, que se encuentra ubicado al occidente del municipio de Mocoa. (Agudelo, Muñoz , Enrreiquez , Silva, & Lozano, 2023).

Ilustración 6.

Localización del rio mulato. Obtención de la fuente del agregado fino.



Nota. La ilustración señala la localización del rio mulato. Recuperado de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2019.

Embolsado.

Para la elaboración de la presente tesis, se dio uso de dos clases de embolsado, el primero llamado cementos Holcim y Cemex adquiridos en el departamento del Putumayo.

Ilustración 7.

Embolsado Holcim y Cemex



Nota. La ilustración representa la presentación de los cementos a usar. recuperado de Holcim y Cemex.

Plastissil.

El aditivo plastissil, es un producto en desarrollo, que se está estudiando en los laboratorios WALTER CORTEZ en el municipio de Mocoa. Es un aditivo liquido plastificante, cuya función es mejorar la manejabilidad del concreto fresco y/o reducir la cantidad de agua utilizada, para un asentamiento determinado.

Ilustración 8.

Producto plastissil.



Nota. La ilustración indica el aditivo a usar. Fuente propia, 2025.

Etapa 2 Diagnostico.

Caracterización de materiales.

En esta etapa se realizó la caracterización de la materia prima de la elaboración de morteros, donde nos permite describir los rasgos físicos y mecánicos para la selección, conocer su granulometría, absorción, resistencia entre otras.

Arena.

Granulometría.

Este estudio tiene como propósito cuantificar la distribución de los tamaños de las partículas en los agregados gruesos y finos mediante un proceso de tamizado. Para el desarrollo de esta tesis, se emplea el ensayo granulométrico en material fino seleccionado del río Mocoa, siguiendo los parámetros establecidos en la norma INV. E-213-13. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2012).

- **Materiales.**

  - ✓ **Balanza:** para el agregado fino se usó una balanza con una aproximación de lectura de 0.1g.

    Ilustración 9.

    Balanza a usar en la granulometría.

    Nota. Fuente propia.

  - ✓ **Tamices:** se dio uso los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo.

    Ilustración 10.

    Tamices a usar en el análisis granulométrico.

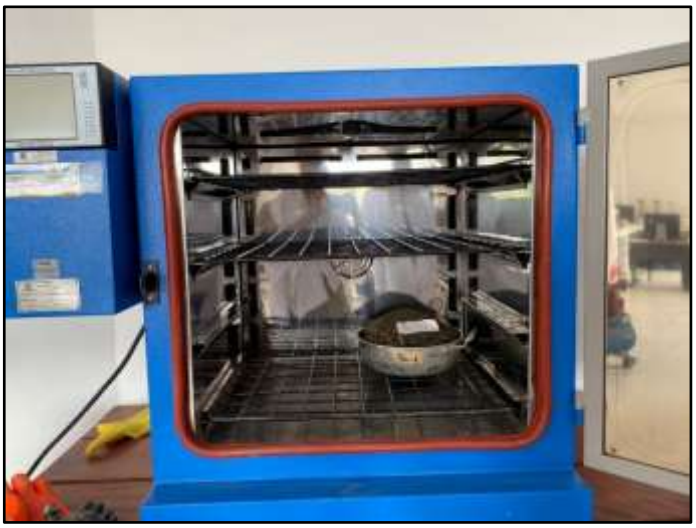
    

Nota. Fuente propia.

- ✓ **Horno:** de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110±5°C.

Ilustración 11.

Horno de secado de muestra 110°c.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Recipientes, brocha y cucharon:** usados para registrar la masa retenida y para la limpieza de cada tamiz.

- **Procedimiento.**

Para llevar a cabo el ensayo granulométrico, se tomó el muestreo como indica la norma INV. E-201 que nos describe el muestreo de agregados para la construcción, posteriormente la muestra tomada en sitio se redujo a un tamaño apropiado, dando uso el procedimiento que indica en la norma INV. E-202 donde, una vez cuarteada, se lavó y se secó al horno para el ensayo.

Una vez la muestra estuvo seca por 24 horas a una temperatura de 105°C, se seleccionó una serie de tamices de tamaños adecuados donde se los ordeno de forma decreciente, N°4, N°8,

N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo. Se procede a colocar la muestra y agitar los tamices de forma manual durante 1minuto y pesar el contenido retenido en cada tamiz.

Ilustración 12.

Cuarteo de la muestra. INV.E-202.



Nota. La ilustración representa el cuarteo dictado de la norma colombiana. Fuente propia, 2025.

Ilustración 13.

Tamices y herramientas usadas.



Nota. La ilustración indica los tamices para agregado fino. Fuente G&L EQUILAB,2025.

- **Resultado.**

A continuación, se indicará los resultados obtenidos del ensayo granulométrico, en el que se evidencia la curva granulométrica, el módulo de finura.

Tabla 12.

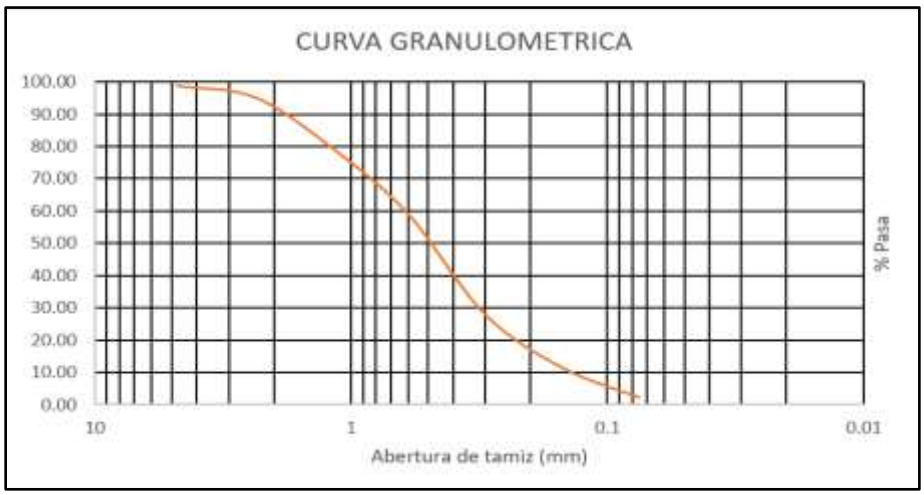
Datos de la curva granulométrica Arena de rio Mocoa.

Tamiz ASTM		Peso	% RETENIDOS		
N°	**Abertura mm**	**retenido g**	**% RETENIDOS**	**% RETENIDOS ACUMULADO**	**% PASA**
N° 4	4.75	25	1.25	1.25	98.75
N° 8	2.36	72	3.59	4.84	95.16
N° 16	1.18	315	15.70	20.54	79.46
N° 30	0.6	405	20.19	40.73	59.27
N° 50	0.3	625	31.16	71.88	28.12
N° 100	0.15	332	16.55	88.43	11.57
N° 200	0.0075	185	9.22	97.66	2.34
Fondo	0	47	2.34		
TOTAL		2006	100	325.32	

Nota. La tabla indica los datos obtenidos del análisis granulométrico. Elaboración propia.

Ilustración 14.

Curva granulométrica de la arena.



Nota. La ilustración representa el cumplimiento de la granulometría dentro de las franjas. Fuente propia.

Una vez obtenida la curva granulométrica se procede a determinar una de las características más importantes y es el módulo de finura. Este módulo según la norma del Invias debe de estar entre 2.5 y 3.2. expresada en la sumatoria de los porcentajes acumulados en la serie de tamices dividido entre 100.

Ecuación 2: Modulo de finura de la arena.

$$Modulo\ de\ finura = \frac{\Sigma\%acumulado\ de\ tamices}{100}$$

Módulo de finura = $\frac{325.32}{100} = 3.25$

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que el tipo de arena seleccionada se encontraba dentro de los rangos establecidos por la norma con un módulo de finura de 3.25, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos en el diseño de mezclas con el método de la ACI 211.4

Además, se pudo caracterizar este agregado como una arena gruesa según la tabla siguiente.

Tabla 13.

Calificación de las arenas en función del Módulo de finura.

Arena Gruesa	2.5 a 3.5
Arena Fina	1.5 a 2.5
Arena muy Fina	0.5 a 1.5

Nota. recuperada de GUÍA DE LABORATORIO DE SUELOS de la universidad centroamericana, 2022.

Ensayo de densidad y absorción.

El objeto de este ensayo es determinar las proporciones volumétricas del material y evaluar la calidad y el comportamiento del material en condiciones de humedad, lo cual es crucial para el diseño de dosificaciones del concreto. Estas propiedades se evaluaron basándose en la normativa INV.E-222-13. Donde, según la norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministrar el valor promedio que representa la muestra.

- **Materiales.**
  - ✓ **Balanza:** con una capacidad mínima de 1kg, sensibilidad de 0.1g y una exactitud de 0.1% de la masa de la muestra.

Ilustración 15.

Balanza usa en el ensayo de densidad y absorción.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Picnómetro:** es usado para el procedimiento gravimétrico. Además, este debe estar aforado, en el que se le pueda introducir fácilmente la muestra del agregado fino. Un matraz de 500 cm^3.

Ilustración 16.

Picnómetro con capacidad de 500cm3.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Molde cónico y pisón:** molde metálico en forma de tronco de cono, construido con una chapa de 8mm de espesor mínimo, de 40 mm de diámetro interior. Además, de una varilla metálica recta, con una masa de 340g, con una superficie circular plana.

Ilustración 17.

Molde metálico con pisón.



Nota. La ilustración indica materiales para el ensayo de densidad y absorción.

- ✓ **Horno:** de tamaño suficiente y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C.

Ilustración 18.

Horno para el ensayo de densidad y absorción.



Nota. Fuente propia.

- **Procedimiento:**

Para llevar a cabo el ensayo granulométrico, se tomó el muestreo como indica la norma INV. E-201 que nos describe el muestreo de agregados para la construcción, posteriormente la muestra tomada en sitio se redujo a un tamaño apropiado, dando uso el procedimiento que indica en la norma INV. E-202 donde, una vez cuarteada, se lavó y se secó al horno para el ensayo.

Una vez obtenida la muestra del horno, se procedió seleccionar 1kg de esta, que posteriormente se dejó sumergida por 24 horas, después, del proceso de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua, para evitar la pérdida de material fino.

Una vez se haya eliminado el agua de manera manual y que este se encuentre parcialmente saturado se procedió a extender la muestra en un recipiente metálico no absorbente y se inicia el proceso de secado parcialmente por la superficie revolviendo periódicamente y que no pierda el 100% de su humedad de esta manera se busca que el material se encuentre en un estado de superficialmente seco.

Posteriormente se hace un primer tanteo con ayuda del molde mecánico, donde, se vacía el material hasta su superficie y con el pisón a fuerza del propio peso se hace caer 25 veces, hasta que al levantar el molde este se halla un derrumbe parcial que es un indicador de que el agregado está en un estado superficialmente seca como se indica en la ilustración 19.

Ilustración 19.

Agregado con humedad superficial.




Nota. Fuente propia.

Una vez la muestra se encuentre en estado saturado y superficialmente seco, se registra el peso del picnómetro vacío y se le vierte 500gr del agregado fino, luego se le vierte el 90% de agua al picnómetro y se procede agitarlo para así liberar vacíos de aire en la muestra. La norma nos dice que se puede liberar los vacíos con un proceso de baño de maría o mediante el uso de la bomba de vacíos en el cual para esta investigación se optó por la bomba de vacíos logrando la eliminación del aire en la muestra y pesándolo.

Ilustración 20.

Liberación de aire mediante bomba de vacíos.




Nota. Fuente propia.

Nuevamente se anota el peso del picnómetro con agua y muestra y se procede al vaciado en un recipiente sin perder finos. Finalmente se coloca al horno por 24 horas a una temperatura de 110°C y se procede a registrar su peso.

- **Resultados.**

A continuación, se indicará los resultados obtenidos del ensayo de densidad y absorción dictado por la norma INV. E-222 el cual nos brindará la información para determinar las propiedades gravimétricas de la arena seleccionada.

Tabla 14.

Datos de Densidad y absorción.

Símbolo	Método Granulométrico INV.E-200 Descripción	Muestra
A	Masa al aire de la muestra seca al horno, g	490.21
B	Masa del picnómetro aforado lleno de agua, g	655
C	Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g	963.09
S	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, g	500.01

Nota. La tabla representa los valores del análisis del ensayo de densidad. Fuente propia.

- **Densidad relativa (gravedad especifica) SH.**

Ecuación 3: Densidad relativa SH.

$$SH = \frac{A}{(B + S - C)} = 2.60$$

- **Densidad relativa en condición saturada y superficialmente seca (SSS).**

Ecuación 4:Densidad relativa en condición saturada y superficialmente seca. SSS.

$$SSS = \frac{S}{(B + S - C)} = 2.61$$

- **Densidad relativa aparente.**

Ecuación 5:Densidad relativa aparente.

$$Densidad\ aparente = \frac{A}{(B + A - C)} = 2.69$$

- **Porcentaje de absorción.**

Ecuación 6: Porcentaje de absorción.

$$\%\ Absorción = \frac{S - A}{A} * 100 = 2.0\%$$

Ilustración 21.

Resultados de laboratorio al ensayo de densidad y absorción.



Nota. Fuente propia.

Una vez conocido los resultados, se pudo evidenciar que el material pétreo seleccionado está en los rangos permisibles para el diseño de mezcla según la ACI ya que al contar con una gravedad especifica de 2.6 nos evidencia que la arena no presenta minerales pesado y no cuenta con materia orgánica o contaminante lo que es ideal para una mezcla de concreto.

