

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Análisis de trabajabilidad/ resistencia/ y costos de mezclas para hormigones de elementos prefabricados con el uso de aditivos


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Civil

Autora:

Magaly Katherine Medina Mejía

Director:

Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco

ORCID:  0000-0002-5797-1153

Cuenca, Ecuador

2024-01-16

Resumen

El presente proyecto se centró en el análisis de diseño de hormigones usados para elementos prefabricados con la implementación de aditivos reductores de agua, para ello se contó con información proporcionada por la fábrica Prefabricados del Cañar Predelca. El caso de estudio nació de la necesidad de definir una dosificación óptima ya que en la actualidad la empresa no cuenta con la misma, pues sus diseños de mezclas son empíricos. Los áridos usados en el diseño de las mezclas fueron debidamente caracterizados los cuales cumplieron con los requisitos planteados en la norma ASTM C33. Se diseñó un hormigón con una sollicitación de 300 kg/cm² de acuerdo a la norma ACI 211.1. En cada diseño se mantuvo la relación agua/cemento y se implementó aditivos con diferentes rangos de reducción de agua partiendo de un rango medio, alto y superplastificante, para lo cual se seleccionó el aditivo Plastocrete 161 HE, Sikament HE 200 y ViscoCrete 4100. Una vez obtenidos los resultados de cada diseño planteado se analizó las propiedades en estado fresco y endurecido, así como el costo por m³ de cada una de las mezclas, llegando a la conclusión que desde el punto de vista económico y de resistencia solicitada la mejor alternativa fue el diseño que contiene en su composición el aditivo ViscoCrete 4100, ya que el precio del m³ de hormigón es de tan solo \$49.59 y sus resistencia a edades tempranas son superiores alcanzando los 225 kg/cm² lo que representa el 75% de la resistencia requerida y al cabo de 28 días supera las sollicitaciones requeridas llegando a ser de 402 kg/cm²

Palabras clave: granulometría, densidad, resistencia a compresión



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The present project focused on the analysis and design of concrete used for prefabricated elements with the implementation of water-reducing additives. The case study arose from the need to define an optimal dosage since the company currently does not have one, as their mix designs are empirical. The aggregates used in the mix designs were properly characterized and met the requirements set forth in ASTM C33. A concrete mix was designed with a stress of 300 kg/cm² according to ACI 211.1. The water-to-cement ratio was kept constant in each design, and additives with different ranges of water reduction were implemented, ranging from medium, high, to superplasticizer. The additives selected were Plastocrete 161 HE, Sikament HE200, and ViscoCrete 4100, respectively, all from the brand Sika.

Once the results of each proposed design were obtained, the properties in the fresh and hardened states were analyzed, as well as the cost per m³ of each mix. It was concluded that from an economic and strength perspective, the best alternative was the design that contained the ViscoCrete 4100 additive in its composition, as the price of the concrete per m³ was only \$49.59 and its early-age strength was superior, reaching 225 kg/cm², which represents 75% of the required strength. After 28 days, it exceeded the required strength, reaching 402 kg/cm².

Keywords: granulometry, density, compression resistance



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

- Capítulo 1 - Introducción. 10
 - 1.1. Antecedentes. 10
 - 1.2. Problema. 11
 - 1.3. Justificación. 12
 - 1.4. Objetivos. 13
 - 1.5. Alcance. 13
- Capítulo 2 - Marco teórico. 14
 - 2.1. Hormigón. 14
 - 2.2.1. Definición. 14
 - 2.2.2. Propiedades del hormigón en estado fresco. 15
 - 2.2.3. Propiedades de hormigón endurecido. 16
 - 2.2. Cemento. 18
 - 2.2.1. Definición. 18
 - 2.2.2. Tipos de cemento. 18
 - 2.3. Agregados. 19
 - 2.3.1. Definición. 19
 - 2.3.2. Tipos de agregados. 19
 - 2.3.3. Propiedades de los agregados. 20
 - 2.4. Aditivo. 26
 - 2.4.1 Definición. 26
 - 2.4.2. Clasificación de aditivos. 26
 - 2.5. Método de diseño ACI 211.1 27
 - 2.6. Análisis de costos de materia prima. 31
 - 2.6.1. Definición. 31
 - 2.6.2. Costos de producción. 31
- Capítulo 3 - Materiales y métodos. 32
 - 3.1. Materiales. 32
 - 3.1.1. Agregados. 32
 - 3.1.2. Cemento. 33
 - 3.1.3. Agua. 34

3.1.4. Aditivos.....	34
3.2. Metodología.....	36
3.2.1. Propiedades de los materiales.....	36
3.2.2. Diseño de las mezclas de hormigón.....	42
3.2.3. Elaboración de mezclas.....	48
3.2.4. Ensayo de muestras.....	53
Capítulo 4 – Análisis de los resultados.....	59
4.1. Caracterización de agregados.....	59
4.1.1. Granulometría.....	59
4.1.2. Densidad relativa, absorción, y humedad.....	60
4.2. Diseño y elaboración de mezclas.....	63
4.2.1. Dosificación muestra patrón.....	63
4.2.1. Dosificación de mezclas con adición de aditivos.....	64
4.3. Propiedades del hormigón en estado fresco.....	65
4.4. Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	66
4.5. Costos de producción.....	67
5.1. Conclusiones.....	70
5.1.1. Conclusiones de caracterización de agregados.....	70
5.1.2. Conclusiones de diseño y elaboración de mezclas.....	71
5.1.3. Conclusiones de propiedades del hormigón en estado fresco.....	71
5.1.4. Conclusiones de propiedades del hormigón endurecido.....	72
5.1.5. Conclusiones de análisis de costos.....	72
5.2. Recomendaciones.....	72
5.2.1. Recomendaciones específicas.....	72
5.2.2. Recomendaciones para futuras investigaciones.....	73
Referencias.....	74
Anexos.....	77

Índice de figuras

Figura 1. Flujograma de diseño de mezclas ACI 211.1,(Tapia, 2018)	30
Figura 2. Composición de Costos de producción, (Costo de Producción, n.d.).....	32
Figura 3. Cemento Holcim Tipo HE (Holcim Ecuador S.A, n.d.)	33
Figura 4. Plastocrete 161 HE, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014a)	35
Figura 5. Sikament HE 200, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014b).....	35
Figura 6. ViscoCrete 4100, (Sika Ecuatoriana S.A., 2015).	36
Figura 7. Granulometría de agregados gruesos	37
Figura 8. Granulometría de agregados finos.	38
Figura 9. Mezcladora de hormigón.....	49
Figura 10. Balanza electrónica.	49
Figura 11. Preparación de la mezcla de hormigón.	50
Figura 12. Colocación de la mezcla en los moldes.	51
Figura 13. Colocación de las muestras en la piscina de curado.	52
Figura 14. Cono de Abrams, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	53
Figura 15. Preparación de los moldes, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	54
Figura 16. Llenado de molde, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	54
Figura 17. Compactación de la mezcla, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	55
Figura 18. Enrasado de la muestra, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	55
Figura 19. Desmolde de la muestra, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	56
Figura 20. Medición de altura de asentamiento, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).	56
Figura 21. Muestras de Cilindros de Hormigón.....	57
Figura 22. Colocación de la muestra en la máquina de ensayo a compresión.....	57
Figura 23. Rotura de cilindro sometido a Fuerza de compresión.....	58
Figura 24. Resultado de Ensayo a Compresión.	58
Figura 25. Curva granulométrica del agregado grueso.	59
Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino.	60
Figura 27. Asentamiento de trabajabilidad de los diseños.	66
Figura 28. Curvas de endurecimiento para hormigones con diferentes aditivos	67

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los agregados según el tamaño, (Hernández, 2010).....	20
Tabla 2. Requisitos de gradación del árido fino, (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011).	21
Tabla 3. Requisitos de gradación del árido grueso, (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011).	21
Tabla 4. Resistencia promedio requerida, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).	28
Tabla 5. Resistencia promedio requerida en términos de control de calidad, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).	29
Tabla 6. Requisitos físicos del cemento Holcim HE, (Holcim Ecuador S.A, n.d.).....	40
Tabla 7. Propiedades de Plastocrete 161 He, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014a).....	40
Tabla 8. Propiedades de Sikament HE 200, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014b).....	41
Tabla 9. Propiedades ViscoCrete 4100, (Sika Ecuatoriana S.A., 2015).	41
Tabla 10. Características técnicas generales de los aditivos.	42
Tabla 11. Asentamiento de hormigón en mm, (Cordero et al., 2018).....	43
Tabla 12. Porcentaje medio de aire atrapado, (Cordero David et al., 2018).	44
Tabla 13. Relación a/c para resistencia media a compresión, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).	45
Tabla 14. Volumen de grava por m ³ de hormigón, (Vásquez, 2019).....	46
Tabla 15. Diseño de mezclas de prueba.....	48
Tabla 16. Etiquetado y Contenido de las mezclas de hormigón.	52
Tabla 17. Resultado de Densidad, absorción y densidad de áridos gruesos kg/cm ³	60
Tabla 18. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos gruesos en g/cm ³	61
Tabla 19. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos finos en kg/m ³	61
Tabla 20. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos finos en g/m ³	62
Tabla 21. Masa Unitaria Agregado Grueso.	62
Tabla 22. Porcentaje de desgaste de áridos gruesos.	63
Tabla 23. Dosificación de muestra patrón para un saco de cemento.....	63
Tabla 24. Dosificación de aditivo y cemento de las muestras manteniendo la relación a/c.	64
Tabla 25. Dosificación de hormigones con porcentajes máximos de aditivos para 1 m ³ de hormigón.....	64
Tabla 26. Tiempo de Control de asentamiento para los diseños de hormigón planteados.	65
Tabla 27. Resultados de los ensayos de compresión del hormigón.....	67
Tabla 28. Precios unitarios de materia prima usado el diseño de hormigón.....	68
Tabla 29. Costo de materia prima para la dosificación de la muestra patrón.	68
Tabla 30. Costo por m ³ de hormigón para cada variación de porcentaje de aditivo.	68
Tabla 31. Resumen comparativo de resistencia, trabajabilidad, y costos de cada diseño.	69

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres, gracias por creer en mí y apoyarme en momentos difíciles. Pues con su esfuerzo y dedicación han hecho posible que logre cumplir con una etapa importante y de manera general a mi familia por su apoyo constante durante este proceso.

Agradecimiento

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al director de este trabajo de investigación Ing. Daniel Mogrovejo por todas sus recomendaciones y predisposición de su tiempo brindado en esta investigación.

A la fábrica Prefabricados del Cañar por haberme abierto las puertas de su empresa y brindado la información necesaria para que el presente trabajo de investigación sea posible realizarlo.

Capítulo 1 - Introducción.

1.1. Antecedentes.

Con el paso del tiempo la Ingeniería ha ido evolucionando lo que ha permitido facilitar los procesos constructivos dentro de la sociedad, un claro ejemplo es la optimización de obras de concreto a través de elementos producidos en una fábrica y trasladados a obra para ser instalados, siendo fundamentales para la construcción de viviendas y edificaciones, sin embargo estos procesos no siempre han sido tan sencillos como en la actualidad, pues se presentaban retos como: prolongados tiempos de fraguado, bajas resistencias a edades tempranas y la dificultad de producción en serie.

En la década de los 60 se empieza a implementar dentro del país el uso de aditivos lo cual daría solución a los problemas presentados con respecto a los tiempos de fraguado, trabajabilidad y resistencia en las mezclas de concreto, sin embargo, el elevado costo que representaba este producto fue la principal desventaja siendo un rubro muy oneroso dentro de los costos de producción. Con el pasar de los años esta problemática fue mejorando ya que aparecieron industrias nacionales capaces de producir y distribuir aditivos de toda índole, logrando con esto que el uso de esta nueva tecnología vaya tomando fuerza. Hoy en día el uso de aditivos es un elemento importantísimo en la fabricación de elementos prefabricados de hormigón pues mejoran las propiedades físicas y mecánicas del hormigón optimizando con ello costos y tiempo de producción.

En nuestro medio esta técnica constructiva es muy empleada en las diferentes fábricas encargadas del diseño y elaboración de elementos prefabricados los cuales son usados en proyectos de alcantarillado, construcción de viviendas, vías, parqueaderos entre otros, esto debido a las ventajas obtenidas desde el punto de vista económico y tiempo de construcción que estos productos ofrecen.

De manera particular existen fábricas encargadas de la producción de este tipo de elementos en las cuales pudimos observar que presentan un sin número de deficiencias en su diseño ya que no cuentan con una dosificación técnica, pues todos sus diseños son realizados de manera empírica basada en la experiencia lograda con el pasar de los años. Según lo observado por saco de cemento los áridos son dosificados mediante carretillas, en cuanto a aditivos se coloca una jarra la cual no cuenta con mediciones específicas y se añade agua poco a poco hasta que la mezcla presente una consistencia semiseca. Se observó también que la materia prima que

utilizan no cuenta con un respaldo de características físico mecánicas, es decir que se desconocen propiedades esenciales para el diseño de las mezclas, provocando que se formule un diseño vago y sin fundamentos técnicos que no cumplen con normativa vigente dentro del país. Por otro lado, existe un control nulo de la capacidad de resistencia a solicitaciones requeridas ya que no se cuenta con un control de calidad del hormigón.

1.2. Problema.

Tras un análisis del sistema de producción de la fábrica pudimos observar que existe una falta de conocimiento y una aplicación errónea de dosificaciones en el diseño de hormigones prefabricados, ya que estos son desarrollados de manera empírica provocando un uso de materia prima excesiva como por ejemplo: la utilización de altas dosificaciones de cemento a pesar de que se emplean aditivos lo que provoca que se eleve el costo de fabricación pues este es el rubro más representativo del diseño, desaprovechando también las bondades que ofrece el aditivo, pues con el uso de este se esperaría un menor número de sacos de cemento por metro cúbico de hormigón lo que evidentemente en estas fábricas no se aplica.

Con respecto al uso de áridos tampoco se lleva un control de calidad adecuado para verificar que estos cumplan con las normativas establecidas en la norma ASTM C33 la cual establece características mínimas que los áridos deben cumplir para ser empleados en la elaboración de hormigones.

Durante el proceso de fabricación el uso de tolvas y dosificadoras mecánicas es fundamental, las cuales requieren una constante calibración ya que en ocasiones se presentan variaciones que provocan una mala dosificación de los áridos, sin embargo, no se realiza una revisión periódica de la maquinaria provocando que la dosificadora en ocasiones descargue mayor cantidad de áridos de la establecida en el diseño, evidentemente esto repercute en la calidad del producto final.

Por otro lado, se puede evidenciar que no siempre se realiza un control periódico de la calidad del hormigón ya sea en estado seco o endurecido, siendo esto necesario para saber si el diseño planteado cumple con las resistencias mínimas o en su defecto también puede darse el caso que se esté sobredimensionando el diseño y se obtenga resistencias muy elevadas en edades muy tempranas del hormigón.

Además, para el diseño planteado en muchos de los casos la cantidad de agua que se proporciona a la mezcla se la realiza de manera empírica por lo que se desconoce la relación agua/cemento con la que se trabaja lo cual influye directamente con la trabajabilidad y resistencia de la mezcla, es decir no se cuenta con un diseño establecido que permita fijar criterios y parámetros idóneos con el objetivo de mejorar resistencias y disminuir costos de producción.

Otro factor importante que se debe tener especial cuidado es el curado del hormigón ya que un deficiente curado provoca la fisuración de los productos lo que se traduce en pérdidas económicas para la empresa.

1.3. Justificación.

Mediante esta investigación se plantea establecer un diseño de hormigón para elementos prefabricados, para lo cual se propone partir de la elaboración de ensayos de laboratorio en donde se determinará las características físicas de la materia prima siendo estos datos de partida para el diseño. Para mejorar el diseño se empleará el uso de aditivos reductores de agua cuya incorporación dentro de la mezcla ayuda a reducir la cantidad de cemento. En el mercado existen aditivos de bajo rendimiento capaces de reducir entre un 5% y 10% de agua, otros en cambio son de nivel intermedio los cuales reducirán entre un 10% y un 25% y existen superplastificantes capaces de reducir hasta un 45% de agua en la mezcla, al mantener la relación agua/cemento constante para todas las mezclas se conseguirá reducir el contenido de cemento lo que disminuiría el costo total por m³ de hormigón pues este es el rubro más significativo en cada diseño sin embargo, también buscará equilibrar el costo de los aditivos pues mientras mayores beneficio se obtenga más costoso será el aditivo es por eso que se pretende analizar todas estas variables de manera de identificar los resultados más favorables desde el punto de vista económico y que por supuesto se cumpla con las resistencias solicitadas. Por otro lado, para mejorar aspectos relacionados con la trabajabilidad se propone realizar el ensayo de cono de Abrams para conocer con certeza la consistencia con la que se está trabajando ya que un hormigón con un buen nivel de trabajabilidad permitirá una adecuada compactación del producto evitando así que queden espacios vacíos y de esta manera se solucionarían los principales problemas que la fábrica está presentando en la actualidad.