Por otro lado, el porcentaje de absorción de la arena nos indicó un resultado de 2%, lo que según en el artículo 630-13 de la normativa del invias la absorción debe estar con un indicador máximo del 4%, lo que permitió deducir que la arena del rio Mocoa es óptima para el diseño de mezcla de concreto.

Ilustración 22.

Requisitos del agregado fino para concreto estructura INV.630.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	No plástico
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	60
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	5
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	1
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), máximo (%)	E-214	5
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	INV E-212	Igual a Muestra patrón
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^=$, máximo (%)	INV E-233	1.2
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

ESPECIFICACIONES 2013 INVIAS

Nota. Recuperada del ART 630-CAP 6 del INVIAS.

Agua.

A continuación, se describirá las propiedades encontradas en la fuente de agua que fue usada para la elaboración de especímenes de mezclas de mortero. Según la norma del INVIAS en su numeral 630.2.3. establece que el agua empleada para mezclas de concreto hidráulico debe ser

limpia y libre de aceites, ácidos y materia orgánica y que se considera adecuada el agua potable y que se puede dar uso sin necesidad de realizar ensayos de calibración. (INVIAS, 2012)

En la revisión bibliográfica no se encuentra estudios públicos por parte de la empresa de acueductos aguas Mocoa S.A. E.S.P. sobre estudios de calidad del agua tratada; sin embargo, se encontró una publicación de la revista Tecnología y ciencias del agua sobre un estudio de calidad fisicoquímica sobre el afluente de captación que suministra el recurso a los ciudadanos de Mocoa.

En la publicación de la revista destaco como resultado que la fuente cuenta con PH de 5.6 en la cuenca alta, 5.8 en la cuenca media y 5.67 en la cuenta baja con un promedio de 5.69 lo que según se encuentra en los parámetros estándar dados por el INVIAS.

Ilustración 23.

Requisitos para el agua de mezcla.

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	LÍMITES
pH	ASTM D 1293	5.5 – 8.5
Resistencia a compresión, % mínimo en control a 7 días	INV E-410	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto del tiempo de control (horas:minutos)	ASTM C 403	de 1:00 inicial a 1:30 final

Nota. recuperada del art 630. Tabal 630-5 del Invias.

Cemento.

Para la investigación se dio uso de dos tipos de cemento comerciales de uso general, el primero es el cemento CEMEX hidráulico tipo uso general y el cemento HOLCIM para uso

general. Ambos tipos de productos cuentan con el estricto cumplimiento de la normatividad NTC121 lo que permitió trabajar con un producto de calidad.

- **Cemento uso general CEMEX.**

El cemento Cemex de uso general esta echo para construcciones en general. Ideal para la elaboración de morteros de pega, pañete y acabados, además, para la elaboración de concretos de comportamiento normal en fraguado y resistencias aportando de esta manera una excelente manejabilidad por su alta retención de agua. (CEMEX, s.f.).

A continuación, se describirá los parámetros encontrados en la ficha técnica de este producto.

Tabla 15.

Ficha técnica cemento hidráulico uso general en función de su resistencia.

Resistencia a compresión (mpa)	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisito de norma
1 día	NTC 220	8.0-13.0	No especificado
3 días	NTC 220	14.0-21.0	Mínimo 8.0
7 días	NTC 220	18.0-24.0	Mínimo 15
28 días	NTC 220	24.0-28.0	Mínimo 24.0

Nota. Recuperado de FICHA TÉCNICA CEMENTO HIDRÁULICO USO GENERAL de CEMEX.

Tabla 16.

Ficha técnica de cemento hidráulico uso general sobre otros parámetros físicos.

Otros parámetros	Método de ensayo	Rango de resultado	Requisito de norma
Cambio de longitud por auto clave (%)	NTC 107	0.01-0.15	Máximo 0.8
Tiempo de fraguado inicial (min)	NTC 118	100-150	Mínimo 45, máximo 420

Contenido de aire en volumen de mortero (%)	NTC 224	4-8	Máximo 12
Expansión de barra de mortero 14 días (%)	NTC 4927	0.000-0.016	Máximo 0.020

Nota. Recuperado de FICHA TÉCNICA CEMENTO HIDRÁULICO USO GENERAL de CEMEX.

- **Cemento uso general HOLCIM.**

El cemento HOLCIM tipo uso general es un cemento sostenible para la construcción tradicional y ha sido desarrollado aplicando las más altas tecnologías e innovación para reducir su huella de carbono, manteniendo el estricto cumplimiento de la normatividad vigente NTC121.

Este cemento esa diseñado para concretos, morteros y todo tipo de obras de construcción en general, asegurando mezclas fáciles de hacer y aplicar con resistencias garantizadas, y menor impacto climático. (HOLCIM).

Tabla 17.

Ficha técnica sobre parámetros del cemento HOLCIM dados por el proveedor.

Parámetros	**Fuerte ECOPlanet**
Tiempo de fraguado inicial, ensayo de Vicat (min)	45 min-420 Max
Expansión al auto clave (%)	0.8 Max
Resistencia a la compresión 3 días (mpa)	8.0 Min
Resistencia a la compresión 7 días (mpa)	15.0 Min
Resistencia a la compresión 28 días (mpa)	24.0 Min
Contenido de aire en volumen de mortero (%)	12 Max
Expansión de barra de mortero 14 días (%)	0.02 Max

Nota. Recuperada de FICHA TÉCNICA CEMENTO HIDRÁULICO USO GENERAL de HOLCIM.

En estudios realizados por la universidad militar nueva granada donde evaluaron las propiedades de los cementos CEMEX y HOLCIM se encontró que la densidad promedio del cemento CEMEX era de 2843 kg/m3 y el valor del cemento de HOLCIM era de 2734 kg/cm3. (Cortez Gomez & Perilla Sastoque, 2014).

Por otro lado, la finura del cemento de la marca CEMEX fue de 7778.62 cm^2/g, mientras que la del cemento HOLCIM alcanzó los 5422.60 cm^2/g. Estos resultados indican que el cemento HOLCIM se encuentra cerca del promedio de finura en comparación con otras marcas, lo que le otorga características de resistencia a edades tempranas. En contraste, los cementos con menor finura no presentan esta ventaja. Además, en cementos demasiado finos, se observa una reducción en el calor de hidratación y una menor exudación. (Cortez Gomez & Perilla Sastoque, 2014).

Con lo anterior podemos considerar que el cemento CEMEX por ser tan fino, está expuesto a que la retracción y el calor de hidratación sea alto, además, también cabe destacar que este cemento la tener una finura tan elevada su proceso de hidratación será más eficiente.

Podemos decir que ambos cementos cumplen con la finura estipulada en la NTC-121 la cual es de 2800 cm2/gr y los cementos seleccionados presentan mayor grado.

En la misma investigación se encontró que el cemento de CEMEX contaba con un tiempo de fraguado inicial de 141 minutos y un fraguado final de 222 minutos, mientras que el cemento HOLCIM presentaba un fraguado inicial de 141 minutos y un fraguado final de 275 minutos lo que nos señala que adquiere la resistencia mucho más lento.

Etapa 3 Experimentación.

Estimación de la dosificación.

En la etapa de la experimentación, se pretende ajustar los materiales hasta encontrar una dosificación optima que busca tener una relación de agua y cemento sin comprometer la resistencia de este. Es por ello que a continuación, se indicara el proceso llevado a cabo en esta etapa.

- **Cemento.**

Debido a que solo se contaba con 6 moldes cilíndricos para la elaboración de especímenes, se optó trabajar con bolsas de 8kg de cada marca de cemento.

- **Agua.**
  - ✓ Para cada bolsa de cemento de 8kg de ambas marcas se dio uso de las mismas dosificaciones de agua las cuales fueron las siguientes: 1500 ml, 1200ml, 1000 ml y 800 ml.
- **Arena.**
  - ✓ Para cada bolsa de 8kg de cemento se dio las siguientes dosis 800 gr y 600gr.

Elaboración de especímenes.

A continuación, se describirá el procedimiento para la elaboración y curado de los especímenes de mortero en el laboratorio. Para la ejecución de las muestras fue llevada bajo la norma INV.E-402-13 y la NTC 220.

- **Materiales.**
  - ✓ Moldes deslizantes no absorbentes.

Ilustración 24.

Camisas para cilindros.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Balanza:** la balanza debe de tener una exactitud de 0.3% de la carga de ensayo.

Ilustración 25.

Balanza con capacidad de 40 Kg.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Mezcladora industrial.**

Ilustración 26.

Mezcladora STANLEY.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Balde:**

Ilustración 27.

Balde revolver mezcla.



Nota. Fuente propia.

- ✓ **Cucharon, palustre, maseta de goma y varilla lisa.**

Ilustración 28.

herramientas para muestras de cilindros y asentamiento.





Nota. Fuente propia.

- **Procedimiento.**

Para realizar la fabricación de la mezcla de mortero se tuvo en cuenta el procedimiento dado por la normativa NTC 112 y el invias INVE-402-13 el cual dicta los procedimientos para la elaboración de especímenes.

- ➢ Primero se determinó la masa de los materiales del embolsado de cemento, agua y arena para cada dosificación de esta como se ilustra en la tabla 10, en donde, para cada muestra con diferente dosificación se realizaron 6 cilindros (3 días, 7 días y 28 días) dando un total de 48 muestras en esta fase por cada tipo de cemento.

- Una vez obtenidas las masas de los materiales, se procede al mezclado, donde, se vierte la mitad del agua de cada dosis, luego el agregado fino y la mitad de la bolsa de cemento es decir 4000 gr, se espera 30 segundos mientras se absorbe el agua y se mezcla durante 40 segundos a una revolución lenta (140 r/min), siguiendo el proceso, se arrastra el mortero adherido a la pared del recipiente de mezcla hacia el fondo y se procede a verter el restante del material y a revolver durante 2 minutos a una revolución rápida 225 r/min.

Ilustración 29.

Mezclado de mortero.



Nota. Fuente propia.

- Ya con la mezcla, se procede al vaciado del mortero a los cilindros con ayuda de un cucharon tomando una muestra representativa y se vacía al recipiente, como la altura es de tan solo 10 cm se lo hace en una capa y se procede a realizar un apisonamiento con una varilla lisa dando 25 golpes y finalmente con ayuda de un mazo de goma se golpea aproximadamente 6 golpes por cada lado de la

circunferencia como lo describe la norma INV-E-404 y se procede a dejar las muestras en un lugar libre de vibraciones.

- Para el control de asentamiento se llevó el mismo proceso de elaboración del mortero descrito anteriormente, luego, se procedió a humedecer el cono y el molde de superficie durante 30 segundos.
- Se pisa las aletas del molde para que este esté firme durante el llenado.

Ilustración 30.

Firmeza del cono.



Nota. Fuente propia.

- Se da uso del cucharon para llenar el molde en tres capas alrededor del perímetro, asegurando una distribución para evitar la segregación del material. En cada capa se da 25 golpes mediante la varilla de apisonamiento en forma de espiral.
- En la última capa y se halla compactado se rellena el exceso para así uniformizar la mezcla.
- Se retira el molde verticalmente sin exceder los cinco segundos y se coloca el molde invertido al costado de la mezcla y se procede a medir el asentamiento.

Ilustración 31.

Proceso del control de asentamiento.



Nota. Fuente propia.

- **Resultados.**

A continuación, se indicará los resultados obtenidos en relación al asentamiento y a la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados de las 8 dosificaciones y de los dos tipos de cemento.

- **Cemento HOLCIM.**

Se procede a indicar los resultados logrados por bolsa de 8 kg de cemento HOLCIM en la fabricación de 48 cilindros y 8 asentamientos evaluados.

Tabla 18.

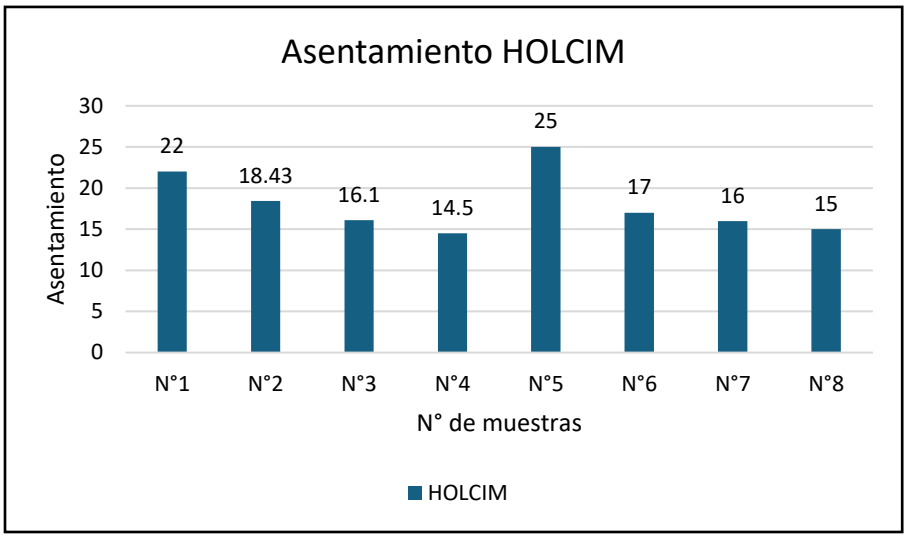
Control de asentamiento con diferentes dosificaciones para cada 8kg de cemento dando uso el cemento HOLCIM.

Nº de muestra	Agua (ml)	Arena (g)	Asentamiento (cm)
1	3000	1600	22 cm
2	2400	1600	18.43 cm
3	2000	1600	16.10 cm
4	1600	1600	14.5 cm
5	3000	1200	25 cm
6	2400	1200	17 cm
7	2000	1200	16 cm
8	1600	1200	15 cm

Nota. La tabla indica los asentamientos obtenidos. Fuente propia.

Ilustración 32.

Asentamiento dados por el cemento HOLCIM.



Nota. Fuente propia.

En el procedimiento de la fabricación del mortero fue una notable característica la trabajabilidad en donde la muestra número 8, 4 y 3 requerían mayor esfuerzo en su elaboración lo cual al momento de implementar no presentaba un mayor rendimiento.

Para la estimación de la resistencia a compresión se dio uso de la fórmula que representa la ecuación 7; en la cual para cada día se tomaron 2 muestras y su promedio.

Ecuación 7: Ecuación para estimar la resistencia a compresión.

$$Esfuerzo = \frac{Fuerza\ (N)}{Area\ (mm2)}$$

El diámetro interno de los cilindros era de 10 cm o 100mm dando un área de 7854 mm2.

Tabla 19.

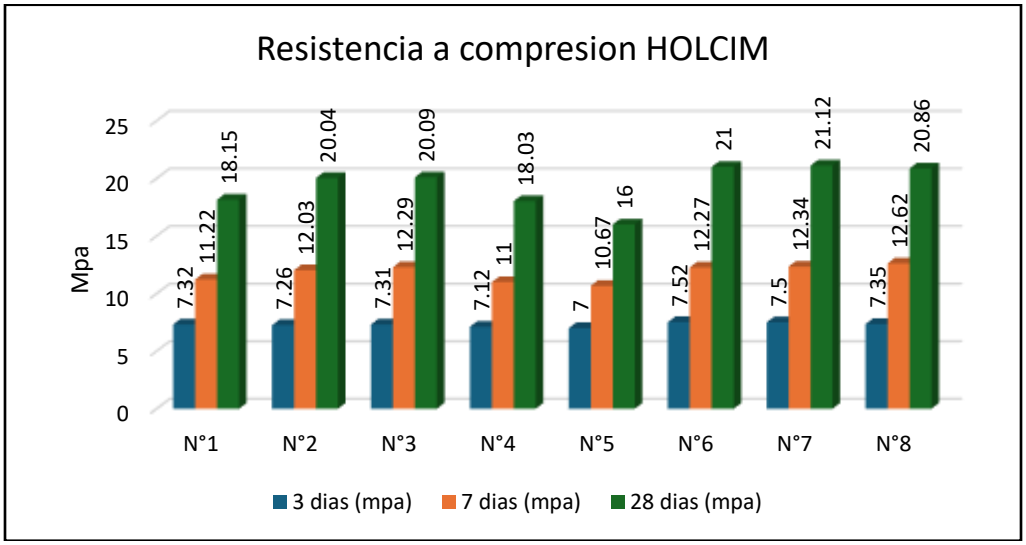
Resultados de resistencia Cemento HOLCIM.

Nº muestra	3 días (mpa)		Prom	7 días (mpa)		Prom	28 días (mpa)		Prom
1	7.21	7.32	7.26	10.85	11.22	11.03	17.09	18.15	17.62
2	7.24	7.26	7.25	11.07	12.03	11.55	19.67	20.04	19.86
3	7.23	7.31	7.27	12.06	12.29	12.18	20.09	20.07	20.08
4	7.00	7.12	7.06	10.26	11.00	10.63	17.31	18.03	17.67
5	7.00	6.92	6.96	10.46	10.67	10.57	16.00	15.83	15.92
6	7.21	7.52	7.37	12.27	12.06	12.17	21.00	20.87	21.00
7	7.23	7.50	7.37	12.34	12.10	12.22	21.12	20.90	21.01
8	7.16	7.35	7.26	12.17	12.62	12.39	21.07	20.86	20.96

Nota. Fuente propia.

Ilustración 33.

Ilustración de las resistencias cemento HOLCIM.



Nota. Fuente propia.

Una vez obtenido los resultados en función de los asentamientos y de la resistencia con la 8 dosis se pudo determinar que la muestra N°8, N°7, N°6 y N°3 obtuvieron las resistencias mayores mientras que la dosis N°5 obtuvo la resistencia más baja.

En cuanto a su asentamiento la muestra con menor asentamiento es la Nº 4, Nº 8, Nº 7, Nº 3 y Nº16 en donde la diferencia entre estas no es mayor a 2cm y entran en el rango de aceptabilidad que dice la norma ASTM C143.

Una vez conocido estos datos se decidió optar para este tipo de cemento la dosificación de la muestra N°7 y N°6. Lo que permite una manejabilidad mejor para el usuario.

Cabe recalcar que la temperatura promedio de la muestra de cemento para cada dosis se mantuvo en 23°C lo que estaba dentro de las condiciones aprobadas por la normativa.

- **Cemento CEMEX.**

Se procede a indicar los resultados logrados por bolsa de 8 kg de cemento HOLCIM en la fabricación de 48 cilindros y 8 asentamientos evaluados.

Tabla 20.

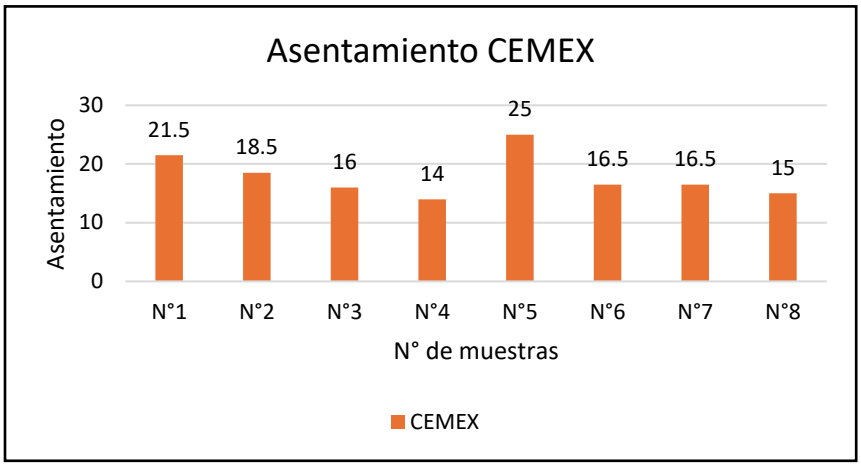
Control de asentamiento con diferentes dosificaciones para cada 8kg de cemento dando uso el cemento CEMEX.

Nº de muestra	Agua (ml)	Arena (g)	Asentamiento (cm)
1	3000	1600	21.5 cm
2	2400	1600	18.5 cm
3	2000	1600	16 cm
4	1600	1600	14 cm
5	3000	1200	25 cm
6	2400	1200	16.5 cm
7	2000	1200	16.5 cm
8	1600	1200	15 cm

Nota. La tabla indica los asentamientos obtenidos. Fuente propia.

Ilustración 34.

Ilustración del asentamiento con el cemento CEMEX.



Nota. Fuente propia.

Tabla 21.

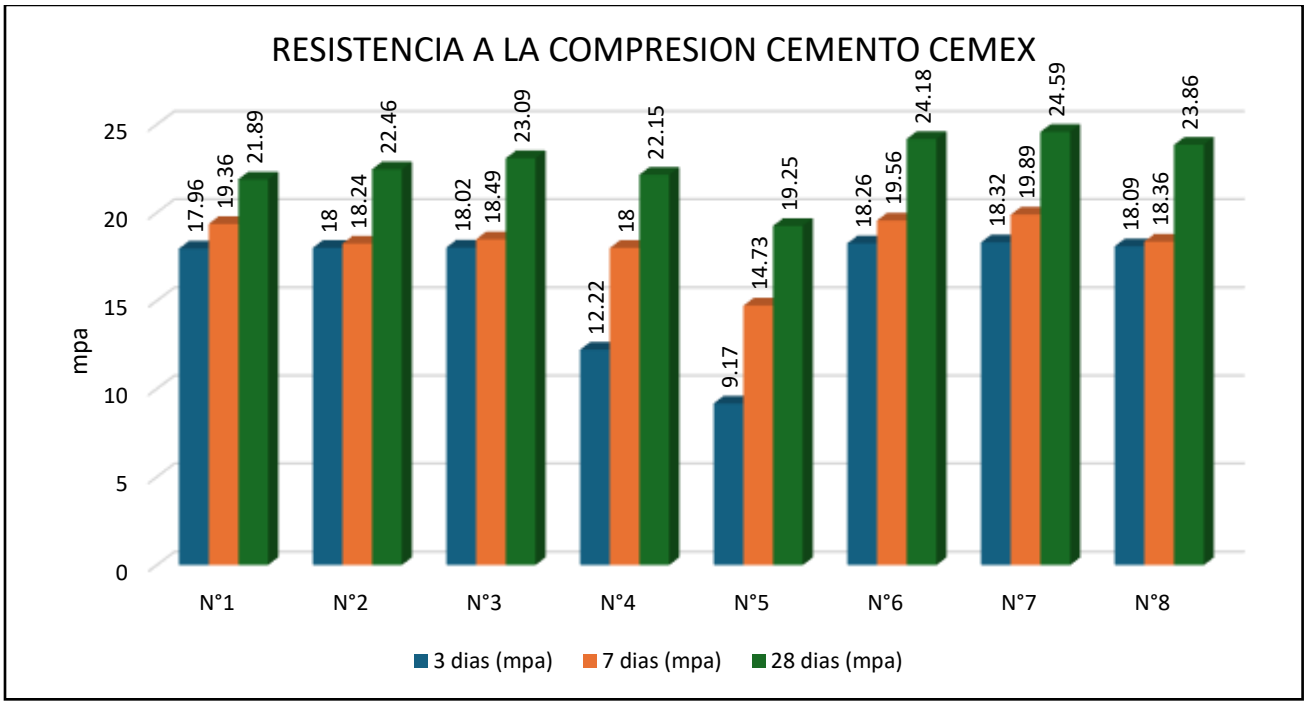
Resultados de resistencia Cemento CEMEX.

Nº muestra	3 días (mpa)		Prom	7 días (mpa)		Prom	28 días (mpa)		Prom
1	17.08	17.96	17.52	18.03	19.36	18.70	20.16	21.89	21.025
2	17.32	18.00	17.66	18.11	18.24	18.18	22.46	21.09	21.78
3	16.79	18.02	17.41	18.26	18.49	18.38	23.09	22.12	22.61
4	11.36	12.22	11.80	17.17	18.00	17.59	21.36	22.15	21.76
5	8.16	9.17	8.67	12.46	14.73	13.60	18.32	19.25	18.78
6	17.31	18.26	17.79	18.12	19.56	18.84	23.37	24.18	23.78
7	17.26	18.32	17.79	18.17	19.89	19.03	23.48	24.59	24.04
8	17.02	18.09	17.56	18.41	18.36	18.39	23.06	23.86	23.46

Nota. La tabla señala las resistencias a compresión de las 8 dosificaciones en distintos días. Fuente propia.

Ilustración 35.

Ilustración de las resistencias a diferentes días con cemento CEMEX.



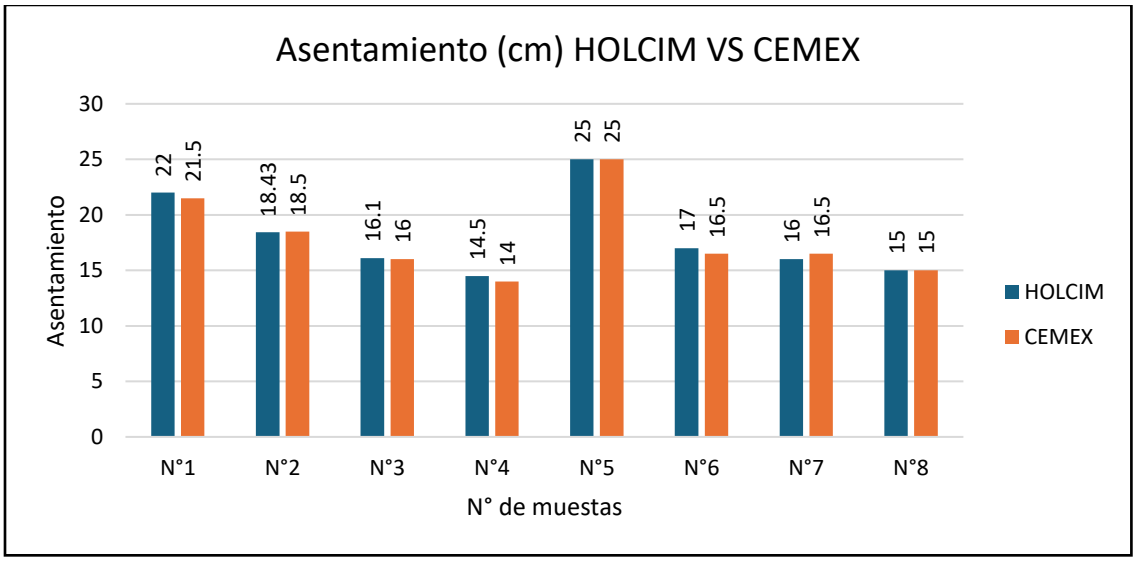
Nota. Fuente propia.

Una vez obtenidas las resistencias de 3,7 y 28 días del cemento CEMEX se evidencio que la resistencia mayor a los 28 días era de la muestra 6, 7 y 8 alcanzando una resistencia de 24 mpa. Por otro lado, en el asentamiento se evidencio que las muestras 6 y 7 presentaban un asentamiento de 16.5 cm y la muestra 8 un asentamiento de 15 cm. A pesar de que la muestra 8 indicaba un menor asentamiento, a la hora de su fabricación, requería un mayor esfuerzo para mezclar el cemento con los demás materiales.

A continuación, se indicará la comparación de los asentamientos y resistencia entre los dos tipos de cemento a usar.

Ilustración 36.