1.4. Objetivos.

Objetivo general.

Optimización de hormigones para elementos prefabricados en base a trabajabilidad, resistencia y costos totales.

Objetivos específicos.

1. Caracterización de los agregados naturales usados en la mezcla de hormigón (granulometría, absorción, densidades y abrasión).
2. Elaboración de la mezcla patrón de hormigón usada para elementos prefabricados.
3. Diseño y elaboración de mezcla de hormigones para elementos prefabricados.
4. Análisis de trabajabilidad del hormigón de los diseños propuestos en estado fresco.
5. Establecer un diseño óptimo de hormigón en términos de resistencia a compresión ($f'c$).
6. Determinación de costos de materia prima de cada diseño.
7. Establecer un diseño óptimo en función de propiedades físicas y la alternativa que mayor beneficio económico nos brinde.

1.5. Alcance.

Para el diseño de las muestras los materiales utilizados son:

- Un total de 4055.97 kg de agregado grueso con tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ de la mina VIPESA.
- Un total de 3960.73 kg de agregado Fino de la mina de Cadme Corp.
- Un total de 8.07 kg de aditivos reductores de agua de la marca SIKA.
- Un total de 20 sacos de cemento tipo HE de la casa cementera Holcim.

En la presente investigación se elaboran 4 propuestas de diseño de hormigones bajo los siguientes parámetros:

1. Diseño de la muestra patrón con resistencia de 300 kg/cm² empleando los lineamientos usados por la empresa que nos brindó la información.
2. Diseño de la muestra con resistencia de 300 kg/cm² empleando aditivo 161 HE con porcentaje de reducción de agua del 10%
3. Diseño de la muestra con resistencia de 300 kg/cm² empleando aditivo 200 HE con porcentaje de reducción de agua del 25%.
4. Diseño de la muestra con resistencia de 300 kg/cm² empleando aditivo ViscoCrete 4100 con porcentaje de reducción de agua del 45%

Se empleará el método ACI 211.1 para la realización teórica de las dosificaciones con las variaciones respectivas de porcentajes de aditivo es importante mencionar que la relación agua/cemento es constante en todos los diseños.

Esta investigación propone el uso de tres aditivos: Plastocrete 161 HE catalogado de bajo rendimiento, Sikament HE-200 con un alto rendimiento y ViscoCrete 4100 el cual se lo conoce como superplastificante todos ellos de la marca Sika los cuales realizarán la función de reductores de agua dentro del diseño, sus dosificaciones se establecerán de acuerdo a cada las especificaciones técnicas de cada producto esto con el objetivo de realizar un análisis de las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.

Finalmente, para el presente estudio se consideró la realización de 8 cilindros para cada diseño realizado y determinar si el hormigón diseñado cumple con las solicitudes de resistencia se toma muestras de cilindros de cada diseño para ser sometidas a ensayo al cabo de 3, 7, 14 y 28 días siendo un total de 8 especímenes para cada diseño, con la finalidad de determinar la resistencia a compresión del hormigón y poder así establecer la mejor alternativa de diseño para lo cual no sólo se considerará el factor económico sino también la resistencia a compresión de cada uno de los diseños, así como su trabajabilidad

Finalmente se realizó un análisis en donde se determinó el mejor diseño de mezcla esto en base a los resultados obtenidos de costos, resistencia y trabajabilidad

Capítulo 2 - Marco teórico.

2.1. Hormigón.

2.2.1. Definición.

Según la norma ecuatoriana NTE INEN 694 el hormigón es el resultado de la combinación de áridos ligados mediante un aglutinante, se puede encontrar en diferentes estados ya sea fresco, en proceso de fraguado o en estado endurecido, lo que determina sus propiedades y desempeño (NTE INEN 694: Hormigón y Áridos Para Elaborar Hormigón, 2010).

El hormigón es el resultado de la combinación de cemento, agregado fino, agregado grueso, aire, agua y aditivos, durante su estado fresco tiene una consistencia moldeable la cual al pasar por un proceso de fraguado llega a su estado endurecido adquiriendo la resistencia solicitada (Romero & Hernández, 2014).

En hormigones prefabricados es esencial el uso de aditivos pues su característica principal es alcanzar altas resistencias en edades tempranas lo que por sí solo no lo logra, es por eso la

importancia de la inclusión de compuestos químicos que hagan posible el cumplimiento de estas solicitudes (Chryso Aditivos, n.d.)

2.2.2. Propiedades del hormigón en estado fresco.

El estado fresco del hormigón inicia cuando los materiales como: el cemento, arena y grava entran en contacto con el agua y aditivos, en esta etapa la mezcla es manejable y moldeable. Una vez adicionada agua a la mezcla inicia el proceso de hidratación del cemento, durante este proceso se presenta una consistencia plástica. Posteriormente, se desarrollará el proceso de fraguado y endurecimiento, en el cual adquiere progresivamente las características de sólido (Silva Omar, n.d.).

El hormigón en estado fresco es una masa heterogénea la cual consta de tres fases (*Hormigón Fresco*, 2021):

- Sólido: La fase sólida se da a lugar en la mezcla de áridos y el cementante.
- Líquida: resultado de la inclusión de agua y aditivos a la mezcla
- Gaseosa: durante el amasado de la mezcladora se provoca una inclusión de aire.

El hormigón en estado fresco, acepta desplazamientos y deformaciones por lo que es de suma importancia controlar en el diseño aspectos como la fluidez y consistencia, pues son estos parámetros los que están relacionados con la trabajabilidad del hormigón, cabe mencionar que el estado fresco del hormigón depende de muchos factores como (*Hormigón Fresco: Ventajas, Usos y Composición*, n.d.):

- La relación agua/cemento.
- El grado de hidratación a la hora de su preparación.
- El tamaño de las partículas de arena, grava y áridos.
- El amasado.
- La temperatura.

Entre sus principales propiedades tenemos las más destacadas que se enuncian a continuación (Huiñapi Cesar, n.d.):

- Trabajabilidad.
- Exudación.
- Segregación.

- Tiempo de fraguado.

Trabajabilidad.

Trabajabilidad o docilidad del hormigón es la capacidad que tiene la mezcla para poder ser amasada, transportada, colocada, compactada y desencofrada. Esta propiedad está determinada por la relación agua/cemento de la mezcla, ya que cuanto más fluido es el hormigón mayor será el asentamiento, siendo el asentamiento una medida de consistencia del hormigón. Es por esta razón que la cantidad de agua está directamente relacionada a la trabajabilidad de la mezcla, pues a mayor humedad mayor será la trabajabilidad del hormigón(Hormigón.es, n.d.)

En la actualidad existen varios métodos que nos permiten cuantificar la trabajabilidad del hormigón, sin embargo, el método de cono de Abrams es el más usado, llamado así en honor al investigador Duff Abrams en el siglo XX, este método consiste en determinar el asentamiento de la mezcla colocando la muestra de hormigón en molde cónico de dimensiones normalizadas, el ensayo finaliza cuando al retirar el molde se mide el asentamiento que la masa de hormigón experimenta es importante que el ensayo siga los requerimientos de la norma NTE INEN 1578, basada en la norma ASTM C143 (Crespo Jorge, 2018)

2.2.3. Propiedades de hormigón endurecido.

Las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido dependen de los áridos empleados en el diseño, de la resistencia de la pasta endurecida y la adherencia entre pasta y agregados, lo que también se ve afectado por los procesos de curado. La resistencia está definida como la capacidad que tiene el hormigón de soportar grandes esfuerzos; entre las propiedades del hormigón en estado endurecido tenemos las siguientes (Hernández, 2010)

- Densidad del hormigón.
- Resistencia del hormigón.
- Permeabilidad del hormigón.
- Durabilidad del hormigón.
- Variaciones del volumen del hormigón.

2.2.3.1 Resistencia del hormigón.

La resistencia del hormigón es una de las propiedades más importantes pues esta característica indica si la mezcla cumplirá o no con las sollicitaciones planteadas, la resistencia del hormigón se puede clasificar de la siguiente manera:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la tracción.

De manera particular la resistencia a la compresión del hormigón es aquella propiedad encargada de medir el desempeño de los diseños de concreto mediante la rotura de cilindros realizados en laboratorio o a través de la extracción de núcleos tomados en obra, esta prueba se la realiza empleando una máquina de ensayos a compresión, la resistencia se obtiene dividiendo la carga axial obtenida para el área de la sección transversal de la muestra (ASTM C39, 2010)

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial a muestras de cilindros con una velocidad que varía entre los 0.14 y 0.35 Mpas/s, para medir la resistencia a la compresión es necesario el uso de una prensa la cual aplica carga hasta que el cilindro ceda, generalmente se toma como resistencia máxima a aquella que se obtiene a los 28 días, en nuestro medio se expresa los resultados en kg/cm². A continuación se presenta la ecuación que nos servirá para establecer la resistencia a la cual falla la mezcla (ASTM C39, 2010):

$$f'c = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a compresión del espécimen, en kg/cm².

F = Máxima carga aplicada, en kg.

A = Área de la carga axial del espécimen, en cm².

A continuación, se describe el proceso previo a la realización del ensayo a compresión del hormigón, así como las consideraciones necesarias para que los resultados obtenidos sean confiables y aceptables

Materiales y Equipos

- Máquina de ensayo a compresión debidamente calibrada.
- Moldes de material no deformable.
- Calibrador.
- Balanza.

Procedimiento

Inicialmente se realiza la toma de muestras de cada una de las dosificaciones, para esto se llena las probetas en 3 capas hasta llenar el molde, cada una de las capas debe ser compactada mediante el método de varillado en donde se aplica 25 golpes distribuidos uniformemente, esto con la finalidad de evitar que se presenten espacios vacíos y finalmente se enrasa la probeta con ayuda de la varilla y se deja la superficie lo más lisa posible (ASTM C39, 2010)

Los especímenes se llevan a zona de curado hasta que alcanza la etapa de endurecimiento para su posterior desmolde y colocación de las muestras en la piscina de curado. A continuación, se toman datos del cilindro como: peso, longitud, y diámetro. Finalmente se emplea una prensa especial en la cual se colocará la muestra de tal manera que esta se encuentre centrada, por otro lado, la placa superior debe estar en contacto con la muestra y el indicador de deformación debe estar en cero, al dar inicio el cilindro va recibiendo presión la cual incrementa conforme avanza el tiempo, hasta su posterior rotura o fisuración es aquí en donde termina el ensayo (ASTM C39: Determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto, 2010).

2.2. Cemento.

2.2.1. Definición.

El cemento es un compuesto en forma de polvo fino cuya principal función es la de aglutinante dentro de la mezcla de hormigón, pues al combinarse con agua este es capaz de unir fuertemente materiales pétreos. Su capacidad aglutinante hace que sean el principal material dentro del sector de la construcción (Ferrovia, n.d.).

Según la norma NTE INEN 151 se define como cemento hidráulico a aquel que al incluir agua este se hidrata y reacciona con sus componentes químicos desencadenando el proceso de fraguado y posterior a ello se presenta el endurecido de mezcla de hormigón (NTE INEN 0151: Cemento Hidráulico., 2010).

2.2.2. Tipos de cemento.

Según la norma NTE INEN 2380 el cemento hidráulico se clasifica en (NTE INEN 2380: Cementos Hidráulicos., 2011):

- Tipo GU: Para construcción en general, no requiere propiedades especiales.
- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.

- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.

2.3. Agregados.

2.3.1. Definición.

Los agregados pétreos son materiales granulares que surgen de la desintegración natural o artificial de roca, que al combinarse con materiales cementantes logran formar una mezcla resistente y duradera (Briones & Mora, 2022).

La norma NTE INEN 1872 es la encargada de regular aspectos de granulometría y calidad, características esenciales para usarlos en el diseño de hormigón (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011).

2.3.2. Tipos de agregados.

Los agregados dentro de la elaboración y diseño de hormigones son de gran importancia ya que de su correcta selección depende la durabilidad y resistencia que este pueda tener a corto y largo plazo. De manera general existen varias maneras de clasificar a los áridos, para el diseño de hormigones la forma más común de clasificarlos es por su tamaño de agregados, esta metodología consiste en identificar las dimensiones de las secciones transversales, los tamaños pueden variar desde milímetros a centímetros (Vásquez, 2019).

Según este tipo de clasificación se puede identificar áridos fino y áridos gruesos:

Árido grueso: Según NTE INEN 694 un árido grueso es aquel en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4) (Vásquez, 2019).

Árido fino: Según NTE INEN 694 se define como árido fino a aquel que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y que la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ m (No. 200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 μ m (No. 200) (Vásquez Pablo, 2019).

De acuerdo a la siguiente tabla se puede observar una clasificación con una denominación más común para cada tipo de agregados.

Tabla 1. Clasificación de los agregados según el tamaño, (Hernández, 2010).

Tamaño (mm)	Denominación	Clasificación
< 0.002	Arcilla	Fracción muy fina
0.002 - 0.074 (No. 200)	Limo	
0.074 - 4.76 (No. 200- No. 4)	Arena	Agregado fino
4.76 - 19.1 (No. 4 -3/4")	Gravilla	Agregado grueso
19.1 -50.8 (3/4" - 2")	Grava	
50.8 - 152.4 (2"-6")	Piedra	
>152.4 (6")	Rajón, Piedra bola	

2.3.3. Propiedades de los agregados.

- **Granulometría.**

Un análisis granulométrico es el proceso mediante el cual se conoce la distribución de áridos en base al tamaño de los agregados dado por una serie de tamices normados por NTE INEN 696 (ASTM C33), siendo esta característica de suma importancia ya que nos permite identificar áridos aptos para realizar el diseño de hormigones (Carrión & Guambaña, n.d.).

Según NTE INEN 696 el método de ensayo consiste en separar por tamaño a los agregados a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, para esto la masa de la muestra debe ser conocida y encontrarse en condiciones secas. De este ensayo se obtiene su respectiva curva granulométrica siendo esta una herramienta importante para la identificación de una buena o mala gradación del agregado, de esta característica depende que el árido sea considerado o no como apto para el diseño de hormigones (NTE INEN 696: Áridos, 2011).

Tanto el árido fino como el árido grueso deben cumplir con requisitos granulométricos los cuales abarcan un límite superior e inferior, en base a la normativa NTE INEN 872, un árido fino debe encontrarse entre los siguientes límites:

Tabla 2. Requisitos de gradación del árido fino, (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011).

Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 -100
2.36 mm	80 -100
1.18 mm	50 -85
600 um	25 - 60
300 um	10 - 30
150 um	2 - 10

Según NTE INEN 872 un árido fino que no cumpla con estos límites no podrá ser considerado en el diseño de hormigones pues es probable que presente problemas de trabajabilidad, bombeo o exudación excesiva. Por otro lado, en el caso de áridos gruesos debe cumplir con los siguientes requisitos de gradación (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011):

Tabla 3. Requisitos de gradación del árido grueso, (NTE INEN 872: Áridos Para Hormigón, 2011).