Asentamientos de HOLCIM VS CEMEX.

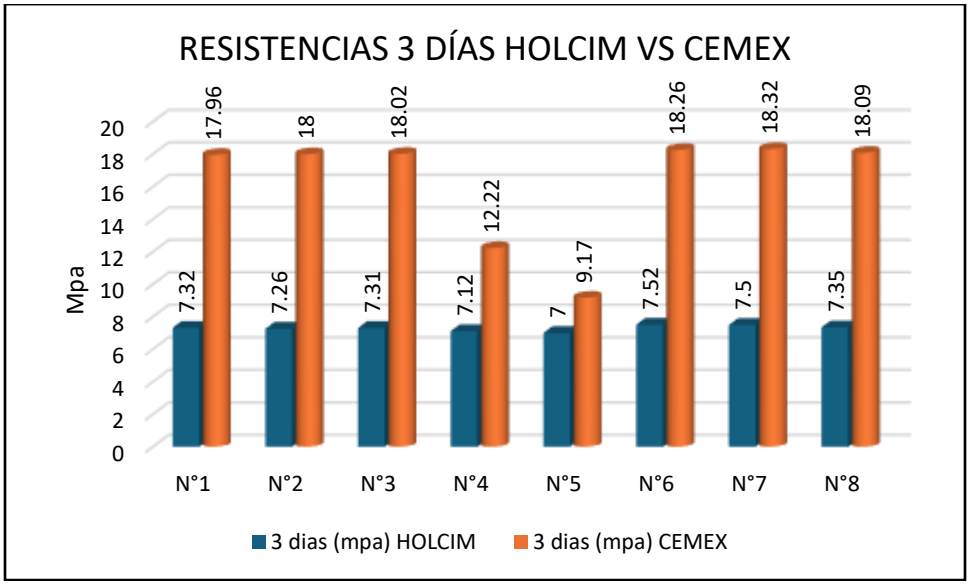


Nota. Fuente propia.

Aquí se puede evidenciar en que ambos cementos no presentan un cambio representativo en cuestiones de asentamiento.

Ilustración 37.

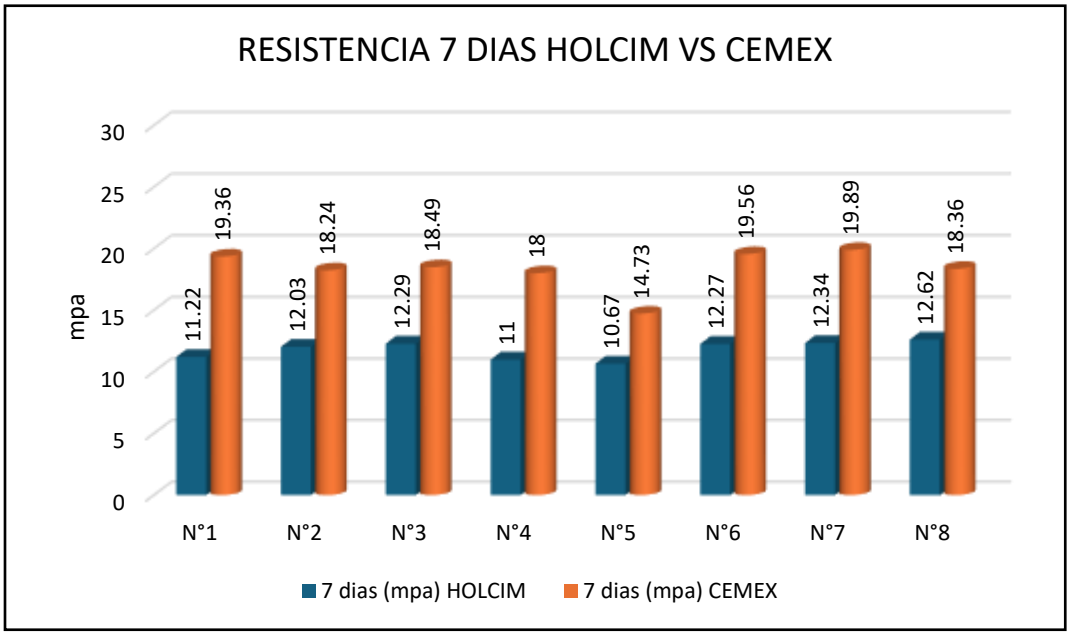
Resistencias de cemento HOLCIM vs CEMEX a 3 días.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 38.

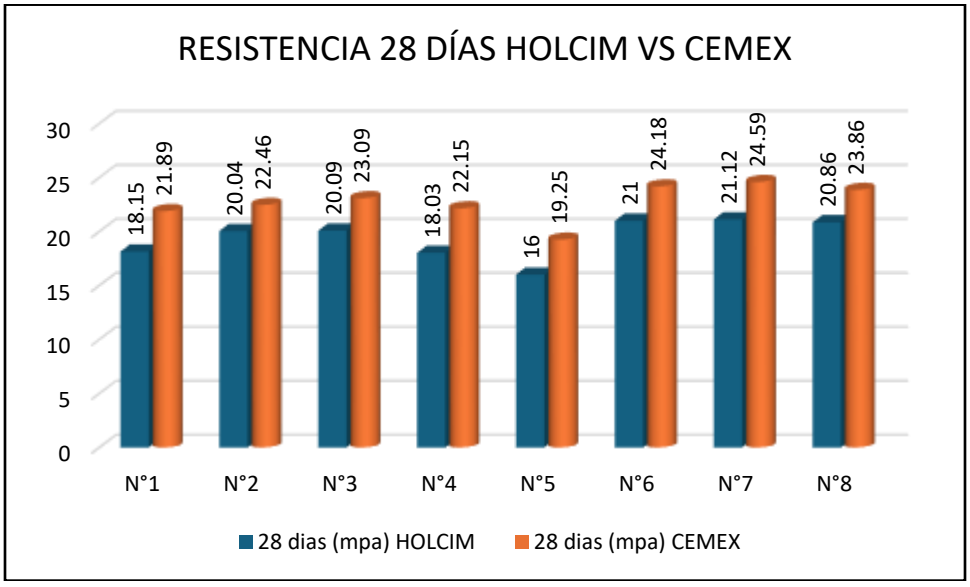
Resistencia de cemento Holcim vs CEMEX 7 días.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 39.

Resistencia de cemento Holcim vs CEMEX 28 días.



Nota. Fuente propia.

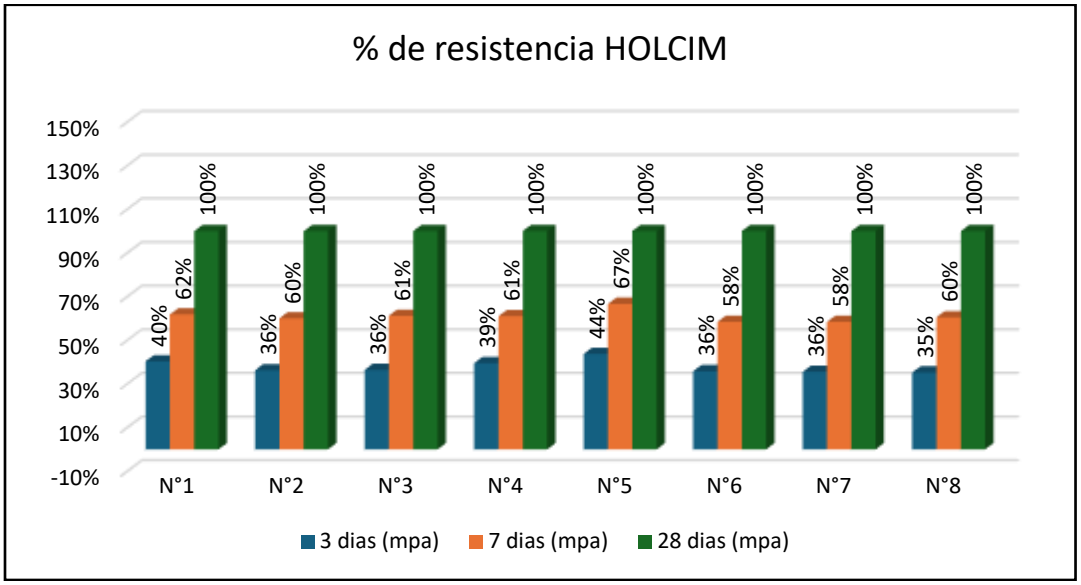
Con los datos obtenidos en las resistencias de las dos marcas de cemento, se evidencio que el cemento CEMEX con la dosificación N°7 alcanza mayores resistencias, en donde a los 3 días logro una diferencia del 59% en comparación con el cemento HOLCIM lo que evidenciaba era que el cemento HOLCIM presentaba una mayor demora en resistencia temprana en comparación con CEMEX.

A los 7 días presentaban una diferencia de 38% en donde el cemento HOLCIM alcanzo el 60% de su resistencia, mientras que el cemento CEMEX había alcanzado el 80% de la resistencia dando una diferencia del 38% por debajo de CEMEX.

A los 28 días presentaron una diferencia de tan solo el 14% en donde CEMEX alcanzo una resistencia de 24 mpa y HOLCIM una de 21 mpa.

Ilustración 40.

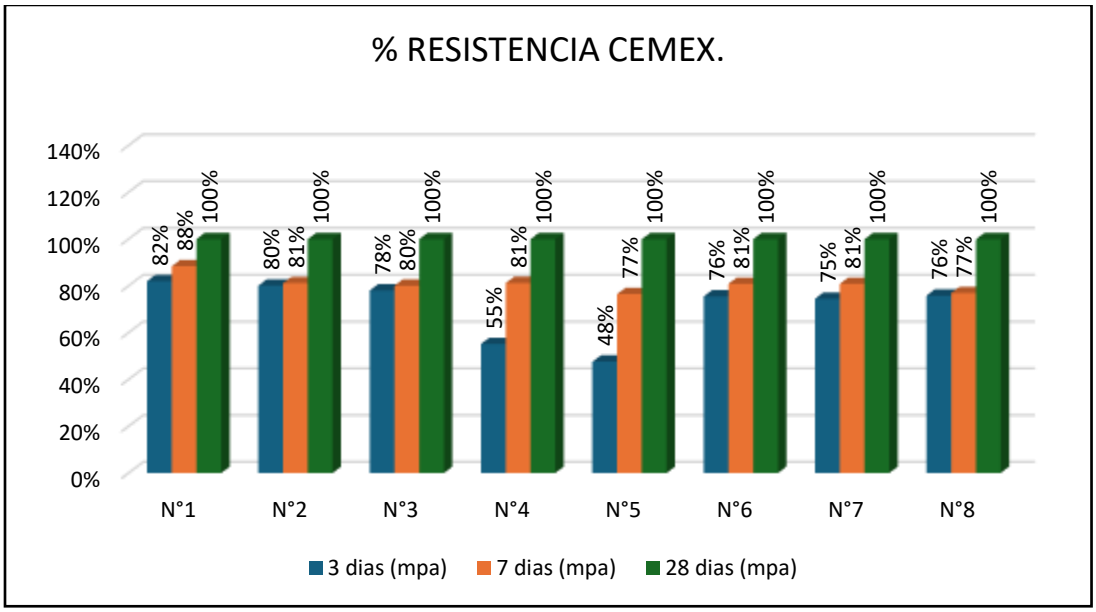
Porcentaje de resistencia HOLCIM.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 41.

Porcentaje resistencia CEMEX.



Nota. Fuente propia.

Se determinó que la dosificación N°7 y N°6 eran las seleccionadas para dar continuidad a la investigación teniendo como cemento la marca CEMEX de uso general, la dosis de agua es de 1000 ml y 600gr de arena para cada 4 kg de cemento.

Una vez obtenida la marca de cemento y la dosificación de arena y agua, se debía evaluar la dosificación optima del aditivo plastissil.

- **Aditivo Plastissil.**

Para seleccionar la dosificación del aditivo plastissil se dio uso inicialmente un rango de dosificación en función del peso del cementante, partiendo del 0.5-2% en el cual el análisis estaba dado al nivel de resistencia. Las dosis a estudiar fueron 0.5%, 1% y 2%.

El aditivo plastissil es un producto de consistencia líquida, suministrado por laboratorio de Walter Cortez a base de silanos que de acuerdo a su composición química y reactividad

permitir mejorar algunas características de materiales como la durabilidad y adherencia volviéndose una solución efectiva para trabajar con el mortero y revisar adicionalmente el efecto que este tiene en la resistencia.

Los silanos son compuestos químicos que se unen fácilmente a la superficie de la carretera y forman una capa protectora aumentando la capacidad de resistencia al agua y más productos químicos, es aplicable en forma líquida, lo que hace adecuado para una amplia gama de superficies.

Ilustración 42.

Ilustración del aditivo Plastissil en concentración con el agua.



Nota. Fuente propia.

Para la evaluación del aditivo, se eligió la dosificación N°6 con el cemento de CEMEX con el objetivo de analizar el comportamiento del mortero en relación con el aditivo, considerando tanto sus propiedades físicas como mecánicas.

Tabla 22.

Dosificaciones de materiales y aditivo.

Dosificación N°	Agua ml	Arena gr	Cemento gr	Aditivo %
N°1	2400	1200	8000	0.5
N°2	2400	1200	8000	2.0
N°3	2400	1200	8000	1.0

Nota. Fuente propia.

A continuación, se indicará los resultados obtenidos de las 3 dosis del aditivo plastissil mediante el ensayo a compresión axial a 3 días, 7 días y 28 días. Por cada ensayo realizado se elaboraron 6 especímenes de prueba en el cual cada día asignado se explotaban 2 cilindros, dando un total de 18 especímenes con diferentes dosificaciones de aditivo.

Tabla 23.

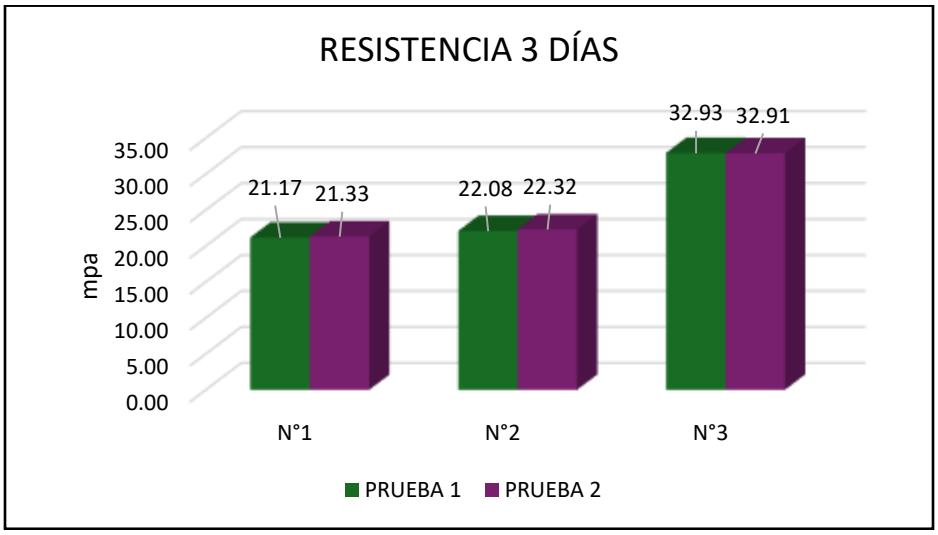
Resultados de resistencia.

Nº DE MUESTRA	3 DÍA (MPA)		7 DÍA (MPA)		28 DÍA (MPA)	
N°1	21.17	21.33	25.16	25.00	26.74	27.01
N°2	22.08	22.32	25.97	25.15	30.01	30.16
N°3	32.93	32.91	34.09	33.98	38.74	38.71

Nota. Fuente propia.

Ilustración 43.

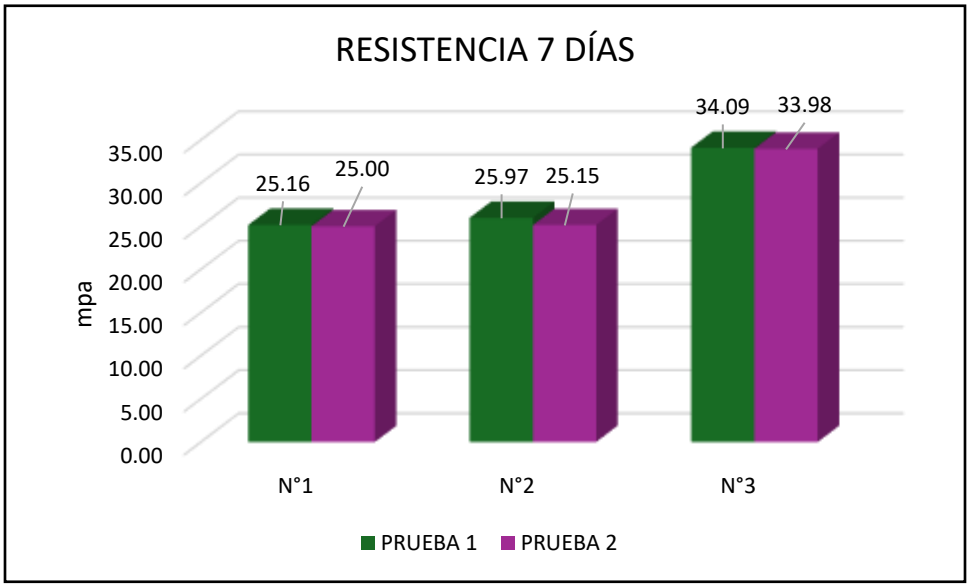
Resultados de resistencia a 3 días.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 44.

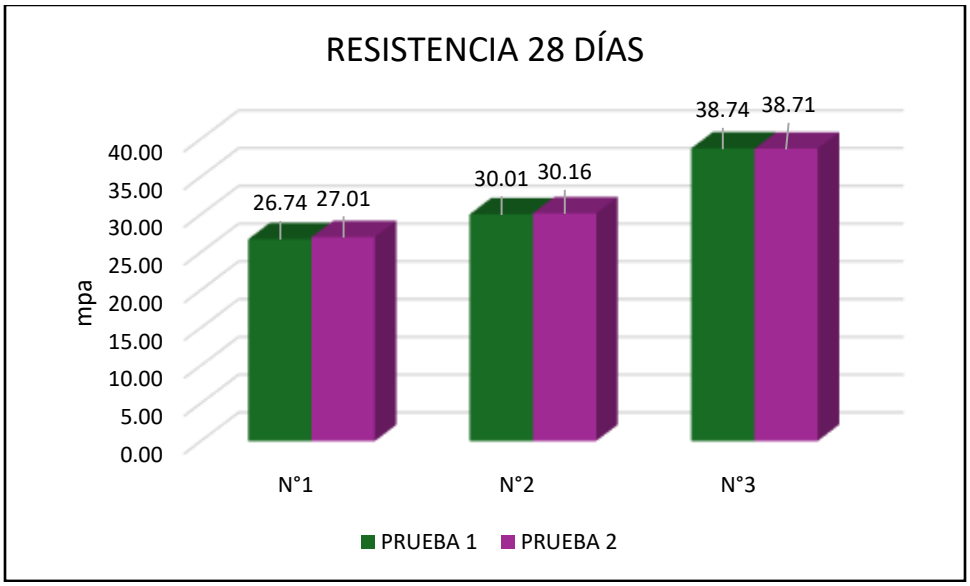
Resultados resistencia a 7 días.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 45.

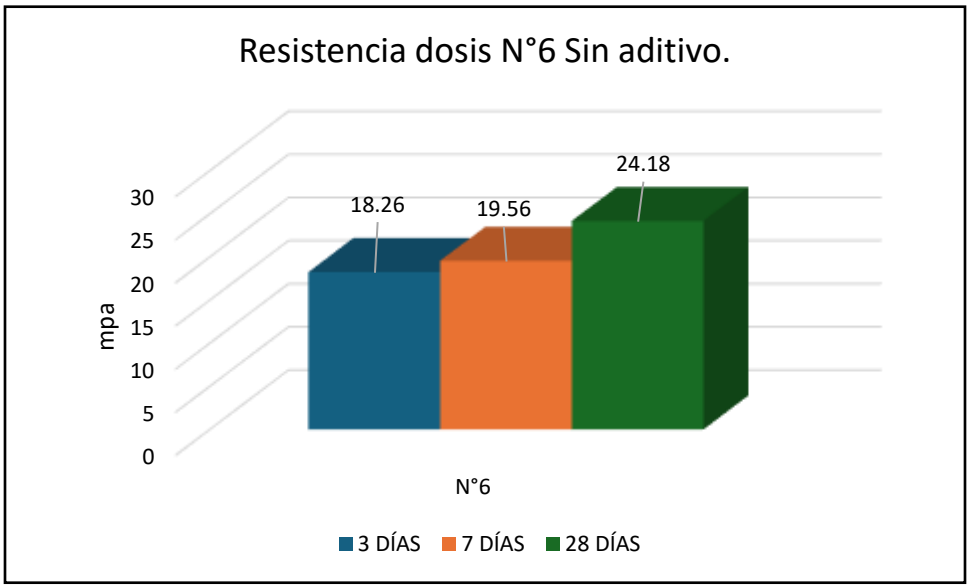
Resultados de resistencia a 28 días.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 46.

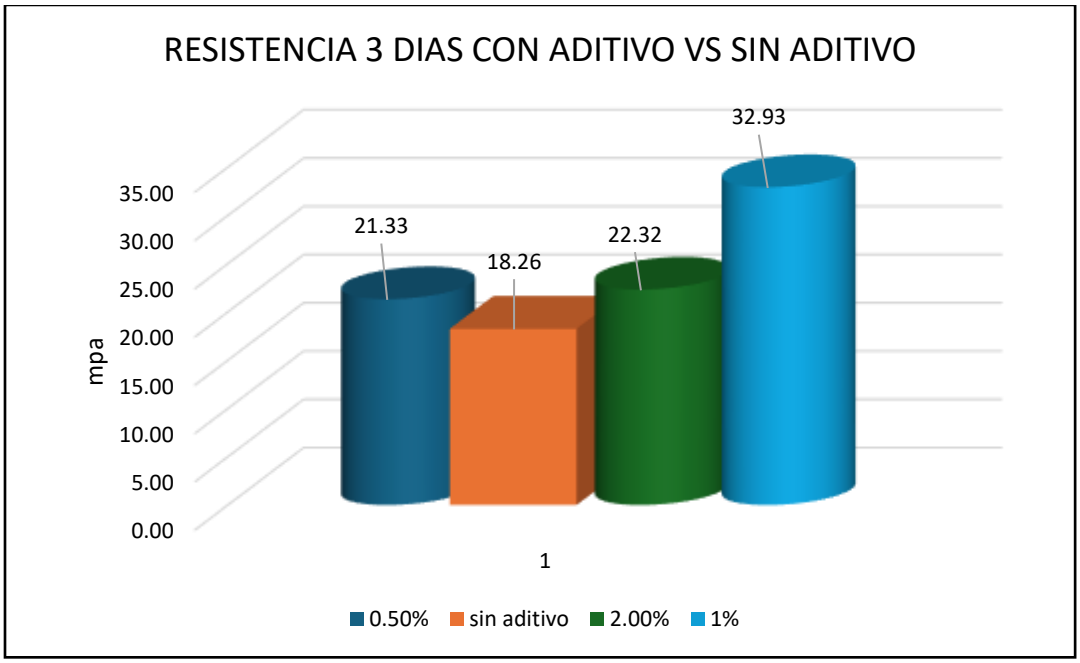
Resistencia dosis N°6 sin aditivo.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 47.

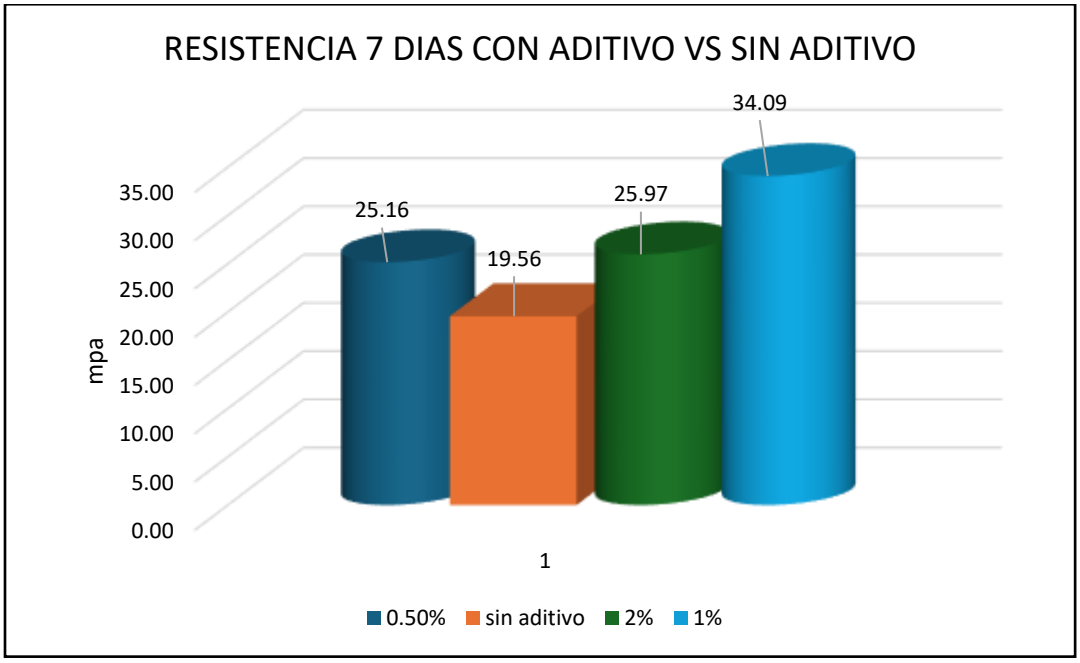
Resistencia con aditivo vs sin aditivo.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 48.

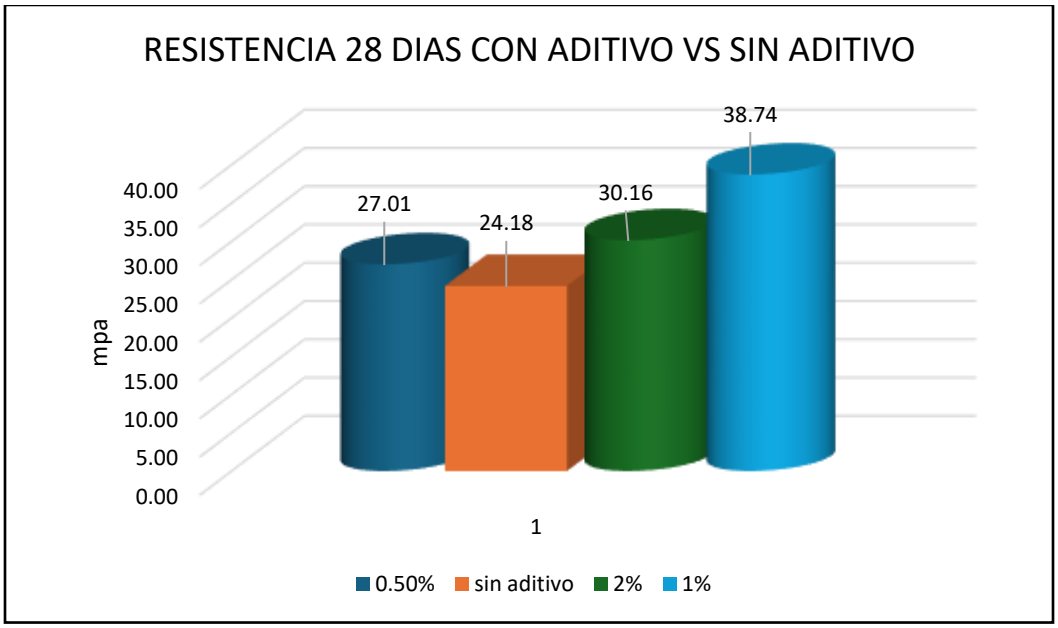
Resistencia a 7 días con aditivo vs sin aditivo.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 49.