Tamiz INEN (aberturas cuadradas mm)	Porcentaje en masa que debe pasar por los tamices INEN para ser considerado como arido grueso									
	90-37.5 mm	63-37.5 mm	53-4.75 mm	37.5-4.75 mm	26.5-4.75 mm	19-4.75 mm	13.2-4.75 mm	9.5- 4.75 mm	53 -26.5 mm	37.5-19 mm
106	100									
90	90-100									
75		100								
63	25-60	90-100	100						100	10
53		35-70	95-100	100					90-100	90-100
37.5	0-15	0-15		95-100	100				35-70	20-56
26.5			35-70		95-100	100			0-15	0-15
19	0-5	0-5		35-70		90-100	100			
13.2			10-30		25-60		90-100	100	0-5	0-5
9.5				10-30		20-55	40-70	85-10		
4.75			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30		
2.36					0-5	0-5	0-5	0-10		
1:18								0-5		

- **Densidad relativa.**

La densidad relativa es una propiedad definida en función de la relación de masa por unidad de volumen, permite identificar el volumen que los áridos ocupan dentro de la mezcla diseñada siempre y cuando se cuente con un análisis basada en volumen absoluto siendo un parámetro

importante en el diseño de hormigones, la densidad aparte es el parámetro más importante en el diseño de las mezclas de hormigón, pues considera que los vacíos interiores del árido ocupan un volumen en el diseño de la mezcla esto nos ayuda a establecer el volumen de árido que se requiere por metro cúbico del diseño (Vásquez, 2019).

Para la realización del ensayo de densidad relativa se siguen las recomendaciones establecidas en la normativa NTE INEN 857 para agregado grueso (NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso., 2010)

Densidad Relativa (SH): Determina la densidad del árido en condición seca al horno:

$$\text{Densidad Relativa (SH)} = \frac{997.5 * A}{B - C} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno (g).

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca (g).

C = masa aparente en agua de la muestra saturada (g).

Densidad relativa saturado superficialmente seco (SSS): Calcula la densidad del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad Relativa (SSS)} = \frac{997.5 * B}{B - C} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca (g)

C = masa aparente en agua de la muestra saturada (g)

Densidad relativa aparente es la masa sobre la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo sus poros permeables e impermeables.

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{997.5 * A}{A - C} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno (g).

C = masa aparente en agua de la muestra saturada (g).

Para agregado fino se determina la densidad por el método volumétrico, se toma las consideraciones dispuestas en la normativa NTE INEN 856 (NTE INEN 856: Áridos. Determinación de La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Fino, 2010).

Densidad Relativa (SH)

$$\text{Densidad Relativa (SH)} = \frac{S1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0.9975(R2 - R1)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno (g)

R1= lectura inicial del nivel de agua (cm³)

R2= lectura final del nivel de agua (cm³)

S= masa para la absorción (g)

S1= masa inicial (g)

Densidad relativa saturado superficialmente seco (SSS)

$$\text{Densidad Relativa (SSS)} = \frac{S1}{0.9975(R2 - R1)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

R1= lectura inicial del nivel de agua (cm³)

R2= lectura final del nivel de agua (cm³)

S1= masa inicial (g)

Densidad relativa aparente

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{S1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0.9975(R2 - R1) * \left[\left(\frac{S1}{S}\right) * (S - A)\right]} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno (g)

R1= lectura inicial del nivel de agua (cm³)

R2= lectura final del nivel de agua (cm³)

S= masa para la absorción (g)

S1= masa inicial (g)

- **Absorción.**

La absorción está definida como el aumento de la masa del árido provocado por el ingreso de agua en los poros expresada en porcentaje. Este parámetro nos indica que tan poroso es el material con el que se está realizando el diseño, ya que a mayor porosidad se esperaría menor resistencia mecánica de los agregados (Fierro & Asitimbay, 2019).

La absorción recomendada para agregados finos está en un rango de 0% a 4% mientras que para agregados gruesos se espera que la absorción se encuentre entre valores de 0% a 5% (Kosmatka Steven H, 2016).

Para la obtención de absorción de calcula empleando la siguiente ecuación tanto para agregado grueso como para agregado fino:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca (g).

B = masa en aire la muestra saturada superficialmente seca (g).

C = masa aparente en agua de la muestra saturada (g).

- **Humedad.**

Este parámetro se lo determina mediante un ensayo normado según NTE INEN 862, consiste en tomar una muestra representativa del árido en estado natural, para posteriormente secar la muestra en un recipiente que se coloca en el horno normado, ésta se secará a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante (24 horas por lo general), posterior al secado, se pesa la muestra una vez que su temperatura sea manejable. De acuerdo al numeral 5.4.4 de la norma,

dice que, “La muestra está completamente seca cuando un mayor tiempo de calor ocasiona, o puede ocasionar, una pérdida adicional de masa menor al 0.1% (NTE INEN 862: Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total de Humedad., 2011).

Una vez realizado el ensayo se obtienen los datos de partida con los que se puede calcular la humedad de los áridos mediante la siguiente ecuación (NTE INEN 862: Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total de Humedad., 2011):

$$\% \text{ Humedad} = \frac{100(W - D)}{D} * 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W: Masa de la muestra natural (g).

D: Masa de la muestra seca (g)

- **Degradación del árido grueso.**

Este ensayo permite determinar el porcentaje de desgaste de los áridos mediante el uso de la máquina de los ángeles con velocidad y tiempo normados según la norma NTE INEN 860 esta prueba se basa en determinar la degradación del árido con el que se cuenta, basándonos en la granulometría de los agregados esto para determinar el número de esferas usadas en el ensayo. El material ensayado se retira de la máquina y lavamos sobre el tamiz N.º 12. Finalmente, se lo seca al horno por 24 horas y se pesa el material (NTE INEN 0860: Áridos. Determinación Del Valor de La Degradación Del Árido Grueso de Partículas Menores a 37,5 mm Mediante El Uso de La Máquina de Los Ángeles, 2011).

El objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje de degradación del agregado grueso mediante la Ecuación 10:

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{Pa - Pb}{Pa} * 100 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Pa = Masa de muestra seca antes de colocar en la máquina de los Ángeles (g).

Pb = Masa de la muestra seca retenida en el tamiz No. 12 (g).

2.4. Aditivo.

2.4.1 Definición.

Son sustancias químicas usadas con el objetivo de modificar las propiedades del hormigón, la efectividad del aditivo depende del tipo de cemento, cantidad de agua, temperatura del ensayo. Generalmente un hormigón con aditivo es más durable y resistente que un hormigón normal (Rubio, 2007).

2.4.2. Clasificación de aditivos.

De acuerdo la norma ASTM C494-05 los aditivos pueden ser clasificados según sus funciones como sigue (ASTM C494-05: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, 2005):

Tipo A: Aditivos reductores de agua.

Tipo B: Aditivos retardadores.

Tipo C: Aditivos aceleradores.

Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardadores.

Tipo E: Aditivos reductores de agua y aceleradores.

Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango.

Tipo G: Aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores.

Tipo S: Aditivos de desempeño específico.

- **Plastificantes.**

Llamados también reductores de agua, el uso de este tipo de plastificantes incrementa la manejabilidad al dispersar las partículas de cemento evitando que estas se aglutinen, logrando así mayor fluidez en la mezcla, esto permite reducir la cantidad de agua logrando la reducción de la segregación de áridos, incremento de las resistencias y reducción de la permeabilidad (Rubio, 2007)

- **Reductores de agua de bajo rango.**

Generalmente este tipo de aditivos permite reducir un porcentaje de agua que va entre 5% hasta un 10% y son empleados cuando se requiere que la mezcla tenga una determinada consistencia,

tal es el caso de ciertos productos que requieren consistencia seca durante sus procesos de fabricación (Hormigón al Día, 2020)

- **Reductores de agua de medio rango.**

Empleados desde 1984 proporcionan una reducción de agua entre 10% y 25% generalmente estos aditivos se los usa para concretos cuyo asentamiento es de hasta 20mm ya que estos aditivos tienen la propiedad de reducir la viscosidad de la mezcla y con eso mejorar la trabajabilidad del hormigón (Fernández, 2017).

- **Reductores de agua de alto rango.**

Son aditivos de alto efecto producen el mismo efecto que un aditivo reductor de agua normal, pero con la ventaja de mostrar resultados más eficientes. Los aditivos de alto rango tienen la capacidad de reducir grandes cantidades de cemento de la mezcla y presentar elevadas resistencias generalmente pueden reducir hasta un 45 % de agua considerando un correcto curado cuando se emplea este tipo de productos pues podría presentarse la aparición de fisuras por su rápida retracción (Rivera, 2022).

2.5. Método de diseño ACI 211.1

El diseño de mezclas de hormigón consiste en obtener la combinación más adecuada de cemento, áridos, agua, y aditivos de manera que la mezcla sea la más eficiente tanto en términos de durabilidad y economía. Para el diseño de las mezclas de hormigón se empleó el método ACI 211.1 publicada en el año 1991, este método básicamente tiene como requisito que los áridos empleados cumplan con las recomendaciones granulométricas establecidas en la norma ASTM C33 (Vásquez, 2019).

El diseño inicia con la etapa de concreto fresco esto se da cuando se combinan la materia prima del hormigón cuyos porcentajes dependerá de sus características físicas y mecánicas establecidas en los ensayos de laboratorio, para hormigones prefabricados en estado endurecido se busca alcanzar altas resistencias en poco tiempo (Vásquez, 2019).

Considerando que inicialmente es necesario tener como datos preliminares las propiedades del cemento y agregados a usar, así como establecer la resistencia que se desea alcanzar para el diseño del hormigón transcurridos los 28 días, para aplicar este método de dosificación los datos necesarios son los siguientes (Briones & Mora, 2022):

- Granulometría de los áridos.

- Módulo de finura de los áridos.
- Masa unitaria del árido grueso seco y compactado con varilla.
- Gravedad específica de los áridos.
- Absorción y la humedad.
- Densidad específica del cemento asumidos de los datos técnicos proporcionados por el fabricante.

Este método parte de la determinación de la resistencia promedio requerida denominada f'_{cr} , la cual está en función de la resistencia a la compresión del concreto a utilizar en el diseño. La resistencia promedio se puede calcular en base a (Civil Engineering Tutoriales, 2016):

1. Cuando se cuenta con la desviación estándar.

$$f'_{cr} = f'c + 1.33xS \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33xS \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Donde:

f'_{cr} = Resistencia promedio requerida kg/cm^2 .

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto kg/cm^2 .

S = Desviación estándar.

2. Cuando no se cuenta con registro de resistencia de probetas correspondientes a diseños anteriores.

Tabla 4. Resistencia promedio requerida, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).

$f'c$	f'_{cr}
Menos de 210	$f'c + 70$
210 - 350	$f'c + 84$
Mayor 350	$f'c + 98$

3. Teniendo en cuenta el control de calidad de obra.

Tabla 5. Resistencia promedio requerida en términos de control de calidad, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).

Nivel de control	f'_{cr}
Regular a malo	$1.3f'_{c}$ a $1.3f'_{c}$
210 - 350	$1.2f'_{c}$
Mayor 350	$1.1f'_{c}$

A continuación, se presenta el siguiente flujograma a seguir para determinar las cantidades de los componentes para el diseño del hormigón, esto según el método ACI 211.1 el cual usa tablas y datos empíricos para lograr la mejor estimación de una dosificación óptima. De acuerdo a Figura 1 el procedimiento a seguir para la elaboración de la mezcla es el siguiente:

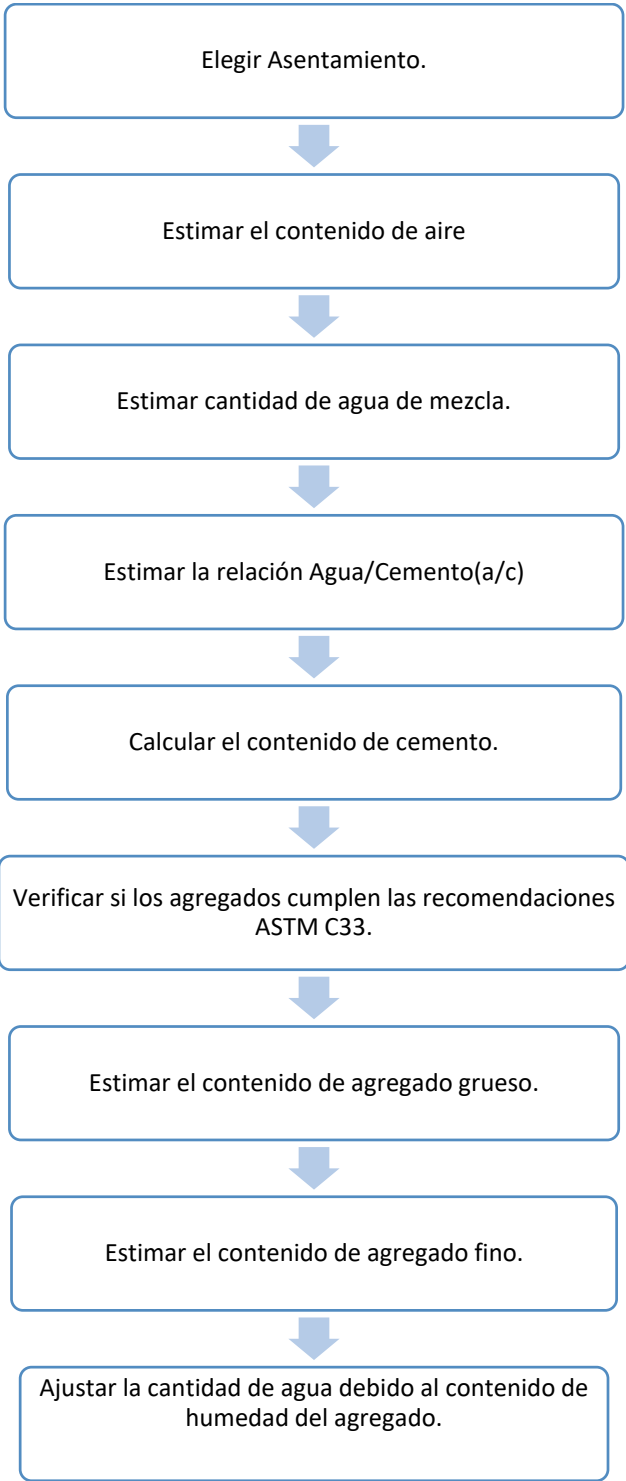


Figura 1. Flujograma de diseño de mezclas ACI 211.1,(Tapia, 2018)

2.6. Análisis de costos de materia prima.

2.6.1. Definición.

Los costos se definen como la cantidad de recursos usados en la fabricación de un producto terminado representados en términos monetarios, entre los recursos se consideran: materia prima, mano de obra, salarios, equipos, maquinaria. La determinación de costos de producción es de vital importancia ya que desde el punto de vista económico es un indicador clave de la rentabilidad de un producto terminado (Sandoval Johana, 2019).

Un análisis de costos consiste en realizar un desglose de todos aquellos rubros que intervienen en la elaboración de un producto o servicio, identificando cada uno de los materiales y equipos a utilizarse, generalmente en el sector de la construcción se realiza un Análisis de Precios Unitarios conocido por sus abreviaturas como APU esta técnica de cálculo considera 3 variables importantes tiempo, alcance y costo (INTERPRO, 2021).

2.6.2. Costos de producción.

Los costos de producción se dividen en:

- **Materia Prima:** Son todos aquellos materiales en estado natural o fabricados que serán sometidos a transformación con el objetivo de fabricar un producto nuevo, estos materiales se pueden identificar y cuantificar (Costo de Producción, n.d.).
- **Mano de Obra:** Esfuerzo humano que hace posible la elaboración de productos (Costo de Producción, n.d.).
- **Gastos indirectos de fabricación:** Son aquellos gastos que se presentan durante la manufactura de las materias primas, estos rubros son difíciles de cuantificar en su totalidad por lo que generalmente se realiza una estimación representada en forma de porcentaje (Costo de Producción, n.d.).

Los costos de producción tienen una composición la cual se presenta a continuación:

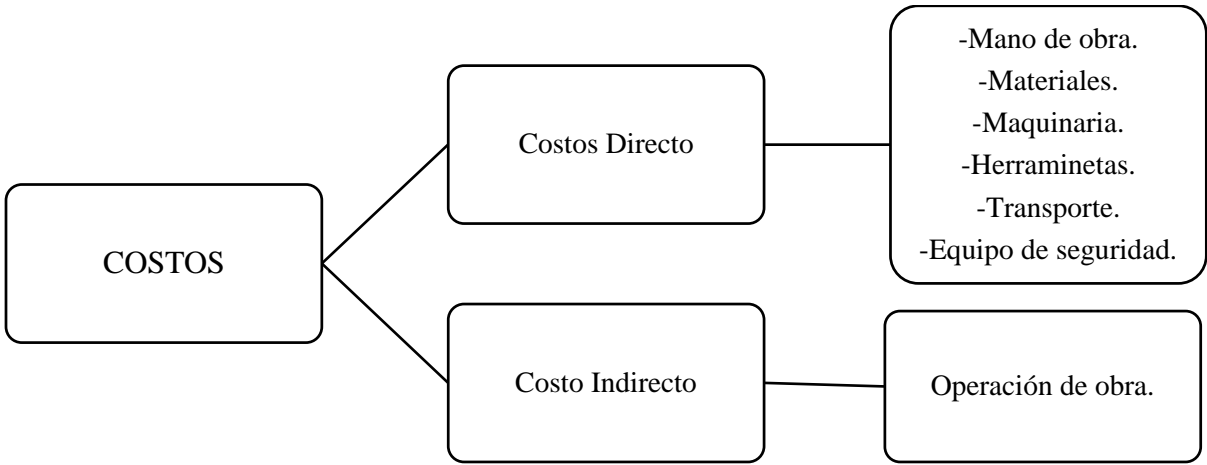


Figura 2. Composición de Costos de producción, (Costo de Producción, n.d.).

Los costos directos son aquellos recursos que intervienen tangiblemente durante en el proceso de conversión de materia prima en producto terminado entre los rubros relacionados se encuentra la materia prima, mano de obra y maquinaria. Por otro lado, los costos indirectos son el resultado de alguna eventualidad de naturaleza intrínseca, cabe mencionar que para el cálculo de costos únicamente se consideran los rubros relacionados los costos directos (Costo de Producción, n.d.).

Capítulo 3 - Materiales y métodos.

3.1. Materiales.

3.1.1. Agregados.

Los agregados naturales usados en el presente trabajo tanto grueso como fino provienen de las minas de Vipesa y Cadme Corp respectivamente.

Vipesa es una empresa ubicada en el sector del Descanso encargada de proveer agregado grueso triturado, la materia prima proviene de una cantera ubicada en el cantón Paute, el árido utilizado por la empresa es el ripio ¾ como razón por la cual para la realización de los diseños se emplea el mismo material. Es importante trabajar con áridos de buena calidad, limpios y libres de impurezas ya que para formar parte de la mezcla de hormigón deben ser partículas duras, resistentes, de textura y forma adecuada (Briones & Mora, 2022).

El agregado fino que se utiliza en los diseños es arena de río que proviene de un proceso de cribado, de ahí que, las partículas presentan una forma redondeada. Es proporcionada por la

empresa Cadme Corp la cual está ubicada en ubicada en la parroquia Cochancay, perteneciente a la provincia de Cañar (Garzón & Godoy, 2019).

Características de los áridos

- Agregado grueso: Tamaño máximo nominal (TMN) = 19 mm (3/4")
- Agregado fino: Módulo de Finura (MF) = 2.88

3.1.2. Cemento.

Para la realización de las probetas de hormigón se usó cemento hidráulico Holcim Tipo HE que por sus siglas en inglés "high early-strength" lo que significa alta resistencia temprana, este cemento es fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, que equivale a la Norma ASTM C 1157, siendo estas las normas que controlan los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos. Este cemento tiene la característica principal de alcanzar altas resistencias iniciales y de manera general presenta mejores resistencias a cualquier edad del hormigón en comparación a los cementos tradicionales, cuenta con el certificado de conformidad con el sello de calidad INEN, garantizando su excelencia. Además, cuenta con las certificaciones internacionales de calidad ISO 9001:2008, medio ambiente ISO 14001:2004 y seguridad y salud ocupacional OHSAS 18001:2007 (Holcim Ecuador S.A, n.d.)

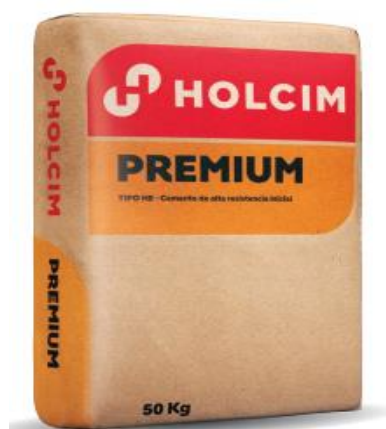


Figura 3. Cemento Holcim Tipo HE (Holcim Ecuador S.A, n.d.).

Composición

El cemento Holcim Premium Tipo HE está compuesto de clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales (Holcim Ecuador S.A, n.d.).

Usos

- Sistemas Industrializados de vivienda
- Estructuras masivas
- Obras portuarias
- Pavimentos
- Puentes
- Elementos prefabricados

Beneficios

- Altas resistencias en toda edad del hormigón.
- Mejor trabajabilidad
- Reduce la segregación y exudación.
- Buen desempeño de fraguado.
- Economía del consumo de cemento por metro cúbico de concreto.
- Desencofrado rápido.

3.1.3. Agua.

Para el proceso de elaboración de los diseños de hormigón se empleó agua potable de tal manera de garantizar la inexistencia de sustancias dentro de esta que puedan afectar con la resistencia y durabilidad de los diseños. El agua potable es servida a la ciudad de Cuenca por la empresa ETAPA EP, que garantizan su calidad y potabilidad, por lo tanto, bajo la normativa NEC 2015, es apta para la elaboración y curado de hormigones (Vásquez, 2019)

3.1.4. Aditivos.

Para la elaboración de los diseños se usaron 3 aditivos reductores de agua marca Sika, cada uno de ellos con diferente porcentaje de reducción, para lograr una mejor comparación se optó por emplear aditivos de la misma marca.

- **Plastocrete 161 HE:** es un aditivo líquido, reductor de agua y acelerante de resistencias, cumple la norma ASTM C-494. Puede lograr una reducción de agua entre un 5% a 10%, como principal ventaja es que el uso de este aditivo permite alcanzar altas resistencias a edades tempranas del hormigón, así como un se obtiene un rápido desencofrado, lo que en el diseño de elementos prefabricados es de vital importancia (Sika Ecuatoriana S.A., 2014a)



Figura 4. Plastocrete 161 HE, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014a)

- **Sikament HE-200** es un aditivo líquido, reductor de agua y acelerante de resistencias. Puede lograr una reducción de agua entre un 10% a 25%, como principal ventaja es que el uso de este aditivo permite alcanzar altas resistencias a edades tempranas del hormigón conduce a una mejor dispersión del cemento en la mezcla lográndose una excelente consistencia plástica sin pérdida de cohesividad (Sika Ecuatoriana S.A., 2014b).



Figura 5. Sikament HE 200, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014b)

- **ViscoCrete 4100** es un aditivo reductor de agua de alto rango con grandes dosificaciones es capaz de lograr deducir hasta un 45% de agua, este aditivo proporciona una excelente trabajabilidad y cohesión en la mezcla de hormigón (Sika Ecuatoriana S.A., 2022).



Figura 6. ViscoCrete 4100, (Sika Ecuatoriana S.A., 2015).

3.2. Metodología.

Para la elaboración de diseño de mezclas de hormigón es necesario determinar las cantidades exactas de la materia prima que intervienen en el proceso, con el objetivo de conseguir la mezcla ideal la cual cumpla con las exigencias de trabajabilidad, compacidad y resistencia, es necesario seguir ciertos procedimientos entre ellos ensayos previos de los áridos para conocer sus propiedades físicas y establecer las futuras incidencias que estos podrían conllevar dentro de la mezcla, entre los procedimientos a realizar están los siguientes:

1. Propiedades de los materiales.
2. Diseño de las mezclas.
3. Elaboración de las mezclas.
4. Ensayo de las muestras.

3.2.1. Propiedades de los materiales.

En el siguiente apartado se realizó los ensayos necesarios previos al diseño de la mezcla los mismos que servirán para determinar las características físicas de los materiales empleados dentro de los diseños ya que con estas podremos establecer las posibles incidencias de cada uno de los agregados dentro del diseño.

Debido a que en la empresa Predelca no se cuenta con un laboratorio dentro de sus instalaciones estos fueron realizados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca

3.2.1.1. Áridos.

Para el diseño de las mezclas de hormigón se utilizó agregado grueso tipo grava, así como agregado fino tipo arena, para los cuales fue necesario realizar ensayos de laboratorio que nos ayudaron a identificar sus respectivas características mecánicas.

Los proveedores de los áridos en este caso de estudio son Vipesa y Cadme Corp, pues son estas dos empresas las encargadas de dotar de materia prima a la fábrica, es importante destacar que la calidad de los áridos es de suma importancia ya que esta nos ayudará a lograr las solicitudes de trabajabilidad y resistencias requeridas.

- **Granulometría.**

El ensayo granulométrico consiste en cribar los áridos mediante tamices de diferentes tamaños de malla los cuales son regulados por la normativa NTE INEN 696 cuya referencia es la norma internacional ASTM C33. Se debe preparar la muestra sometida a ensayo dejando secar al horno durante 24 horas hasta alcanzar masa constante. Para el caso de áridos gruesos se empleó 5 kg de muestra y se colocó durante 5 minutos en la máquina vibradora transcurrido ese tiempo se procede a tomar los diferentes pesos retenidos en cada tamiz (NTE INEN 696: Áridos, 2011).



Figura 7. Granulometría de agregados gruesos

Para el caso de los áridos finos se realiza el mismo procedimiento con la excepción de que el tamaño de la muestra fue de 500 g usando los tamices N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N o 50, N° 100 y N° 200 (NTE INEN 696).



Figura 8. Granulometría de agregados finos.

- **Densidad relativa.**

Densidad del árido grueso.

Para la realización de este ensayo se siguen los lineamientos presentados en la normativa NTE INEN 857, aquí se especifica la cantidad y la preparación previa de la muestra, así como los equipos que se utilizan durante el ensayo.

Densidad del árido fino.

Para la determinación de la densidad de árido fino se la realiza mediante el método gravimétrico de acuerdo a las especificaciones de la Norma NTE INEN 856, la preparación previa de la muestra consiste en saturar completamente la muestra, para lo cual es necesario dejarla sumergida en agua durante 24 horas, a continuación, se siguen con lo dispuesto en la normativa para obtener los resultados esperados de densidad para áridos finos.

- **Absorción.**

Este parámetro es de vital importancia en el diseño de hormigones pues el cálculo de este porcentaje se emplea en la corrección de humedad de la mezcla de tal manera de asegurar la resistencia deseada en el diseño de hormigones. Este parámetro es calculado mediante la Ecuación 8 del presente documento.

- **Humedad.**

Este parámetro se calcula siguiendo la Ecuación 9 del presente documento, esta característica es de suma importancia ya que permite ajustar el contenido de agua para el diseño de las muestras

3.2.1.1.4. Degradación del agregado grueso.

El ensayo de Degradación del Árido conocido también como ensayo de Máquina de los Ángeles, consiste en someter los áridos gruesos de partículas menores a 37.5mm a un proceso de desgaste de material mediante el uso esferas de acero esto con el propósito de determinar la capacidad de desgaste que el material puede soportar y de acuerdo a estos valores se podrá establecer si es apto o no para el diseño de hormigones, ya que si presenta altos porcentajes de desgaste los áridos se descartan para ser implementados en la mezclas de concreto pues afectaría directamente la durabilidad y resistencia del diseño (Vásquez, 2019).

Es necesario conocer la granulometría del árido grueso con el objetivo de establecer la gradación del árido, en base al tipo de graduación tenemos determinado el número de esferas y una masa abrasiva. Luego ingresamos la muestra a la máquina de la cual gira 500 veces con un a velocidad de 33 rev/min, finalmente se retira la muestra de la máquina y se lava y pasa por el tamiz 12 y se deja en el horno durante 24 horas hasta llegar a una masa constante pesamos la muestra ya seca y determinamos el porcentaje de desgaste aplicando la Ecuación 10 (Vásquez, 2019).

3.2.1.2. Cemento.

Para la realización de las diferentes mezclas de hormigón se empleó el uso de cemento Holcim HE, esto debido a que la fábrica usa este tipo de cemento para sus productos pues mencionan que con el paso del tiempo ha podido llegar a la conclusión que este tipo de cemento tiende a alcanzar altas resistencias en menor tiempo en comparación con otros tipos de cemento e inclusive con los cementos del mismo proveedor.

Requisitos Físicos.

A continuación, en la Tabla 6 podemos observar los diferentes requisitos físicos que este tipo de cemento cumple en comparación a la norma INEN 2380.

Tabla 6. Requisitos físicos del cemento Holcim HE, (Holcim Ecuador S.A, n.d.)

Descripción	INNEN 2380	Valor Referencial Holcim Premium
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	-0.02
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	130
Inicial, no más de, minutos	420	
Contenido de aire mortero, en volumen, %	-	5
Resistencia a la compresión, mínimo Mpa		
1 día	12	14
3 días	24	27
7 días	-	34
28 días	-	42
Expansión en barras de morteros 14 días, % max	0.02	0.002
Resistencia a sulfatos, 6 meses	-	-

3.2.1.2. Aditivos

Plastocrete 161 HE

Tabla 7. Propiedades de Plastocrete 161 He, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014a).

Datos técnicos	
Apariencia y Color	Líquido ámbar oscuro.
Densidad	1,10 kg/dm ³
Aplicación	La dosificación varía entre 0.2% y el 2.5% del peso del cemento.
Método de Aplicación	Agregar al agua de amasado en forma manual o por medio de un dosificador.
Recomendaciones	Evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Usar guantes de goma y anteojos de seguridad. Lavarse las manos después de su uso y antes de ingerir alimentos.

- **Sikament HE-200**

Tabla 8. Propiedades de Sikament HE 200, (Sika Ecuatoriana S.A., 2014b)

Datos técnicos	
Apariencia y Color	Líquido ámbar oscuro.
Densidad	1.2 kg/l. aprox.
Aplicación	Para elaboración de hormigón de buena plasticidad y alta resistencia inicial dosificar entre 0,5% y el 2,5% del peso del cemento.
Método de Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de muy buena distribución granulométrica. • Es compatible con aditivos incorporadores de aire. • Dosificar por separado en el agua de amasado de la mezcla.
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> • No debe combinarse con aditivos expansores o compensadores. • Usarlo en hormigón con temperatura entre 5°C y 20°C para ser transportado a largos trayectos. • La temperatura del hormigón fresco en el momento del vaciado, no debe ser inferior a 5°C ni mayor a 32°C.

- **ViscoCrete-4100**

Tabla 9. Propiedades ViscoCrete 4100, (Sika Ecuatoriana S.A., 2015).

Datos técnicos	
Apariencia y Color	Líquido traslúcido
Densidad	1.1 g/cc aprox.
Aplicación	Dosis recomendada entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento.

Método de Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar directamente a la mezcla fresca de hormigón en el mixer y dejar mezclándose por lo menos 60 segundos.
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación suficiente. • Evitar el contacto con ojos y piel.

En las Tabla 7, Tabla 10, Tabla 9, y Tabla 10 se puede observar las principales características de cada uno de los aditivos, como el tipo, usos y sus respectivos porcentajes de reducción de agua, como habíamos mencionado para la presente investigación se tomará los máximos porcentajes de reducción esto con el propósito de determinar el máximo potencial que se puede obtener de cada uno de ellos

Tabla 10. Características técnicas generales de los aditivos.

Aditivo	Tipo	Usos	% Reducción de agua min	% Reducción de agua max	Norma
161 HE	E	Reductor de agua	5	10	ASTM C-494
HE 200	F	Superplastificante	10	25	ASTM-C 494
Viscocrete 4100	F	Hiperplastificante	15	45	ASTM-C 494

3.2.2. Diseño de las mezclas de hormigón.

Partimos del cálculo de la resistencia promedio requerida, en el presente caso de estudio no se cuenta con registro de resistencia de probetas anteriores, sin embargo, la resistencia solicitada por la fábrica es de 300 kg/cm², según la Tabla 4 calculamos un valor de f'_{cr} de 384 kg/cm² siendo esta la resistencia usada para cálculos del diseño.

De acuerdo al flujograma descrito en Figura 1 del presente texto tenemos el siguiente procedimiento.

1. Elegir el asentamiento.

El asentamiento es un indicador del estado de consistencia del hormigón esta variable se encuentra relacionada con la trabajabilidad de la mezcla, es decir nos da información de que tan seca o fluida se encuentra la mezcla, es importante considerar que el asentamiento varía de acuerdo al tipo de estructura que se pretende construir así como de la forma de compactación que se usa durante su elaboración y el tiempo de transporte, es importante considerar que en el

caso de hormigones que requieren ser transportados a obra el asentamiento será menor ya que al transcurrir el tiempo de transporte el hormigón comienza el proceso de fraguado (Cure, n.d.).