Resistencia a 28 días con aditivo vs sin aditivo.



Nota. Fuente propia.

Una vez obtenido los resultados, se puede evidenciar un cambio en las resistencias de los especímenes que se les aplico el aditivo en comparación a los que no se les aplico como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24.

Resistencias a los diferentes días con el uso de aditivo vs sin el uso.

Nº **De Muestra**	**3 día (mpa)**		**7 día (mpa)**		**28 día (mpa)**	
	con aditivo	**sin aditivo**	**con aditivo**	**sin aditivo**	**con aditivo**	**sin aditivo**
N°1	21.33		25.16		27.01	
N°2	22.32	18.26	25.97	19.56	30.16	24.18
N°3	32.93		34.09		38.74	

Nota. Fuente propia.

Tabla 25.

diferencia entre el uso con aditivos vs sin aditivos.

Nº De Muestra	3 día			7 día			28 día		
	con aditivo	sin aditivo	Diferencia %	con aditivo	sin aditivo	Diferencia %	con aditivo	sin aditivo	Diferencia %
N°1	21.33		14.39	25.16		22.25	27.01		10.47
N°2	22.32	18.26	18.18	25.97	19.56	24.60	30.16	24.18	19.82
N°3	32.93		44.50	34.09		42.60	38.74		37.58

Nota. Fuente propia.

Se pudo determinar que el aditivo plastissil aumentaba las resistencias en un promedio de 41.56% en comparación a los cilindros que no se dieron uso del aditivo. Además, se evidencio que el aditivo alcanzo su resistencia con una dosificación al 1%, mientras que este con el 0.5% su resistencia bajaba un 30.28% en comparación a la muestra con 1%, mientras que la dosis del 2% baja una resistencia del 22.15%.

Etapa 4 de Selección.

Basados en los resultados de la etapa de experimentación, la dosificación optima de los materiales para la fabricación de los morteros se indicarán a continuación.

Tabla 26.

Dosificación seleccionada para la fabricación de morteros.

Dosificación	Agua (ml)	Arena (gr)	Cemento (gr)	% aditivo.	Relación A/C
N°1	2400	1200	8000	1	0.30
N°2	2000	1200	8000	1	0.25

Nota. Fuente propia.

A continuación, para evidenciar la secuencialidad del aditivo en las dos dosis seleccionadas, se elaboraron 96 cilindros con una relación agua-cemento de 0.30 y 96 cilindros con una relación

agua-cemento de 0.25, sumando un total de 192 cilindros. Estos cilindros son con la misma dosificación seleccionada con relación de 0.25.

- **Relación de agua 0.25.**

Tabla 27.

Resistencias obtenidas con relación agua cemento 7 días.

Ensayo	resistencia 7días mpa			
	prueba 1	prueba 2	prueba 3	promedio
1	33.65	33.09	32.97	33.24
2	33.85	32.87	33.02	33.25
3	33.53	32.94	33.13	33.20
4	33.71	33.08	34.70	33.83
5	34.36	33.00	34.49	33.95
6	34.24	33.15	34.03	33.81
7	34.05	33.18	32.39	33.21
8	34.27	33.22	32.43	33.31
9	33.65	33.07	32.84	33.19
10	33.73	33.13	33.00	33.29
11	33.59	32.91	32.94	33.14
12	33.63	33.36	32.95	33.31
13	33.46	33.28	32.96	33.23
14	33.83	33.12	33.06	33.34
15	33.58	33.09	33.20	33.29
16	33.63	33.02	33.15	33.27
promedio				**33.37**

Nota. Fuente propia.

Tabla 28.

Resistencias en mpa obtenidas con relación agua cemento 28 días.

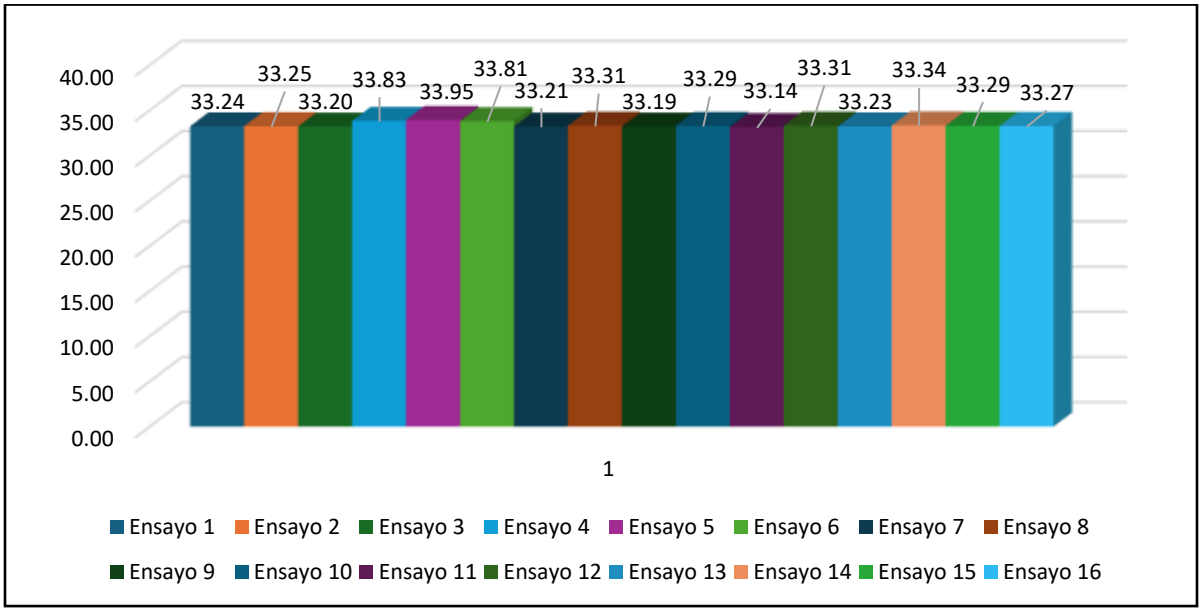
Ensayo	resistencia 28 días mpa			
	prueba 1	prueba 2	prueba 3	promedio
1	38.60	38.71	38.71	38.67
2	38.70	38.71	38.71	38.71
3	38.36	38.03	38.72	38.37
4	38.52	38.69	38.64	38.62
5	38.71	38.71	38.71	38.71
6	38.69	38.50	38.38	38.52

7	38.46	38.45	38.71	38.54
8	38.66	38.71	38.52	38.63
9	38.70	38.04	37.69	38.14
10	38.33	38.71	38.70	38.58
11	38.57	37.66	37.75	37.99
12	38.39	38.21	38.60	38.40
13	38.44	38.10	38.11	38.22
14	38.28	38.23	38.71	38.41
15	38.03	38.57	38.56	38.39
16	36.42	36.20	36.29	36.30
promedio				**38.32**

Nota. Fuente propia.

Ilustración 50.

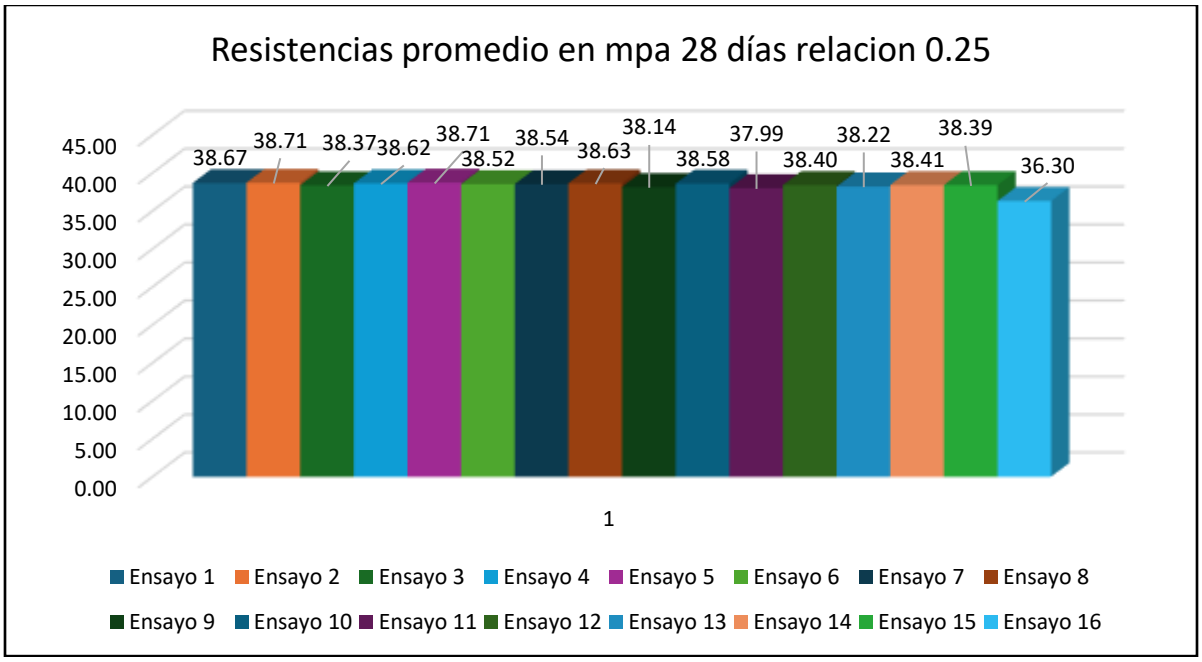
promedio de resistencias en mpa a los 7 días de 16 ensayos con una relación de 0.25.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 51.

Resistencias promedio en mpa a los 28 días de 16 ensayos relación 0.25.



Nota. Fuente propia.

- **Relación de agua 0.3.**

Tabla 29.

Resistencias obtenidas con relación agua cemento 7 días relación 0.3

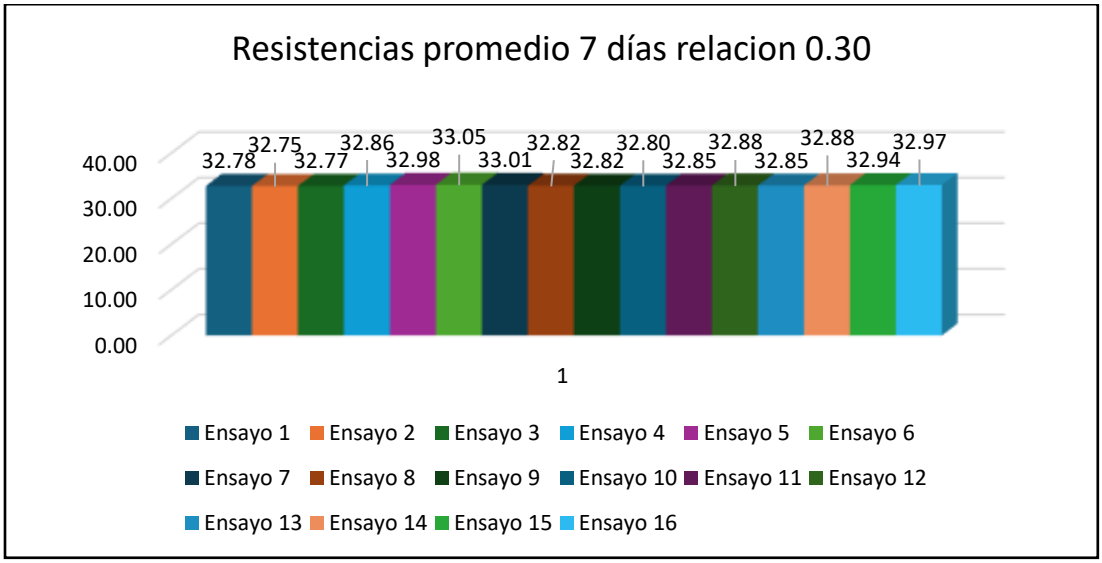
Ensayo	**resistencia 7 días mpa**			
	prueba 1	**prueba 2**	**prueba 3**	**promedio**
Ensayo 1	32.64	32.65	33.06	32.78
Ensayo 2	32.66	32.70	32.90	32.75
Ensayo 3	32.68	32.72	32.91	32.77
Ensayo 4	32.72	32.78	33.07	32.86
Ensayo 5	32.63	33.28	33.04	32.98
Ensayo 6	32.81	33.32	33.02	33.05
Ensayo 7	32.69	33.41	32.93	33.01
Ensayo 8	32.80	32.51	33.15	32.82
Ensayo 9	32.75	32.49	33.22	32.82
Ensayo 10	32.65	32.57	33.19	32.80
Ensayo 11	32.64	32.63	33.28	32.85
Ensayo 12	32.65	32.65	33.33	32.88
Ensayo 13	32.72	32.49	33.36	32.85

Ensayo 14	32.77	32.55	33.32	32.88
Ensayo 15	32.77	32.59	33.45	32.94
Ensayo 16	32.84	33.09	32.99	32.97
promedio				**32.88**

Nota. Fuente propia.