Este parámetro puede ser seleccionado de acuerdo a la Tabla 11, para el presente trabajo se escogió un asentamiento que varía entre 0 a 10mm esto al tratarse de elementos prefabricados sometidos a vibro compactación.

Tabla 11. Asentamiento de hormigón en mm, (Cordero et al., 2018).

Compactación	Consistencia	Asentamiento(mm)	Fluidez (%)	Tipo de estructura
Vibro compactación	Muy rígida	0-10	10-30	Pavimentos para tránsito pesado, con fuerte vibración. Elementos prefabricados.
Alta vibración	Rígida	20-40	30-50	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria. Cimentaciones de hormigón masivo, secciones poco reforzadas y vibradas, muros no reforzados.
Vibración normal	Plásrica	50-90	50-70	Muros de contención reforzados, cimentaciones, pavimentos compactados normalmente, losas, vigas y columnas poco reforzadas.
Baja vibración	Fluida	100-150	70-100	Secciones muy reforzadas (vigas, losas, columnas), muros reforzados, hormigón a colocar en condiciones difíciles.
Sin vibración	Líquida	>150	>100	Hormigón transportado por bombeo, hormigón autonivelante, no se recomienda vibrarlo.

2. Estimar el contenido de aire.

El porcentaje de aire atrapado durante el proceso de mezclado del hormigón permite evaluar las características de los aditivos, de acuerdo al comité 211.1 del ACI indica por medio de la Tabla 12 las cantidades aproximadas de aire atrapado, para el presente caso de estudio se selecciona un 2% de contenido de aire, esto debido a que en la realización de la caracterización del árido grueso se pudo determinar un tamaño máximo nominal del agregado de 3/4" (Vásquez, 2019).

Tabla 12. Porcentaje medio de aire atrapado, (Cordero David et al., 2018).

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado
Pulgadas	mm	
3/8	9.51	3.0
1/2	12.50	2.5
3/4	19.10	2.0
1	25.40	1.5
1 1/2	38.10	1.0
2	50.80	0.5
3	76.10	0.3

3. Estimar la cantidad de agua.

Una vez obtenido de la granulometría, el tamaño nominal del agregado grueso y su respectivo porcentaje de aire, así como el asentamiento esperado de la mezcla se procede a obtener una primera aproximación de la cantidad agua en litros por metro cúbico de hormigón en base a la Ecuación 13. Es importante mencionar que en la actualidad no existe una fórmula exacta que nos permita establecer de manera precisa la cantidad de agua, sin embargo, es recomendable realizar un procedimiento de prueba y error de tal manera de determinar una mezcla con la consistencia y trabajabilidad deseada. De acuerdo a las características antes mencionadas para el presente trabajo se estableció 160.64 litros de agua por metro cúbico de hormigón, el agua destinada al proceso de elaboración pertenece al sistema de agua potable por lo que se tiene la certeza que esta no está contaminada con ningún componente que interfiera el en buen desempeño ya sea del cemento o de los aditivos.

$$AGUA = 218.80 \left(\frac{Asentamiento(mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo\ (mm)^{0.18}} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

4. Estimación de relación agua/cemento.

A continuación, con los parámetros anteriores se establece una relación agua/cemento según Tabla 13, la cual dependerá también de la resistencia establecida al inicio del diseño, este valor

se obtiene al identificar la resistencia media a la compresión que tendrá el hormigón a los 28 días. Para nuestro caso de estudio trabajamos con una resistencia promedio requerida de 384 kg/cm² para este valor se realizará una interpolación entre los valores existentes obteniéndose un a/c=0.45.

Tabla 13. Relación a/c para resistencia media a compresión, (Civil Engineering Tutoriales, 2016).

Esfuerzo a compresión a 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

5. Cálculo de cantidad de cemento.

Teniendo en cuenta que ya conocemos la cantidad de agua y la relación agua/cemento podemos calcular la cantidad de cemento necesaria para el diseño.

Los valores iniciales no son fijos ya que dependerá de la trabajabilidad y consistencia deseada de la mezcla. Para el cálculo de la cantidad de cemento a usarse en la mezcla se puede usar la Ecuación 10 en donde:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{Agua(kg)}}{\text{Cemento(kg)}} \quad \text{Ecuación 10}$$

De la Ecuación 10 podemos calcular la cantidad de cemento en kg necesaria para cada diseño.

$$\text{Cemento(kg)} = \frac{\text{Agua(kg)}}{\frac{a}{c}}$$

6. Estimación de cantidad de áridos.

Árido grueso

Para la estimación de grava seca y compactada por unidad de volumen de hormigón se lo determina a partir de la Tabla 14, considerando como datos de entrada el tamaño máximo

nominal (TMN) de la grava y del módulo de finura de la arena obtenido de la granulometría. Una vez determinado este valor se multiplica por el peso unitario del árido grueso, seco y compactado con varilla, para así determinar la masa del mismo por unidad de volumen de hormigón (Vásquez Pablo, 2019).

Tabla 14. Volumen de grava por m³ de hormigón, (Vásquez, 2019).

TMN agregado grueso	Volumen de grava seca y compactada por unidad de volumen de hormigón			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72

Agregado Fino

Finalmente, todos los volúmenes de los componentes de la mezcla, exceptuando la arena, son calculados para esto es necesario dividir cada una de las masas por su valor de gravedad específica respectivo. El volumen total de todos estos ingredientes es deducido de 1 m³ para obtener el volumen de la arena. El faltante para completar el metro cúbico de hormigón será el volumen del agregado fino o arena a agregarse en la mezcla, este último valor es utilizado para calcular la masa de la arena (Cordero David et al., 2018).

7. Ajustes por humedad.

Debido a las condiciones naturales en las que se encuentran los áridos se pueden presentar dos situaciones:

1. Incremento de contenido de agua en el mezclado, se presenta en los áridos como una fina capa de agua en la superficie lo que provoca el incremento de la relación de agua/cemento, es decir la cantidad de agua incrementa en la mezcla (Briones & Mora, 2022).
2. Disminución de contenido de agua en la mezcla resultado de la absorción de los áridos esto provoca que la relación agua/cemento disminuya y por ende la trabajabilidad también lo hará (Briones & Mora, 2022).

Estas situaciones son muy comunes durante el diseño de las mezclas de hormigón es por esta razón por la que se determinan los porcentajes de absorción y de humedad de los áridos fino y grueso, para con esto realizar ajuste y correcciones del agua de mezclado con el objetivo de evitar variaciones en la relación agua/cemento de la mezcla diseñada (Briones & Mora, 2022).

$$W_M = W_D - GX(A_G - H_G) - FX(A_F - H_F) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

A_F : % de absorción del agregado fino.

A_G : % de absorción natural del agregado grueso.

F: cantidad de agregado fino requerido para la mezcla por unidad de volumen (kg).

G: cantidad de agregado grueso requerido para la mezcla por unidad de volumen (kg).

H_F : % de humedad natural del agregado fino.

H_G : % de humedad natural del agregado grueso.

W_D : cantidad de agua estimada para un asentamiento dado (kg).

W_M : cantidad de agua requerida para la mezcla por unidad de volumen (kg).

8. Porcentajes de Aditivos.

Generalmente los fabricantes de este tipo de aditivos proporcionan información acerca de los rangos de porcentajes que se pueden aplicar en las dosificaciones. En este caso en particular SIKA pone a disposición las fichas técnicas de cada uno de los aditivos que comercializan en la presente tabla podemos observar las especificaciones técnicas de cada aditivo usado.

- Aditivo 161 HE dosificación entre 0.2%- 1.0%.
- Aditivo HE 200 dosificación entre 0.5%- 2.5%.
- Aditivo Visco concrete 4100 dosificación entre 0.19%-0.9%.

9. Mezclas de prueba.

Una vez obtenidas las cantidades y dosificaciones de cada uno de los componentes de la mezcla se realizan las mezclas de prueba y las proporciones de la mezcla se ajustan para cumplir con las solicitudes tanto físicas y mecánicas del hormigón deseadas.

Tabla 15. Diseño de mezclas de prueba.

Material (kg)	Dosificación base	LR (10%)	MR (25%)	HR (45%)
Cemento	356,98	252,55	210,46	154,33
Agua	125,65	113,65	94,70	69,45
Agregado Grueso	1013,99	1013,99	1013,99	1013,99
Agregado Fino	962,02	1074,67	962,02	962,02
Aditivo	0,62	3,16	3,16	1,14

3.2.3. Elaboración de mezclas.

Al concluir con el proceso de diseño teórico descrito en la sección anterior, se realizan los ensayos de las mezclas para determinar propiedades de resistencia. Previo a la realización de las mezclas es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Enlistar todas las herramientas y materiales necesarios para elaborar cada diseño.
- Verificar que el lugar de almacenamiento del cemento sea en un lugar seco y protegido de la intemperie.
- De preferencia trabajar con áridos que se encuentren en las condiciones reales para obtener resultados más veraces.
- Establecer un lugar adecuado para realizar y almacenar los diferentes diseños de las muestras.

Herramientas.

- Mezcladora de hormigón de tambor giratorio, capacidad de 65 kg.



Figura 9. Mezcladora de hormigón.

- Balanza Electrónica.



Figura 10. Balanza electrónica.

- Bandejas para medir la materia prima.
- Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm.
- Cuchareta, bailejo, combo de goma y varilla.

Procedimiento.

Para la elaboración de las mezclas se sigue el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 3124. El proceso de mezclado se realizó de acuerdo a lo descrito a continuación:

- Se inicia pesando los áridos, agua, aditivos y cemento.
- Se coloca el árido grueso en la mezcladora y posterior a ello colocamos el árido fino.

- A continuación, se coloca agua para hidratar la mezcla.
- Se coloca la cantidad de cemento establecida para el diseño, en este punto inicia el tiempo de fraguado.
- Transcurrido 1 minuto se agrega el aditivo plastificante, esperamos durante 3 minutos para que se homogenice bien los materiales.
- Finalmente dejamos que la mezcla repose durante 1 minuto y colocamos en los moldes



Figura 11. Preparación de la mezcla de hormigón.

Es importante mencionar que considerando el contexto real en las que se encuentra la materia prima, se pudo observar que tanto grava como arena se encuentra sometida a condiciones de intemperie, esto se realizó con el objetivo de que los resultados de resistencias obtenidas en el estado endurecido del hormigón sean las más cercanas a la realidad que presenta a diario Predelca en su elaboración de productos prefabricados, pues fue esta compañía quien nos facilitó la información.

Generalmente en la elaboración de productos prefabricados de hormigón lo que se busca es lograr altas resistencias a edades tempranas del hormigón, así como un desencofrado casi instantáneo de las estructuras, razón por la cual el uso de aditivos superplastificantes juega un papel importantísimo dentro de esta industria, considerando aspectos de resistencia lo que se traduce en beneficios económicos.

Para la muestra patrón se decidió tomar directamente de obra los 8 especímenes ya que esta sería la mejor aproximación de las condiciones con las que se trabaja en obra y su posterior comercialización.

Seguidamente se elaboraron 8 probetas para cada porcentaje de aditivo manteniendo una relación agua/cemento de 0.45 para una resistencia mínima de 300 kg/cm^2 , estos fueron realizados con la ayuda de una concretara la cual debe estar húmeda previo a su utilización esto para no afectar la relación agua/cemento del diseño. Para iniciar con la elaboración de la mezcla primero homogeneizamos el material grueso, luego colocamos el árido fino, cemento y finalmente el agua junto con el aditivo.

La mezcla es colocada en cilindros metálicos previamente engrasados para facilitar el desencofrado, cuyas dimensiones son $10 \times 20 \text{ cm}$ normados según la ASTM C470 la misma que fue compactada mediante varillado, las muestras deben ser enrasadas y etiquetadas. Los especímenes deben ser almacenados en un lugar fresco protegido de condiciones climáticas que puedan afectar las características finales de resistencia.



Figura 12. Colocación de la mezcla en los moldes.

Transcurridas 24 horas es necesario realizar el desencofrado de las muestras teniendo cuidado con evitar golpearlo o manipulación brusca, posteriormente se sumerge las muestras en agua potable limpia de cualquier impureza que pueda afectar al espécimen esto con el objetivo de realizar el proceso de curado. Las muestras fueron ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón.



Figura 13. Colocación de las muestras en la piscina de curado.

El proceso de etiquetado de las muestras es sumamente importante para evitar confusiones entre ellas razón por la cual en este proyecto usamos las siguientes nomenclaturas para cada ejemplar:

Tabla 16. Etiquetado y Contenido de las mezclas de hormigón.

Contenido	Rendimiento	Etiqueta
Muestra Patrón 1	Normal	MP1
Muestra Patrón 2	Normal	MP2
Muestra Patrón 3	Normal	MP3
Muestra Patrón 4	Normal	MP4
Muestra Patrón 5	Normal	MP5
Muestra Patrón 6	Normal	MP6
Muestra Patrón 7	Normal	MP7
Muestra Patrón 8	Normal	MP8
Mezcla 1. 161 HE	Bajo	LR1
Mezcla 2. 161 HE	Bajo	LR2
Mezcla 3. 161 HE	Bajo	LR3
Mezcla 4. 161 HE	Bajo	LR4
Mezcla 5. 161 HE	Bajo	LR5
Mezcla 6. 161 HE	Bajo	LR6
Mezcla 7. 161 HE	Bajo	LR7
Mezcla 8. 161 HE	Bajo	LR8
Mezcla 1 HE 200	Medio	MR1
Mezcla 2 HE 200	Medio	MR2
Mezcla 3 HE 201	Medio	MR3
Mezcla 4 HE 201	Medio	MR4
Mezcla 5 HE 202	Medio	MR5
Mezcla 6 HE 202	Medio	MR6
Mezcla 7 HE 203	Medio	MR7
Mezcla 8 HE 203	Medio	MR8
Mezcla 1 Visc. 4100	Alto	HR1
Mezcla 2 Visc. 4100	Alto	HR2
Mezcla 3 Visc. 4100	Alto	HR3
Mezcla 4 Visc. 4100	Alto	HR4
Mezcla 5 Visc. 4100	Alto	HR5
Mezcla 6 Visc. 4100	Alto	HR6
Mezcla 7 Visc. 4100	Alto	HR7
Mezcla 8 Visc. 4100	Alto	HR8

3.2.4. Ensayo de muestras.

3.2.4.1. Ensayo de trabajabilidad.

En la elaboración de elementos prefabricados el hormigón tiene una especial característica pues presenta una consistencia seca esto debido a que el desencofrado se realiza en tiempos muy cortos, razón por la que se requiere de una correcta vibración con el objetivo de lograr una óptima trabajabilidad de la mezcla con una mínima pérdida de homogeneidad.

El ensayo de cono de Abrams es el encargado de determinar la consistencia del hormigón en obra, consiste en tomar la muestra del hormigón directamente de la máquina mezcladora y colocarla en un molde metálico troncocónico realizando las debidas compactaciones mediante el método de varillado, posterior a ello retirar el molde y medir el asentamiento obtenido.

Materiales.

- Cono de Abrams el cual tiene las siguientes dimensiones: 30 cm de altura, 20 cm de base inferior y 10cm de base superior como se observa en la ilustración 12 (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).
- Varilla lisa de diámetro 16 mm con punta semiesférica.
- Bandeja.
- Flexómetro.
- Cuchareta



Figura 14. Cono de Abrams, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

Procedimiento

1. Colocamos el cono sobre una bandeja grande de forma horizontal la cual deberá estar ligeramente húmeda, es necesario también humedecer el molde metálico para que no exista variación en la relación agua/cemento de la mezcla (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).



Figura 15. Preparación de los moldes, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

2. Se procede con el proceso de llenado del molde, el operador debe colocarse sobre el molde pisando las manecillas laterales al molde, evitando su movimiento durante el llenado (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).



Figura 16. Llenado de molde, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

3. El llenado se lo realiza en 3 capas de iguales espesores, es importante mencionar que en cada capa se debe dar 25 golpes con la varilla para evitar la presencia de espacios vacíos y buscando que la compactación debe ser la más homogénea posible.



Figura 17. Compactación de la mezcla, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

4. Enrasar la superficie con ayuda de la varilla y retirar el hormigón excedente que se encuentre en los alrededores del molde.



Figura 18. Enrasado de la muestra, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

5. Se levanta el cono cuidadosamente de manera perpendicular al suelo en un lapso no mayor a 5 segundos.



Figura 19. Desmolde de la muestra, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

6. Finalmente se mide la diferencia de altura del molde y base superior de la muestra del concreto fresco asentado con ayuda de la varilla y el flexómetro.



Figura 20. Medición de altura de asentamiento, (Tecnología del Hormigón UCB, 2017).

3.2.4.2. Ensayo de resistencia a compresión.

Este ensayo consiste en determinar la resistencia que tiene un material para soportar una sollicitación axial negativa, esto con el objetivo de establecer la máxima carga externa a la cual la muestra puede soportar (Tierra & Nathanael, 2020).

Materiales.

- Balanza.
- Flexómetro.
- Máquina de ensayo a compresión calibrada.

Procedimiento.

Para la realización de este ensayo seguiremos los lineamientos de la norma NTE INEN 1573(NTE INEN 1573: Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de La Resistencia a La Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico., 2010).Según esta norma tenemos los siguientes pasos:

1. Retirar del agua las muestras, tomar sus mediciones como: longitud, diámetro y peso.



Figura 21. Muestras de Cilindros de Hormigón.

2. Como siguiente paso se coloca el cilindro de hormigón en la zona de ensayo es importante colocarlos en la zona central de la placa superior para que reciba la carga de manera distribuida en toda la superficie.



Figura 22. Colocación de la muestra en la máquina de ensayo a compresión.

- Inicio del proceso de carga, es importante mencionar que la velocidad de carga debe estar en un rango correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s, generalmente esta velocidad se incrementa durante la primera mitad del ensayo y decrece posterior a ello debido a las fisuraciones del espécimen, razón por la cual si se ve una variación esta no debe estar sometida a ningún tipo de ajuste ya que esto afectaría los resultados finales del ensayo (NTE INEN 1573: Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de La Resistencia a La Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico., 2010).



Figura 23. Rotura de cilindro sometido a Fuerza de compresión.

- Visualización de los resultados de rotura, aquí se nos presenta la fuerza a la que se dio la rotura en (kN), el esfuerzo en (Mpa), tiempo en segundos (s) y la velocidad a la que se produjo el ensayo en (Mpa/s)



Figura 24. Resultado de Ensayo a Compresión.

Capítulo 4 – Análisis de los resultados.

4.1. Caracterización de agregados.

4.1.1. Granulometría.

En el Figura 25 se presenta el análisis granulométrico correspondiente al árido grueso, para el siguiente análisis se consideró los límites superior e inferior establecidos por la norma ASTM C33, podemos observar que la distribución granulométrica del agregado grueso cumple con dicha normativa ya que la curva se encuentra dentro de los límites antes mencionados, también mediante el proceso de tamizaje se pudo establecer el tamaño máximo nominal del agregado de 3/4".

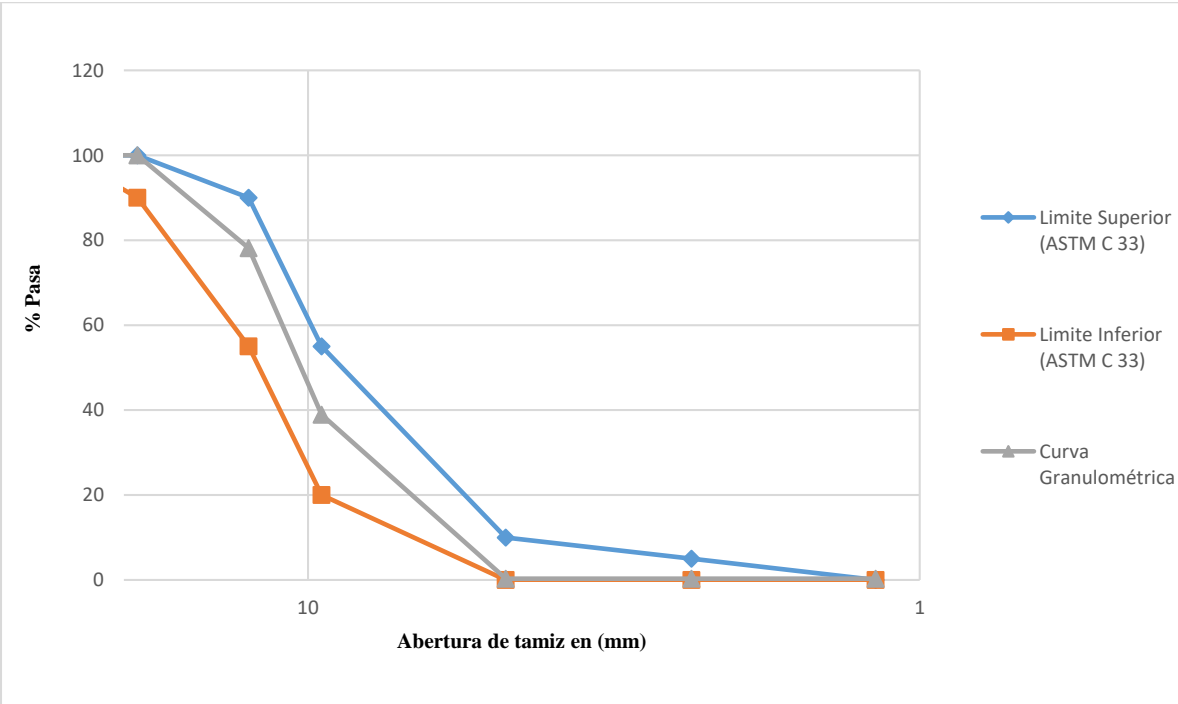


Figura 25. Curva granulométrica del agregado grueso.

Así también se ensayó los áridos finos permitiendo observar que de acuerdo a la norma ASTM C33 estos se encuentran dentro de los límites establecidos. En la Figura 26 se puede observar la distribución granulometría la cual cumple con la normativa por lo tanto es un árido que puede ser usado dentro del diseño de hormigones.

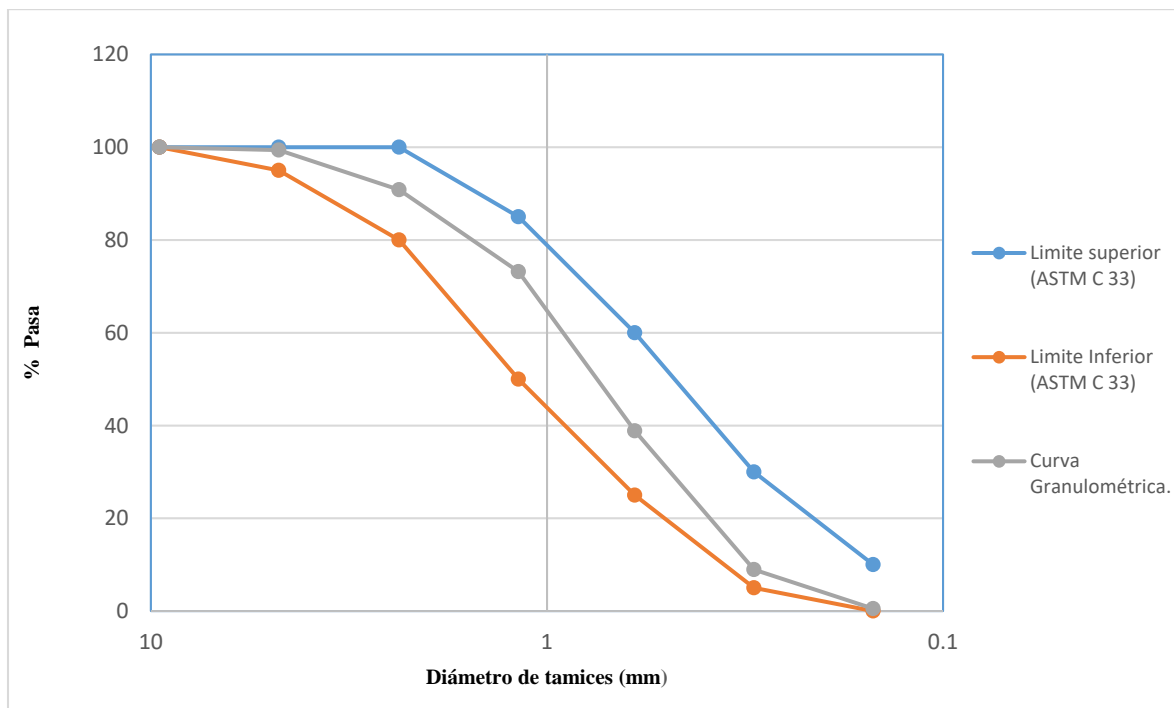


Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino.

4.1.2. Densidad relativa, absorción, y humedad.

- **Áridos gruesos**

Una vez realizados los ensayos de laboratorio y aplicando el método de ensayo correspondiente a la determinación de densidad, densidad relativa, absorción, y humedad de áridos gruesos, en base a la normativa NTE INEN 857 se procesar los resultados obtenidos, cabe mencionar que esta normativa incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del árido. Para el cálculo de la densidad de áridos gruesos se emplea la Ecuación 2, Ecuación 3, y Ecuación 4. Mientras que para el caso de la absorción de los áridos se emplea la Ecuación 8 y en el caso de la humedad se usó Ecuación 9.

Tabla 17. Resultado de Densidad, absorción y densidad de áridos gruesos kg/cm^3 .

Densidad/Absorción/ Humedad		
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	3118.50	kg/m^3
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	3150.00	kg/m^3
Densidad relativa (gravedad específica aparente)	3220.19	kg/m^3
Absorción (%)	1.01	%
Humedad (%)	1.87	%

Tabla 18. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos gruesos en g/cm³.

Densidad/Absorción/ Humedad		
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	3.12	g/cm ³
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	3.15	g/cm ³
Densidad relativa (gravedad específica aparente)	3.22	g/cm ³
Absorción (%)	1.01	%
Humedad (%)	1.87	%

De la Tabla 18 podemos observar que las densidades obtenidas presentan valores elevados y similares entre sí, lo que nos da información de la baja porosidad del árido, de manera particular la densidad aparente obtenida es de 3.22 g/cm³ indicándonos que el árido puede ser considerado adecuado para el uso de diseños de hormigones por su calidad, resistencia y dureza, ya que las densidades adecuadas para que un árido grueso sea considerado empleado para mezclas de concreto debe estar entre 2.4 g/cm³ y 2.9 g/cm³ (Kosmatka Steven H, 2016). Por otro lado, la baja capacidad de absorción de 1.01% indica que el árido no tiene una porosidad representativa, es decir que no se trata de un árido débil, siendo este ideal para incluirlo en el diseño de hormigones.

- **Áridos Finos.**

Para la determinación de la densidad y absorción de áridos finos se sigue la metodología establecida en la norma ecuatoriana INEN 856, para la realización de este ensayo no se incluye el volumen de vacíos entre partículas, esta normativa sugiere el criterio del método volumétrico o por el método gravimétrico en nuestro caso los resultados presentados fueron obtenidos de la aplicación del método gravimétrico (NTE INEN 856: Áridos. Determinación de La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Fino, 2010). En el caso de los áridos finos se emplea la Ecuación 5, Ecuación 6, y Ecuación 7.

Tabla 19. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos finos en kg/m³.

Densidad/Absorción/ Humedad		
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	2145.41	kg/m ³
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	2217.93	kg/m ³
Densidad relativa (gravedad específica aparente)	2313.17	kg/m ³

Absorción (%)	3.38	%
Humedad (%)	6.23	%

Tabla 20. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos finos en g/m³.

Densidad/Absorción/ Humedad		
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	2.15	g/m ³
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	2.22	g/m ³
Densidad relativa (gravedad específica aparente)	2.31	g/m ³
Absorción (%)	3.38	%
Humedad (%)	6.23	%

Como se puede observar la Tabla 19. Resultado de Densidad, absorción, y humedad de áridos finos en kg/m³. la densidad obtenida en el caso de los áridos finos fue de 2.31 g/m³ siendo está la adecuada, el rango de tolerancia es de 2,21 gr/cm³ a 2,67 gr/cm³ (Kosmatka Steven H, 2016). Por otro lado, su absorción tiene un valor de 3.38% siendo un valor que cumple con los rangos establecidos por (Hernández, 2010), ya que este autor establece que para que un árido fino pueda ser usado dentro de un diseño de hormigón su absorción debe estar en un rango de 2% a 6%.

4.1.3. Masa unitaria.

A continuación, para la determinación de masa unitaria únicamente se ensaya sobre áridos gruesos, obteniendo como resultado un valor de 1605.45 kg/m³ como se puede observar en la Tabla 21, con este valor podemos concluir que se trata de un árido aceptable como materia prima en el diseño de hormigones, ya que según las recomendaciones de Kosmatka para considerar áridos válidos el valor de la masa unitaria deber variar ente de 1200 kg/m³ a 1750 kg/m³ (Kosmatka Steven H, 2016).

Tabla 21. Masa Unitaria Agregado Grueso.

Árido+Molde (G)	21.856	kg
Masa de Molde (T)	6.235	kg
Volumen de molde (V)	0.00973	m ³
Masa Unitaria	1605.45	kg/m ³

4.1.4. Degradación árido grueso.

El porcentaje de degradación es un indicador de la calidad de los áridos gruesos puesto que a mayor porcentaje de degradación su calidad será menor, con esto podemos establecer si los áridos con los que estamos diseñando la mezcla son adecuados y capaces de resistir los esfuerzos solicitados. Para la determinación del porcentaje de degradación se empleó un mecanismo de desgaste resultado del impacto mediante la máquina de los ángeles, es importante tener información de granulometría para con esto poder conocer la gradación del árido y establecer la carga abrasiva que se le debe colocar a la muestra sometida al ensayo. En la Tabla 22 se puede observar que el porcentaje de áridos es de 7.20%, siendo esto un porcentaje aceptable para considerar que el árido es apto para el diseño de hormigones, según Kosmatka & Wilson establece que el porcentaje de desgaste máximo deberá ser de 25% cumpliendo así con dicha recomendación (Kosmatka Steven H, 2016).

Tabla 22. Porcentaje de desgaste de áridos gruesos.

Peso Inicial (g)	5003	g
Peso Final (g)	4644	g
% de desgaste	7.20	%

4.2. Diseño y elaboración de mezclas.

4.2.1. Dosificación muestra patrón.

Una vez realizados todos los ensayos preliminares de los áridos se pudo verificar que los mismos cumplían con las recomendaciones y especificaciones establecidas en las normativas por lo tanto estos pueden formar parte del diseño de la mezcla. Se selecciona la muestra patrón usada en obra por la empresa Predela la cual cuenta con la siguiente dosificación para 1 saco de cemento:

Tabla 23. Dosificación de muestra patrón para un saco de cemento.

Material	Densidad (kg/m³)	Cantidad (kg)	Volumen(m³)
Cemento	3006,10	356,98	0,12
Agua	1000,00	125,65	0,13
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42
Aditivo Protex 100 Plus	1001,00	0,62	0,00
Aire Atrapado (%)	-	-	0,02
Total		2459,27	1,00

Para el diseño de las mezclas se siguió las recomendaciones del método ACI 211.1 para plantear una dosificación base teniendo como punto de partida la resistencia que se desea obtener en el hormigón siendo en este caso 300 kg/cm² manteniendo una relación agua/cemento de 0.45 en todas muestras.

4.2.1. Dosificación de mezclas con adición de aditivos.

Una vez obtenida la dosificación de la muestra patrón y su respectiva corrección por humedad se procede a realizar el diseño de las mezclas con la inclusión de aditivos, manteniendo la relación agua/cemento y reduciendo el porcentaje de agua en a cada diseño.

Tabla 24. Dosificación de aditivo y cemento de las muestras manteniendo la relación a/c.