Ilustración 52.

Resistencias promedio 7 días relación 0.30. (mpa)



Nota. Fuente propia.

Tabla 30.

Resistencias promedio en mpa a los 28 días relación 0.3

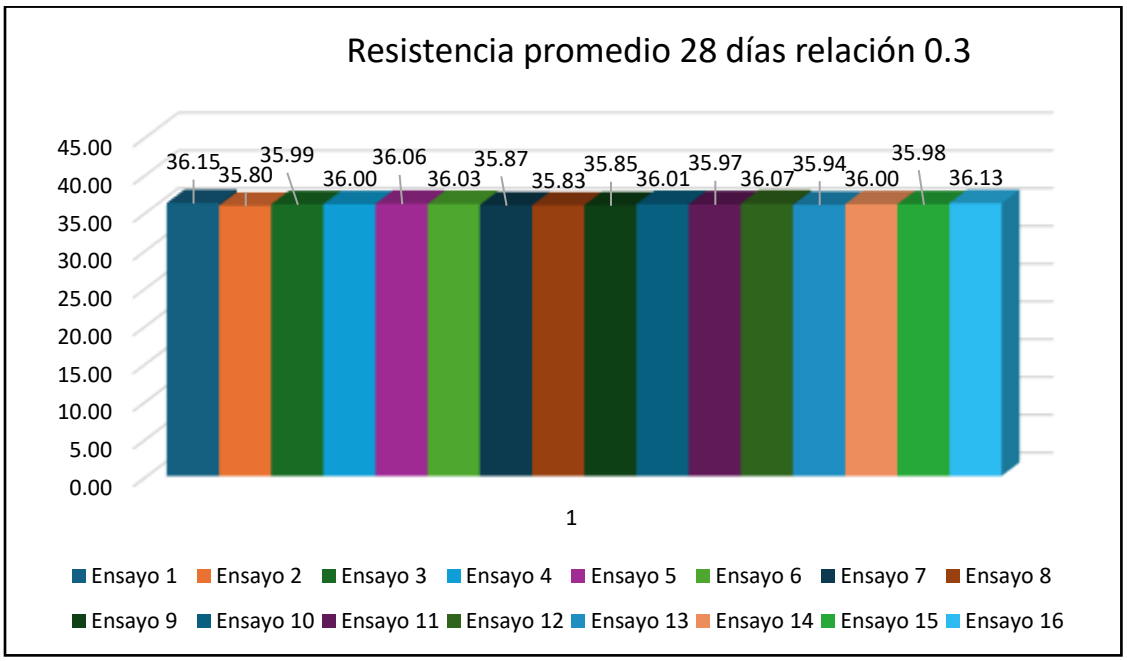
Ensayo	**resistencia 28 días mpa**			
	prueba 1	**prueba 2**	**prueba 3**	**promedio**
1	35.05	36.51	36.89	36.15
2	34.94	35.70	36.77	35.80
3	35.22	35.80	36.96	35.99
4	35.14	35.86	36.99	36.00
5	35.32	35.91	36.95	36.06
6	35.28	36.00	36.81	36.03
7	35.26	35.55	36.79	35.87
8	35.02	35.70	36.79	35.83
9	35.02	35.83	36.71	35.85
10	35.46	35.87	36.69	36.01
11	35.18	35.85	36.89	35.97
12	35.22	36.21	36.80	36.07

13	34.81	36.12	36.87	35.94
14	35.01	36.09	36.90	36.00
15	35.15	36.25	36.54	35.98
16	35.33	36.40	36.66	36.13
promedio				**35.98**

Nota. Fuente propia.

Ilustración 53.

Resistencias promedio a los 28 días relación 0.3 (mpa)



Nota. Fuente propia.

Al consolidar los resultados obtenidos de los ensayos a la resistencia a la compresión axial a los diferentes cilindros con aditivo Plastissil, se pudo determinar que los morteros presentan valores mayores a la resistencia a los 7 y 28 días con respecto a la mezcla que no se usó aditivo, además se evidencio una aceleración del 85% en los primeros 3 días dando como resultado una resistencia de 32.93 mpa (4774.70 psi), a los 7 días una resistencia del 93% con 34.70 mpa (5031.36 psi) y finalmente a los 28 días con una resistencia de 38.72 mpa (5602.43 psi) con una relación agua cemento de 0.25.

Por otro lado, los resultados obtenidos con la relación de agua cemento de 0.3 presentaron también una aceleración donde a los 3 días presentaba su resistencia al 86% con una resistencia de 29.59 mpa (4290.84 psi), a los 7 días alcanzo una resistencia del 90% con una resistencia de 33.45 mpa (4850.25 psi) y una resistencia final de 36.99 mpa (5363.55 psi).

Una vez obtenidos los resultados de los 192 cilindros, se presentó una correlación de más del 95% lo cual indicaba que la experimentación era repetitiva sin variar resultados significativamente.

A continuación, se indicará los resultados obtenidos de los asentamientos realizados con las diferentes dosis.

Tabla 31.

Resultados de asentamiento con diferentes dosis y su temperatura.

Ensayo Nº	Descripción	Resultado (cm)	Temperatura °C
N°1	Mezcla con relación A/C de 0.25 sin aditivo	14	24.0
N°2	Mezcla con relación A/C de 0.25 con aditivo	16	23.4
N°3	Mezcla con relación A/C de 0.30 sin aditivo	19	23.8
N°3	Mezcla con relación A/C de 0.30 con aditivo	22	24.0

Nota. Fuente propia.

La mezcla elegida para la recuperación de pavimentos rígidos cuenta con una relación agua-cemento de 0.25 y un aditivo Plastissil al 1%. Esta combinación permite alcanzar una resistencia del 85% en solo 3 días, equivalente a 32.93 MPa (4774.70 psi), y una resistencia final de 38.72 MPa a los 28 días.

Etapa 5 Evaluación.

En la etapa de evaluación, se llevará a cabo un análisis técnico y económico para evaluar el desempeño del mortero en pavimentos rígidos sometidos a niveles de tránsito 2 y 3. Además, se

analizará la relación costo-beneficio del aditivo en la reparación de fallas en este tipo de pavimento, asegurando el cumplimiento del objetivo del estudio.

Examinar el desempeño del mortero de alto modulo en pavimentos rígidos sometidos a distintos niveles de tránsito.

Para dar cumplimiento a este objetivo, se implementó el vaciado de mortero a dos niveles de tránsito, nivel de tránsito 2 y nivel de tránsito 3 a dos calles del municipio de Mocoa, Putumayo; buscando analizar el comportamiento real ante el paso de tránsito pesado y mediano.

Identificación de la vía.

La vía que estamos estudiando está ubicada en el barrio La Independencia, en Mocoa, Putumayo, con coordenadas 1°08'59"N, 76°38'37"W. Es una vía secundaria dentro de la zona urbana y fue construida en pavimento rígido. Actualmente, tiene 25 años de antigüedad según los pobladores del barrio, por lo que ha sido afectada por el tránsito vehicular y las condiciones climáticas, presentando un notable deterioro en su estructura. La prueba del aditivo Plastissil se seleccionaron dos placas de concreto que presentaban un mayor nivel de deterioro debido al tránsito vehicular y a las condiciones climáticas de las cuales se tomaron una en sentido norte y sur.

Ilustración 54.

Localización de las calles a intervenir.



Nota. Adoptada de Google Earth. Fuente propia.

- **Información inicial.**

Para el estudio de las placas seleccionadas se realizó un estudio de información para saber las causas por las cuales se han deteriorado.

- **Condiciones del tránsito:** La vía estudiada tiene un tráfico constante clasificado como nivel de tránsito 3, lo que significa que por ella circulan con frecuencia motocicletas, automóviles, busetas y camiones. El paso continuo de estos vehículos, especialmente los de mayor peso, genera un impacto significativo en la estructura del pavimento, acelerando su desgaste y deterioro con el tiempo.
- **Condiciones climáticas:** Mocoa tiene un clima tropical húmedo, con temperaturas que oscilan entre 22°C y 24°C y una alta cantidad de lluvias a lo largo del año. La presencia constante de humedad y agua de lluvia puede filtrarse a través de las juntas y grietas del pavimento, debilitando su estructura con el tiempo.

- **Evaluación del estado del pavimento.**

Tras la inspección visual realizada en las placas de concreto de la vía del barrio La Independencia, se identificaron diversas afectaciones en la estructura del pavimento, las cuales reflejan un nivel de deterioro progresivo**:**

- **Grietas y fisuras:** Se observan grietas tanto longitudinales como transversales, lo que indica debilitamiento del concreto debido a la carga vehicular constante y las condiciones climáticas. Algunas de estas grietas han comenzado a abrirse, facilitando la filtración de agua y acelerando el daño estructural.

- **Baches:** Hay partes del pavimento donde el material se ha desprendido, formando baches de distintos tamaños. Estos no solo dificultan la circulación de los vehículos, sino que también empeoran el estado de la vía debido al constante tráfico.
- **Desgaste superficial:** En las placas se nota un desgaste en la parte superior del concreto, lo que puede ser consecuencia del roce continuo de los neumáticos y de la humedad constante a la que está expuesto el pavimento.
- **Posibles problemas en las juntas:** Es probable que el sellado de las juntas de dilatación se haya deteriorado con el tiempo, lo que puede causar desplazamientos entre las losas y un mayor riesgo de fracturas.

- **Procedimientos 1: Barrio la independencia.**
  - ✓ Se seleccionaron dos placas de concreto en el barrio La Independencia para realizar el estudio, cada una con dimensiones de 4.75 metros de largo por 3.26 metros de ancho, lo que representa un área de 15.48 metros cuadrados por placa. Estas fueron elegidas debido a su elevado nivel de deterioro. Durante la

inspección, se observó que ambas placas estaban cubiertas de polvo y barro, lo que dificultaba la identificación de las fallas y daños en su superficie, por lo que fue necesario realizar una limpieza previa.

Ilustración 55.

Limpieza y secado de placas.



Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez secadas las placas, se pudo observar con mayor claridad el estado de deterioro de la vía, destacando principalmente pequeños baches y grietas en su superficie.

Ilustración 56.

Deterioros encontrados después de limpieza.



Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez identificadas las fallas patológicas de la vía, se procedió a la elaboración de la mezcla de los materiales, cemento, agua, arena y el aditivo Plastissil, Para garantizar una composición homogénea, se utilizaron una mezcladora eléctrica y un trompo, asegurando que los materiales se integraran completamente hasta eliminar cualquier vacío o grumo.

Ilustración 57.

Preparación de la mezcla.



Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez preparada la mezcla, se procedió a vaciarla sobre las placas seleccionadas. Para asegurar una distribución uniforme, se utilizó una llana, permitiendo que la mezcla cubriera toda la superficie de manera homogénea.

Ilustración 58.

Distribución de la mezcla.



Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez distribuida la mezcla, se dejó secar completamente antes de habilitar nuevamente el paso de los vehículos.

Ilustración 59.

Secado de mezcla.



Nota. Fuente propia.

- **Procedimiento 2: Barrio Miraflores.**
    - ✓ Se seleccionó un bache en el barrio Miraflores debido a su considerable profundidad y avanzado estado de deterioro. Durante la inspección, se constató que estaba cubierto de polvo y barro, lo que dificultaba su identificación. Por esta razón, fue necesario realizar una limpieza previa para evaluar con mayor precisión su dimensión y condición.

Ilustración 60.

Estado de la vía inicial.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 61.

Limpieza de área a intervenir.





Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez que el bache completamente limpio, fue posible evaluar con mayor precisión su estado de deterioro, destacando especialmente su profundidad.

- ✓ Una vez identificado el bache, se procedió a la preparación de los materiales, incluyendo cemento, agua, arena y el aditivo Plastissil, para la elaboración de la mezcla. Para garantizar una composición homogénea, se utilizaron una mezcladora electica, asegurando que los materiales se integraran completamente hasta eliminar cualquier vacío o grumo.

Ilustración 62.

preparación de mezcla de mortero en situ.





Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez preparada la mezcla, se procedió a vaciarla sobre el bache. Para asegurar una distribución uniforme, se utilizó una llana, permitiendo que la mezcla cubriera toda la superficie del bache de manera homogénea.

Ilustración 63.

Vaciado de mezcla.





Nota. Fuente propia.

- ✓ Una vez distribuida la mezcla con un espesor de 1.5 cm, se dejó secar completamente durante 4.0 antes de habilitar nuevamente el paso de los vehículos.

Ilustración 64.

bache reparado.



Nota. Fuente propia.

- **Análisis de resultados.**

Para el análisis del desempeño de la reparación de los pavimentos a distintos niveles de transito se determinó de manera cualitativa el impacto del tránsito y clima al mortero a evaluar, donde, se observó durante 6 meses su comportamiento, en el cual se evidencio que ha perdurado sin deterioro en su superficie de rodadura, además de no presentar fisuramiento ni baches.

Ilustración 65.

Estado actual vía del barrio Independencia.



Nota. Fuente propia.

Ilustración 66.

Estado actual vía del barrio Miraflores.



Nota. Fuente propia.

Analizar la Relación Costo Beneficio del Aditivo en la Reparación de Fallas en los Pavimentos.

Esta investigación se centró en evaluar el aditivo Plastissil en la fabricación de morteros, como una alternativa para la reparación durante el mantenimiento de pavimentos rígidos. Con el fin de determinar la viabilidad económica del uso de este material, se realizó una evaluación de costos,

comparando los gastos asociados con el mortero Plastissil frente a los de la reparación convencional de losas de concreto

Como un criterio de la evaluación se determinó el valor unitario por metro cuadrado como unidad.