Tipo de mezcla	Aditivo	(%) Reducción de agua.	Agua (m ³)	W/C	Cemento (kg)
MEZCLA BASE	HE 100 PLUS	0	0,13	0,45	356,98
LR	161 HE	10	0,11	0,45	252,55
MR	HE 200	25	0,09	0,45	210,46
HR	VISC. 4100	45	0,07	0,45	154,33

El principal propósito del diseño es buscar el aditivo que mayor resistencia proporciona, razón por la cual se usó el mayor porcentaje de dosificación de cada aditivo y posterior a ello analizar sus costos. De manera resumida en la Tabla 25 se presenta las cantidades en kg de áridos, cemento, agua y aditivos usados para las diferentes mezclas diseñadas para 1 m³ de hormigón manteniendo la relación agua/cemento en cada una de ellas.

Tabla 25. Dosificación de hormigones con porcentajes máximos de aditivos para 1 m³ de hormigón.

Material (kg)	Dosificación base	LR (10%)	MR (25%)	HR (45%)
Cemento	356,98	252,55	210,46	154,33
Agua	125,65	113,65	94,70	69,45
Agregado Grueso	1013,99	1013,99	1013,99	1013,99
Agregado Fino	962,02	1074,67	962,02	962,02
Aditivo	0,62	3,16	3,16	1,14

De la tabla anterior se puede observar que la dosificación base consume mayor cantidad de cemento siendo de 356.98 kg, por el contrario, cuando empleamos en la dosificación aditivos sin variar la relación agua cemento se puede observar como la cantidad de cemento disminuye en cada mezcla siendo la más significativa aquella que tiene en su composición ViscoCrete 4100 usando tan solo 154.33 kg de cemento para 1 m³ de hormigón.

Se consideró realizar 8 probetas para cada aditivo, 32 probetas en total partiendo de la dosificación base para lo cual se usará un valor medio de cada aditivo de acuerdo a sus especificaciones técnicas

4.3. Propiedades del hormigón en estado fresco.

El ensayo de trabajabilidad se realizó en un periodo de 1 hora con el objetivo de determinar la pérdida de manejabilidad del hormigón conforme avanza el tiempo, para esto se mide el asentamiento en mm que cada una de las muestras presenta en diferentes intervalos de tiempo. El asentamiento inicial es medido inmediatamente después de haber mezclado todos los componentes en la mezcladora, los siguientes asentamientos se toman en periodos de 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos, para todos los ensayos se mantuvo la relación agua/cemento.

En la Tabla 26 se pueden observar los resultados obtenidos del asentamiento para cada diseño planteado, para una mejor representación de la trabajabilidad se puede observar en la Figura 27 que el asentamiento decrece de manera paulatina conforme avanza el tiempo, es decir las mezclas van perdiendo su trabajabilidad, pasando de a poco de un estado plástico y manejable a su etapa de fraguado y posterior endurecimiento.

Tabla 26. Tiempo de Control de asentamiento para los diseños de hormigón planteados.

Diseño	Aditivo	Tiempo de control de asentamiento (min)			
		0	15	30	60
Patrón	HE 100 PLUS	27	26.5	24.2	23
LR(10%)	161-HE	24.5	23.5	22.5	19.5
MR(25%)	HE-200	23.5	22.2	21.8	18.2
HR(45%)	ViscoCrete 4100	21.8	20.5	19	16.5

De acuerdo a la Figura 27 se muestran los resultados de asentamiento obtenidos, se puede observar que en la muestra patrón su asentamiento es mayor en comparación con las demás muestras. La muestra que pierde más rápido su trabajabilidad es aquella que contiene en su composición el aditivo ViscoCrete 4100 pues su asentamiento es menor en cada uno de los

tiempos considerados en la muestra. Mientras que en el caso del aditivo 161 HE y HE 200 los asentamientos obtenidos son cercanos entre ellos sin mayor variabilidad.

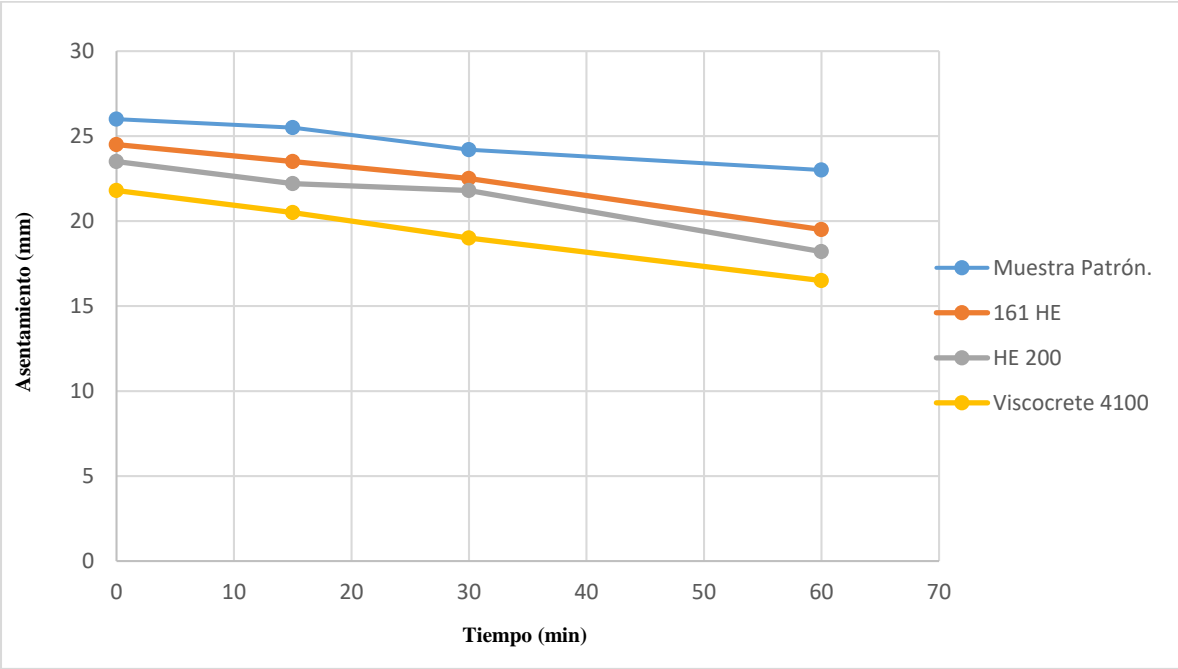


Figura 27. Asentamiento de trabajabilidad de los diseños.

4.4. Propiedades del hormigón en estado endurecido.

En esta etapa se procedió a realizar ensayos para la determinación de la resistencia a compresión de los cilindros de hormigón mediante una prensa hidráulica digital facilitada por la empresa Predelca la cual cuenta con un laboratorio de control de calidad, se siguió las estipulaciones que constan en la norma NTE INEN 1573, realizándose cuatro pruebas para cada aditivo los cuales fueron sometidos a ensayos a los días 3, 7, 14 y 28.

Esto con el objetivo de poder determinar la resistencia que el producto tiene a edades tempranas y su posterior comparación de las resistencias finales que se obtiene para cada dosificación realizada.

Tabla 27. Resultados de los ensayos de compresión del hormigón.

Días	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)			
	Muestra Patrón	LR (10%)	MR (25%)	HR (45%)
3	168	173	185	225
7	226	228	243	305
14	270	291	326	356
28	316	335	352	402

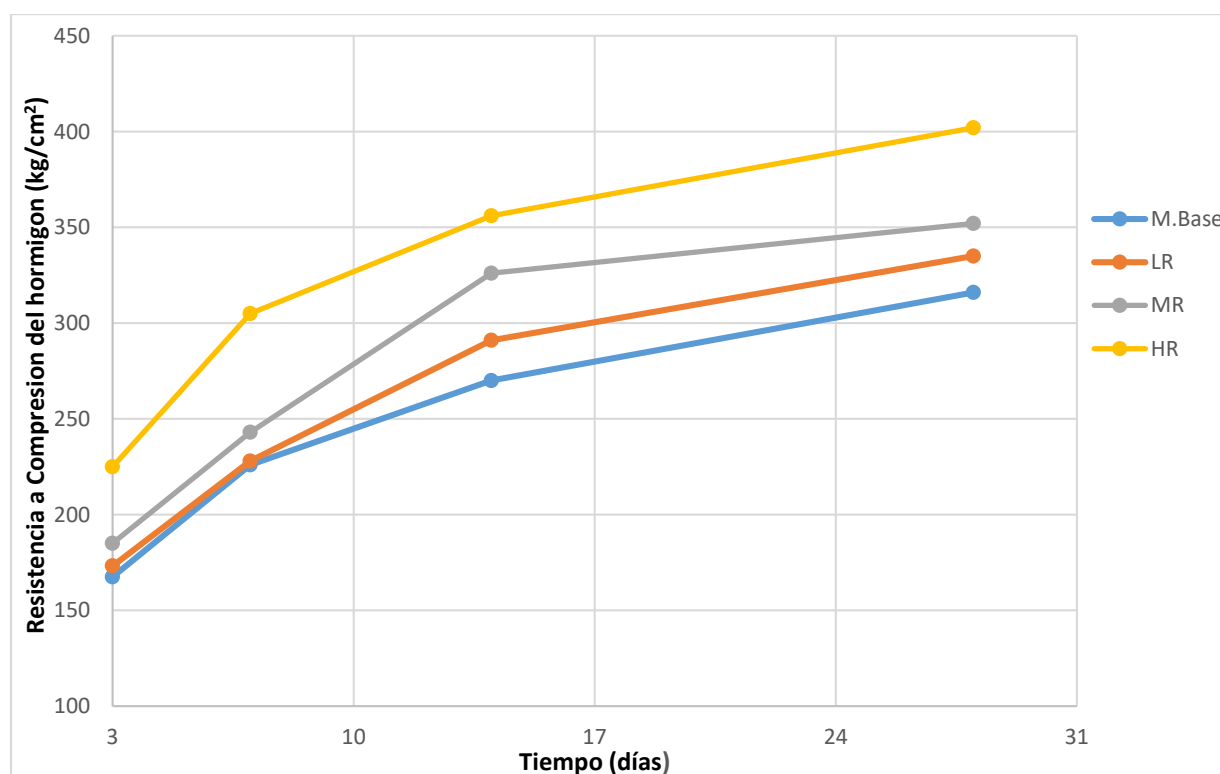


Figura 28. Curvas de endurecimiento para hormigones con diferentes aditivos

4.5. Costos de producción.

A continuación, se presenta el análisis costo vs. benéfico de cada diseño planteado, para lo cual nos basaremos en el costo inicial de la muestra patrón esta es obtenida en obra, en el caso de las muestras con porcentaje de aditivos se adicionará el costo por kilogramo empleado en cada diseño. En Tabla 28 se presentan los precios de referencia a los cuales se adquiere la materia prima para el diseño de hormigones:

Tabla 28. Precios unitarios de materia prima usado el diseño de hormigón.

Detalle	Cantidad	Unidad	P. Unitario
161 HE	1	kg	1.65
HE 200	1	kg	2.64
VISC. 4100	1	kg	2.98
Agregado fino	1	m ³	24.00
Cemento	1	kg	0.17
Agregado grueso	1	m ³	22.00

Una vez conocidos los precios unitarios procedemos a calcular el costo de cada mezcla considerando el valor adicional de los aditivos empleados en cada diseño.

Tabla 29. Costo de materia prima para la dosificación de la muestra patrón.

Material	Cantidad	Unidad	P.Unitario	P.Total
Agregado fino	0,42	m ³	24	9,98
Agregado grueso	0,31	m ³	22	6,93
Aditivo	0,62	kg	1,46	0,91
Cemento	356,98	kg	0,17	60,69
Costo Total \$ por m ³				78,501

A continuación, se presentan en la Tabla 30 el costo de cada mezcla variando el porcentaje de aditivo con el que se diseñó:

Tabla 30. Costo por m³ de hormigón para cada variación de porcentaje de aditivo.

Aditivo 161 HE				
Material	Cantidad	Unidad	P.Unitario	P.Total
Agregado fino	0,46	m ³	24.00	11,15
Agregado grueso	0,31	m ³	22.00	6,93
Aditivo	3,16	kg	1,65	5,21
Cemento	252,55	kg	0,17	42,93
Costo Total \$ por m ³				66,22
Aditivo HE 200				
Material	Cantidad	Unidad	P.Unitario	P.Total
Agregado fino	0,50	m ³	24.00	11,95
Agregado grueso	0,31	m ³	22.00	6,93
Aditivo	3,16	kg	2,64	8,33
Cemento	210,46	kg	0,17	35,78

Costo Total \$ por m ³				62,99
Aditivo ViscoCrete 4100				
Material	Cantidad	Unidad	P.Unitario	P.Total
Agregado fino	0,54	m ³	24.00	13,04
Agregado grueso	0,31	m ³	22.00	6,93
Aditivo	1,14	kg	2,98	3,39
Cemento	154,33	kg	0,17	26,24
Costo Total \$ por m ³				49,59

En la Tabla 30 se aprecia que el rubro más significativo dentro del diseño es el cemento este material tiene un costo total de \$42.93 para el caso del diseño que contiene el aditivo 161 HE, de igual manera el costo del cemento en el diseño que incluye el aditivo 200 HE es de \$35.78 mientras que para el caso del diseño que tiene ViscoCrete 4100 en su composición representa un costo de \$26.24.

Por otro lado la misma tabla también indica el precio total del costo de producción de m³ de hormigón para cada uno de los diseños planteados estos resultados muestran que el aditivo que reduce costos de producción es el diseño que contiene el aditivo ViscoCrete 4100, seguido del diseño con aditivo 161 HE y finalmente el diseño con aditivo 200 HE, esta diferencia de precios se debe a que en el caso del diseño con aditivo ViscoCrete 4100 existe una reducción de cemento lo que redujo el costo total del m³ ya que este es el rubro más costoso a pesar de ser el aditivo con un elevado precio, sin embargo, debido a su dosificación la cantidad por peso de cemento es inferior en comparación a los diseños que emplean los aditivos 161 HE y 200 HE.

Podemos observar que el diseño más económico es aquel que emplea el aditivo ViscoCrete 4100, pues su costo es de \$49.59 por m³ de hormigón, mientras que el diseño más costoso es el que contiene el aditivo HE 200 el cual tiene un valor de \$66.22 por m³ de hormigón en comparación de la muestra que contiene aditivo 161 HE que alcanzan un valor de \$62.99, el rubro total más costoso es el correspondiente al cemento.

Tabla 31. Resumen comparativo de resistencia, trabajabilidad, y costos de cada diseño.

Aditivo	a/c	% Aditivo	Resistencia Compresión 28 días(kg/cm ²)	Trabajabilidad 0 minutos (mm)	Costo Total \$ (m ³)
161 HE	0.45	10	335	24.5	66.22
HE 200	0.45	15	352	23.5	62.99
ViscoCrete 4100	0.45	45	402	21.8	49.59

La Tabla 310 indica que todos los diseños mantienen la misma relación agua/cemento sin embargo, los porcentajes de aditivo incluidos son diferentes, como se puede observar el diseño que emplea ViscoCrete 4100 la resistencia a los 28 días es superior que los diseños anteriores alcanzando resistencias de 402 kg/cm^2 , es decir que no solo es el mejor diseño económicamente hablando sino también desde el punto de vista de resistencia a la compresión, pero como podemos observar la trabajabilidad es muy baja lo que dificulta el manejo de esta mezcla siendo esto una desventaja a la hora de colocar la mezcla en los moldes pues podría provocar oquedades y espacios vacíos si el vibrado no es el adecuado.

Capítulo 5 –Conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

En cumplimiento con los objetivos planteados se concluye que el diseño óptimo en términos de trabajabilidad, resistencia, y costos, fue aquel que contiene súper plastificante ViscoCrete 4100 en su composición.

Se observó que al aplicar superplastificante ViscoCrete 4100 se logró disminuir la cantidad de cemento por m^3 de hormigón, alcanzando una resistencia de 225 kg/cm^2 a los 3 días lo que representa el 75% de la resistencia requerida. Por otro lado, al cabo de 28 días este diseño superó las solicitaciones requeridas llegando a ser de 402 kg/cm^2 , además el precio del m^3 de hormigón es de tan solo \$49.59

Es importante mencionar que en cada mezcla planteada se mantuvo la misma relación agua/cemento, sin embargo, la presencia de aditivos logró mejorar propiedades de resistencia y costos.