Tabla 32.

Análisis de precio unitario del mortero plastissil.

Ítem	Descripción		Unidad	Cantidad	
1	Mortero con aditivo plastissil e=1.5cm		M2	1.00	
Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/ Dia	Rendimiento	Vr Unitario
Herramienta menor			8,000	0.05	$400.00
Planta eléctrica			$50,000.00	0.05	$2,500.00
Mezcladora eléctrica y trompo			$70,000.00	0.05	$3,500.00
SUBTOTAL					$6,400.00
Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Vr Unitario
Cemento Cemex		Kg	4.0	$660.00	$2,640.00
Arena		Kg	1.6	$301.00	$481.6
Agua		Lt	25	$35.00	$875
Combustible		Gl	0.1	$15,420.00	$1,542.00
Plastissil		Lt	0.04	$13,500.00	$540.00
SUBTOTAL					$6,078.600
Mano de obra					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Cuadrilla (1 ofi y 1 ayu)	130,000.00	84,000	$214,000.00	0.07	$14,980.00
SUBTOTAL					$14,980.00
TOTAL, COSTO DIRECTO					**$27,458.600**

Nota. Fuente propia.

Tabla 33.

costos unitarios reparación de pavimento con mortero MR-45

Ítem	Descripción		Unidad	Cantidad	
1	Mortero Sikatop-122		M2	1.00	
Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/ Dia	Rendimiento	Vr Unitario
Herramienta menor			8,000	0.05	$400.00
Planta eléctrica			$50,000.00	0.05	$2,500.00
Mezcladora eléctrica y trompo			$70,000.00	0.05	$3,500.00
SUBTOTAL					$6,400.00
Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Vr Unitario
Sikatop-122		Kg	4.0	$12,396.00	$49,584.00
Arena		Kg	10	$301.00	$3,010.00
Agua		Lt	25	$35.00	$875
Combustible		Gl	0.1	$15,420.00	$1,542.00
SUBTOTAL					$55,011.00
Mano de obra					
Trabajador	Jornal	Prestac.	Jornal Total	Rendimiento	Vr. Unitario
Cuadrilla (1 ofi y 1 ayu)	130,000.00	84,000	$214,000.00	0.07	$14,980.00
SUBTOTAL					$14,980.00
TOTAL, COSTO DIRECTO					$76,391.00

Nota. Fuente propia.

De acuerdo a los valores determinados en los precios unitarios en el respectivo análisis de la fabricación de mortero con el aditivo plastissil y con el mortero sikatop-122 se evidencia una diferencia de costos del 64%, siendo la reparación con mortero con el aditivo plastissil la más viable económicamente; sin embargo, en cuanto a la parte técnica el producto sikatop-122 presenta una resistencia de 45 mpa en el cual da tráfico pesado a los 8 días de su vaciado.

Conclusiones.

Una vez analizado los diferentes resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, donde evaluamos el aditivo plastissil para mezclas de mortero de cemento como material para la reparación de pavimentos rígidos, podemos llegar a concluir.

- El aditivo Plastissil, al incorporarse en distintas mezclas de concreto de cemento, optimiza el desarrollo de resistencias tempranas al acelerar los tiempos de fraguado. Esta propiedad lo convierte en un material ideal para la reparación vial, ya que facilita intervenciones en corto plazo y reduce costos asociados a los cierres viales.
- La implementación del aditivo en las mezclas de mortero desarrollo un aumento de las resistencias a los diferentes días con un valor del 55.45% a los 3 días y un valor del 62% a los 28 días por encima de un mortero tradicional.
- A pesar que el aditivo plastissil alcanzo una alta resistencia, muy por encima de morteros tradicionales este no es considerado como un mortero de alto modulo ya que la ACI considera estos morteros a los que hayan alcanzado resistencias superiores a los 41 mpa.
- En la implementación del mortero en un nivel de transito 3, se ha comportado de una manera integral con el concreto pre existente en el estudio de 6 meses con leves fisuras menos a 1mm.
- En la implementación del mortero a un nivel de transito 2, se ha comportado de manera integral con el concreto pre existente sin novedades de fisuras en un lapso de 6 meses.
- Es una opción bastante económica en comparación con otras alternativas de solución puestas en el mercado.

Recomendaciones.

- La aplicación del aditivo Plastissil se encuentra todavía en fase experimental, por lo que es probable que su formulación y características se ajusten con el tiempo, afectando así las propiedades que se obtienen.
- Los ensayos realizados en la maquina universal no cuenta con la calibración vigente, se recomienda al instituto calibrar sus equipos.
- Se recomienda seguir la investigación en la implementación del aditivo ante la fabricación de concretos.
- Se recomienda ver su influencia a la flexión y ante el desgaste vehicular a travez del tiempo.

Referencias

Agudelo, L., Muñoz , A., Enrreiquez , V., Silva, A., & Lozano, R. (07 de Noviembre de 2023). Calidad fisico quimica del rio mulato en Mocoa Putumayo_Colombia. *Tecnologias y cuencias del Agua*, 150-203. Obtenido de https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3112

Carvajal Vega , M. C., & Cortéz Pomar , G. (2019). *Evaluacion del uso de aditivos sobre la mezcla convencional de concreto en morteros de cementos ART para aumneto de su resistencia.* Fundacion Universidad América. Obtenido de https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7707/1/6142413-2019-2-IQ.pdf

CEMEX. (s.f.). *CEMEX* . Obtenido de Cemento gris : https://www.cemexcolombia.com/productos/cementos/cemento-gris/uso-general

Chaparro Acuña, J., Gil Chavez, C., Bello Escobar, J., & Ortiz Baron , S. (2019). *Elaboracion de un aditivo para el fortalecimiento del cemento y el concreto.* Universidad Catolica de Colombia. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/34253ca8-65f2-4c6a-b9f4-a9046a39b0da/content

Coronel, G. (17 de Octubre de 18). *studocu*. Obtenido de Agregados: https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-de-asuncion/materiales-de-obras-civiles/5-agregados/6490220

Cortez Gomez , E. A., & Perilla Sastoque, J. E. (2014). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS DE CUATRO CEMENTOS TIPO 1.* Bogota:

Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11044/1/ESTUDIO%20COMPARATIVO%20DE%20LAS%20CARACTERISTICAS%20FISICO%20MECANICAS%20DE%20CUATRO%20CEMENTOS%20COMERCIALES%20PORTLAND%20TIPO%20I.pdf

Cure, L. (2021). *360 en concreto*. Obtenido de ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO NTC 396: https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto/

Dimacro. (27 de Septiembre de 2023). *Dimacro*. Obtenido de QUE ES UNA PRUEBA DE ASENTAMIENTO Y COMO SE REALIZA: https://dimacro.com.co/blog/prueba-asentamiento/#:~:text=Una%20prueba%20de%20asentamiento%20con,la%20trabajabilidad%20del%20concreto%20fresco

Flores, E. (15 de Septiembre de 2020). *SCRIBD*. Obtenido de Agua para el concreto: https://es.scribd.com/document/437625276/Agua

GIP-MOCOA. (15 de Junio de 2021). *GIP MOCOA*. Obtenido de MOCOA: https://www.gipmocoa.com/mocoa/

Gropo Argos . (2021). *ARGOS*. Obtenido de Mortero: https://colombia.argos.co/autoconstructores/mortero-que-es-y-para-que-sirve/

Gutiérrez de López , L. (2003). *El concreto y otros materiles para la constuccion* . Universidad nacional de colombia .

HOLCIM . (s.f.). *HOLCIM Colombia* . Obtenido de Liena de cementos HOLCIM uso general: https://www.holcim.com.co/productos/cemento

HYMSERCO. (2023). *HYMSERCO*. Obtenido de QUE SON LOS PAVIMENTOS RIGIDOS : https://hymserco.es/que-son-los-pavimentos-rigidos/

Icontec. (17 de 02 de 2010). *studocu*. Obtenido de Norma Tecnica Colombiana: https://www.studocu.com/in/document/itm-university/circuitos-electricos/ntc673-concretos-ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-de-especimenes-cilindricos-de-concreto/4717071

INGENIEROS DE CAMINOS. (2019). *Ingenieros de caminos*. Obtenido de aditivo para concreto: https://ingeniero-de-caminos.com/aditivos-para-concreto/

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. (2012). *seccion 200 agregados petreos.* INVIAS. Obtenido de https://www.umv.gov.co/sisgestion2019/Documentos/APOYO/GLAB/GLAB-DE-002_V1_Normas__Invia_Seccion__200-13.pdf

Instituto nacional de vias. (2019). *Instructivo para la inspeccion visual y la evaluacion de los deterioros de los pavimentos asfalticos de carreteras.* Invias. Obtenido de https://www.studocu.com/co/document/universidad-santo-tomas-colombia/pavimentos/anexo-b-informe-guia-para-pavimentos/49950161

INVIAS. (2012). *Decreto 630.* Obtenido de https://gerconcesion.co/invias2013/630%20CONCRETO%20ESTRUCTURAL.pdf

INVIAS. (2019). Obtenido de Sección 200: agregados petreos: https://www.umv.gov.co/sisgestion2019/Documentos/APOYO/GLAB/GLAB-DE-002_V1_Normas__Invia_Seccion__200-13.pdf

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2002). *Diseño Y control de mezclas de concreto.* PCA. doi:0-89312-233-5

M. en E. Neftali Toledo, & Diaz de Leon. (15 de Abril de 2019). *Poblacion Y muestra.* Obtenido de Universidad Autonoma del Estado de Mexico: https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf

Matallana Rodríguez, R. (2019). El concreto fundamentos y nuevas tecnologías. En *Cemento Hidraulico* (págs. 31-32). CONCONCRETO. Obtenido de https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf

Molina, C. (15 de Noviembre de 2013). *Patologias de pavimentos rigidos.* Obtenido de https://prezi.com/xk5rtbmhvv43/patologias-de-pavimentos-rigidos/

Murillo, J. (2016). *Métodos de investigación de enfoque experimental.* Obtenido de Google Academico: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55568285/Experimental-libre.pdf?1516242137=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMETODOS_DE_INVESTIGACION_DE_ENFOQUE_EXPE.pdf&Expires=1738004874&Signature=Nkhpbhkrj3hLviueUyWupGl3KxklwIN~pout8c7ZD0bVnOGr5

Norma Tecnica Colombiana . (15 de Enero de 1992). *Slideshare.* Obtenido de NTC 396: https://es.slideshare.net/slideshow/ntc-396/45026034

NTC. (2020). *METROBLOCK*. Obtenido de Especificaciones de los agregados para el concreto: https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-174/

NTC 3357. (22 de Julio de 1992). *scribd*. Obtenido de NTC: https://es.scribd.com/document/381425026/2-NTC-3357-Temperatura-mezcla-pdf

OIKOS CONSTRUCTORA. (06 de Noviembre de 2024). *OIKOS*. Obtenido de La industria de la construccion en Colombia: https://www.oikos.com.co/constructora/noticias-constructora/evolucion-de-la-construccion

PASAIMPER. (2016). *PASA*. Obtenido de Beneficios de los aditivos para el concreto: https://pasaimper.com.mx/beneficios-de-los-aditivos-para-el-concreto/#:~:text=Retardantes%3A%20se%20utilizan%20para%20disminuir,de%20alcanzar%20su%20forma%20endurecida

PSICONCRETO. (28 de Diciembre de 2020). *PSI*. Obtenido de Aditivo para concreto: https://psiconcreto.com/aditivos-para-concreto/

Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto.* ACI- PERU. doi:63290940

Rodriguez Custodio , A. (2018). *Beneficios al incorporar aditivo plastificante e incorporador de aire en el concreto en la ejecucion de proyectos.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/770/1/T026_44883374_T.pdf

Rozas , P., & Sanchez, R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimieno economico.* CEPAL. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/40ddd168-38e6-40e7-acfd-86d0c99c39f8/content

Sánchez Cornelio, S., Salvador Montañez, S., Lii, B., & Paredes Álvarez, F. (2019). *Informe de los tipos de mortero.* Universidad César Vallejo. Obtenido de https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/tecnologia-de-los-materiales/informe-de-morteros/56310947

Secretaria de infraestrutura departamental. (2021). *Plan Regional de infraestructura.* Gobernacion Del Putumayo. Obtenido de https://www.putumayo.gov.co/images/documentos/Planes_y_programas/DOCUMENTO%20PRIIT%20PVD%20PUTUMAYO%2025102021.pdf

Sepulveda Acosta, L. (2023). *Revision bibliografica de la caracterizacion de los aditivos para el concreto de acuerdo a la NTC 1299 del 2008.* Universidad Santo Tomás. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/51290/2023lucassepulveda.pdf?sequence=12

SIKA. (2019). *Concreto aditivos para concretos.* SIKA. Obtenido de https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/7/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO.pdf

Silva, O. J. (17 de Julio de 2021). *360 en concreto ARCOS*. Obtenido de Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezclas del concreto: https://360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto/

Umiri Flores, D. (12 de Octubre de 2020). *Cemento Yura*. Obtenido de Los Aditivos para el concreto: https://www.yura.com.pe/blog/los-aditivos-para-el-

concreto/#:~:text=Los%20aditivos%20son%20qu%C3%ADmicos%20que,del%20uso%20de%20buenos%20materiales

Vivanco Barzola , J. V. (2021). *Evaluacion de la consisencia del concreto con aditivo SIKACEM Plastificante en mezclas secas embolsadas sobre la resistencia del concreto.* Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10525

Yap flores , A., & Sandoval Marichi, J. (2020). *Nivel de incidencia de las patologías del concreto hidráulico de los pavimneto rígidos en la transitabilidad de las vías de la ciudad Picota.* Universidad nacional de San Martin. Obtenido de https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3893