5.1.1. Conclusiones de caracterización de agregados.

Una vez realizada la respectiva caracterización de los áridos en el laboratorio podemos concluir que tanto el agregado grueso como el agregado fino empleados por la empresa Predelca cumplen con las especificaciones de la norma NTE INEN 872, siendo esta norma de suma importancia ya que establece los requisitos necesarios que los áridos deben cumplir para formar parte de la mezcla de hormigón, estos resultados mencionados se pueden observar en la Figura 25 y Figura 26, cabe mencionar que estos resultados también le sirve a la empresa como información real de las propiedades de los áridos con las que a diario están trabajando y así generar una base de datos de las mismas.

Por otro lado, al realizar los respectivos ensayos y determinar las densidades y absorción de los áridos se obtuvo que en el caso del árido grueso su densidad aparente de 3.22 g/cm^3 y con un porcentaje de absorción de 1.01%, mientras que para el caso de la arena su densidad aparente fue de 2.31 g/cm^3 y un porcentaje de absorción de 3.38%, según la norma INEN 872 estas condiciones no infringen con los requisitos para ser considerados aptos dentro de la mezcla de hormigón.

5.1.2. Conclusiones de diseño y elaboración de mezclas.

En el diseño de las mezclas se empleó el método ACI 211.1 para áridos de tamaño máximo nominal de 3/4" cuya resistencia esperada es de 300 kg/cm^2 ya que los elementos prefabricados que se realizan en la empresa generalmente son estructuras de alcantarillado sometidas a alto tráfico, inicialmente se tomó la muestra patrón, básicamente es aquella resultado de la dosificación con la que se han venido trabajando, sin embargo la cantidad de agua fue controlada de tal manera que la relación agua/cemento sea cercana a la utilizada en las propuestas de diseños realizadas considerando la variación de aditivos pero tratando de garantizar la consistencia seca que es fundamental en los elementos prefabricados.

Por otro lado, para los diseños propuestos se aplicó un porcentaje 10 % de reducción de agua en el caso del aditivo de bajo rendimiento 161 HE, 25% para el aditivo de rendimiento medio HE 200 y 45% para el aditivo de alto rendimiento ViscoCrete 4100, todos estos de la marca Sika para lo cual no se variaron las relaciones agua/cemento, sin embargo, existió variación en los porcentajes de aditivos hasta conseguir las resistencias solicitadas por la empresa.

5.1.3. Conclusiones de propiedades del hormigón en estado fresco.

Los asentamientos obtenidos de cada una de las mezclas arrojaron resultados relativamente bajos lo cual indica que estamos trabajando con un hormigón de consistencia que varía de seca a plástica, se puede concluir que los asentamientos de los diseños con aditivo 161 HE y HE 200 no varían significativamente manteniéndose valores entre 18 mm a 25 mm al transcurrir 1 hora, pero la mezcla que contiene aditivo superplastificante ViscoCrete 4100 tiene medidas de asentamiento inferiores en comparación con los diseños anteriores pues en esta mezcla se presentó un asentamiento de 16.5mm al cabo de 1 hora. Con estos resultados podemos deducir que las mezclas tienen consistencia seca y poco trabajable presentando un aspecto suelto y sin cohesión por lo que es necesario emplear un correcto vibrado para evitar espacios vacíos o porosidad en el producto final.

5.1.4. Conclusiones de propiedades del hormigón endurecido.

El ensayo de compresión se realizó sobre los cilindros que se tomó de las diferentes dosificaciones, las mismas que fueron colocadas en la piscina de curado y ensayadas a las edades de 3, 7, 14 y 28 días esto de acuerdo a la norma ASTM C 39 (2012), además para la validación de los resultados se tomó dos muestras de cada diseño y con esto se calculó la resistencia promedio de las misma. El diseño base logró una resistencia en edad temprana de 3 días de 168 kg/cm² y a 316 kg/cm² al cabo de los 28 días. Se observó que en el diseño con superplastificante ViscoCrete 4100 las resistencias son elevadas tanto en edades tempranas como al cabo de 28 días llegando a resistencias de 402 kg/cm².

Se mantuvo la relación agua/cemento sin embargo para cada diseño se modificó la cantidad de cemento en la mezcla, se pudo observar que el aditivo ViscoCrete 4100 se aumentó la resistencia a compresión a pesar de que la cantidad de cemento es menor con respecto al resto de los diseños.

5.1.5. Conclusiones de análisis de costos.

En base al análisis de costo de materia prima se estableció el costo de hormigón por m³ de mezcla para la muestra patrón así como para los diseños con diferentes porcentajes de aditivos, estos resultados reflejan que el diseño más económico es aquel que emplea el superpalstificante ViscoCrete 4100 dado un precio de \$49.59 por m³, seguido se tiene la mezcla que emplea el aditivo 161 HE con un valor de \$66.22 por m³ y finalmente tenemos el diseño que contiene aditivo HE 200 llegando a un costo de \$62.99 por m³ de hormigón para la obtención de estos resultados se mantuvo la relación agua/cemento y se varió la cantidad de cemento.

5.2. Recomendaciones.

5.2.1. Recomendaciones específicas.

- Los resultados obtenidos corresponden al uso de la materia prima empleada en el presente documento para el cual se utilizó cemento tipo HOLCIM HE y áridos de las minas del Cadme Corp. y de VIPESA, si se desea llevar los diseños obtenidos a otras condiciones, se debe hacer un análisis de los nuevos materiales a emplearse.
- Hacer un monitoreo constante en las dosificadoras y tolvas con el objetivo de corroborar que se esté mezclando la cantidad correcta de áridos ya que en muchas ocasiones la mala manipulación que la maquinaria provoca que se dosifique mayor cantidad de áridos lo que afectaría directamente al producto final.

- Se recomienda realizar un vibrado adecuado para todos los diseños ya que al tratarse de mezclas poco fluidas tienen a quedar espacios vacíos en el fondo del molde o en su defecto los productos presentan gran porosidad lo que resulta poco aceptable.
- Al realizar ensayos de compresión tener especial cuidado, ya que al someter los cilindros a carga de compresión estos actúan de forma explosiva, por lo que se recomienda que las zonas laterales deben ser cubiertas y así evitar posibles accidentes.

5.2.2. Recomendaciones para futuras investigaciones.

- Realizar el análisis de diferentes propiedades físico-mecánicas tanto en estado fresco como en estado endurecido como tiempo de fraguado y resistencia a la flexión.
- Se recomienda realizar el análisis de las mismas propiedades para hormigones bombeados los cuales son colocados directamente en obras para lo cual se mantendría la relación agua/cemento y se consideraría las dosificaciones de cada aditivo.
- Con el propósito de disminuir costos se recomienda emplear materia prima de diferentes casas cementeras y verificar el cumplimiento de sus propiedades de resistencia y trabajabilidad al cabo de 3,7,14 y 28 días.
- En el caso de elementos prefabricados usados en alcantarillado es importante analizar la durabilidad del diseño, para lo cual es necesario establecer parámetros como: el uso, vida útil, y tipo de ambiente al que van a estar expuestos los elementos producidos, por lo que se recomienda realizar las pruebas necesarias que miden este parámetro.
- Como se observó el uso de aditivos en las mezclas favorecen significativamente los diseños planteados, por lo que se recomienda aplicar aditivos de diferentes casas comerciales, con el objetivo de verificar si es factible obtener un mejor diseño.
- Se recomienda realizar un análisis en términos de sostenibilidad de cada diseño los cuales pueden ser evaluados con diferentes herramientas y de esta manera cuantificar el impacto ambiental que se produce con las alternativas presentadas.

Referencias

- ASTM C39: Determinación Del Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto. (2010). <https://es.scribd.com/document/380670093/ASTM-C39-Determinacion-Del-Esfuerzo-de-Compresion-en-Especimenes-Cilindricos-de-Concreto>
- ASTM C494-05: Standard Specification for chemical admixtures for concrete. (2005). <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/tecnologia-del-concreto/astm-c494-c49m-05a-norma-astm/58188217>
- Briones Erika, & Mora Paúl. (2022). Caracterización de materiales y diseño de hormigones comerciales bombeados para la empresa Hormi Center a partir de la adaptación del método de diseño de mezclas de concreto según ACI 211.1 y Fuller, con el tipo de cemento HE de la casa cementera HOLCIM. Universidad de Cuenca.
- Carrión Sandry, & Guambaña Ruben. (n.d.). Diseño y elaboración de mezclas de hormigón con materiales reciclados.
- Chryso Aditivos. (n.d.). ¿Qué es el hormigón fresco? Retrieved December 6, 2023, from <https://www.chryso.es/news/859/qu-es-el-hormig-n-fresco-chryso-aditivos>
- Civil Engineering Tutoriales. (2016). Diseño de mezclas de concreto (Método ACI). <https://www.youtube.com/watch?v=7-K-77jXNu4>
- Cordero David, Cárdenas Javier, & Rojas Jhan Piero. (2018). Diseño de mezclas por el método ACI (Vol. 1). <https://libros.ufps.edu.co/index.php/editorial-ufps/catalog/view/25/20/670>
- Costo de producción. (n.d.).
- Crespo Jorge. (2018). Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca.
- Cure Lina. (n.d.). Ensayo de asentamiento del concreto NTC 396. Retrieved December 9, 2023, from <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto/>
- Ferrovial. (n.d.). Cemento. Retrieved December 6, 2023, from <https://www.ferrovial.com/es/recursos/cemento/>
- Fierro Paul, & Asitimbay Stalin. (2019). Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción. Universidad Politécnica Salesiana.
- Garzón Fernando, & Godoy Marlon. (2019). Caracterización de la Tonalita de la cantera La Josefina, para sustituir el agregado fino en la fabricación de hormigón. Universidad del Azuay.
- Holcim Ecuador S.A. (n.d.). Cemento Holcim Premium. Retrieved December 9, 2023, from <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-premium>

- Hormigón al Día. (2020). Aditivos para hormigón: Una historia de éxito. <https://hormigonaldia.ich.cl/tecdirreportaje/aditivos-para-hormigon-una-historia-de-exito/>
- Hormigón fresco. (2021, June 28). <https://www.becosan.com/es/hormigon/>
- Hormigón fresco: Ventajas, usos y composición. (n.d.). Retrieved December 6, 2023, from <https://www.hormipavimento.es/hormigon-fresco/>
- Hormigón.es. (n.d.). Trabajabilidad del hormigón: Guía rápida. Retrieved December 6, 2023, from <https://hormigon.es/guia-rapida-trabajabilidad-hormigon.aspx>
- Huiñapi Cesar. (n.d.). Propiedades principales del concreto fresco. Retrieved May 16, 2023, from https://www.academia.edu/7813086/propiedades_principales_del_concreto_fresco
- INTERPRO. (2021). Análisis de Precios Unitarios. <https://www.interpro.ec/analisis-de-precios-unitarios/>
- Kosmatka Steven H. (2016). Design and control of concrete mixtures (I. P. C. Association. Skokie, Ed.; Sixteenth edition).
- Niño Hernández, J. R. (2010). Tecnología del concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas; [3a ed. revisada y actualizada por: Ing. Jairo René Niño Hernández]. Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- NTE INEN 0151: Cemento hidráulico. (2010). <https://studylib.es/doc/4662259/nte-inen-0151--cimento-hidr%C3%A1ulico.-definici%C3%B3n-de>
- NTE INEN 694: Hormigón y áridos para elaborar hormigón, (2010). file:///C:/Users/LENOVO/Documents/FAARFIELD/ESTE.CICLO/TESIS/libros/NTE%20INEN%200694_%20Hormigones%20y%20%C3%A1ridos%20para%20elaborar.pdf
- NTE INEN 696: Áridos, (2011).
- NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (2010). <https://archive.org/details/ec.nte.0856.2010/page/n1/mode/2up>
- NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso., (2010).
- NTE INEN 0860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. (2011). <https://archive.org/details/ec.nte.0860.2011>
- NTE INEN 862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. (2011). <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/862-normas-nte-inen-862-para-los-ensayos-respectivos-de-los-agregados-gruesos-y/31180419>

- NTE INEN 872: Áridos para hormigón. (2011). <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647>
- NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. (2010).
- NTE INEN 2380: Cementos hidráulicos. (2011). <https://studylib.es/doc/5836679/nte-inen-2380--cementos-hidr%C3%A1ulicos.-requisitos-de-desempe%C3%B1o>
- Patricio Tierra-Pérez, L., & Nathanael Toapanta- Santiago. (2020). Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea. 6. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1366>
- Rivera Gerardo. (2022). Concreto Simple (Universidad del Cauca, Ed.). https://www.academia.edu/42358267/concreto_simple_ing_gerardo_a_rivera_L
- Romero Quintero, A., & Hernández Rico, J. (2014). Diseño de mezclas de hormigón por el método a.c.i. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubio Amanda. (2007). Los aditivos del mundo del hormigón. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Sandoval Johana. (2019). Análisis de los costos de producción en la compañía Zulac S.A. ubicada en el cantón Ibarra, parroquia Angochagua. Universidad Reguinal Autónoma de los Andes.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2014a). Plastocrete 161 HE.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2014b). Sikament HE 200.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2015). Sika ViscoCrete 4100.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2022). ViscoCrete 4100. www.sikausa.com Teléfono:
- Silva Omar. (n.d.). ¿cómo se produce el proceso de hidratación del cemento? Retrieved December 6, 2023, from <https://360enconcreto.com/blog/detalle/proceso-hidratacion-del-cemento/>
- Tapia Christopher. (2018). Hormigones alternativos de alto desempeño con el uso de desechos de porcelana como agregado grueso. Universidad de Cuenca.
- Tecnología del Hormigón UCB. (2017). Cono de Abrams y toma de cilindros. <https://www.youtube.com/watch?v=OiHvxK40nOo>
- Vásquez Pablo. (2019). Desempeño, factibilidad y sostenibilidad de hormigones hidráulicos estándares con el uso de agregados reciclados.

Anexos

Anexo A. Reportes de laboratorio.

Granulometría Árido Grueso.

Granulometría Agregado Grueso					
Masa Total (kg)		4890.00			
Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Ret.Acum.	% Pasa.
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	1069	21.86	21.86	78.14
3/8	9.5	1918.00	39.22	61.08	38.92
N. 4	4.75	1888.00	38.61	99.69	0.31
N.8	2.36	0.00	0.00	99.69	0.31
N. 16	1.18	0.00	0.00	99.69	0.31
FONDO		15.00	0.31	100.00	0.00
Total		4890.00	100.00		
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00	mm
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	12.50	mm

Granulometría Árido Fino.

Granulometría Agregado Fino					
Masa Total (kg)		2907.00			
Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Ret.Acum	% Pasa
1"		0	0.00	0.00	100.00
3/4"		0	0.00	0.00	100.00
1/2"		0	0.00	0.00	100.00
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N. 4	4.75	18.00	0.62	0.62	99.38
N.8	2.36	249.00	8.57	9.18	90.82
N. 16	1.18	513.00	17.65	26.83	73.17
N.30	0.6	998.00	34.33	61.16	38.84
N. 50	0.3	869.00	29.89	91.06	8.94
N. 100	0.15	245.00	8.43	99.48	0.52
Fondo		15.00	0.52	100.00	0.00
Total		2907.00	100.00	200.00	
MF=				2.88	

Anexo B. Diseño de mezclas de hormigón.

Diseño de muestra patrón.

1. Datos de proyecto.					
Proyecto:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil				
Ubicación:	Panamericana Norte km 14				
Cliente:	Magaly Katherine Medina Mejía				
Cantera (Árido Fino):	Vipesa				
Cantera (Árido Grueso):	Cadme Corp				
Cemento:	Holcim				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
2. Información preliminar.					
Tipo de Elemento:	Hormigón				
Aire Incluido:	No				
Método de Fabricación:	Dosificación en peso utilizando concretera				
Tipo de Agregado Fino:	Natural de río, redondo				
Tipo de Agregado Grueso:	Natural de río, triturado				
Resistencia Requerida:	300 kg/cm ²				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
3. Propiedades de los materiales.					
Materiales	Nominación	Procedencia	Absorción (%)	Densidad (kg/cm ²)	Humedad (%)
Cemento	HE	Holcim		3006,10	
Agua		Rio		1000,00	
Agregado fino	Cadme Corp	La Troncal	3,38	2313,17	6,23
Agregado grueso	Vipesa	Descanso	1,01	3220,19	1,87
Aditivos	161 HE	Sika		1100,00	
	HE 200	Sika		1200,00	
	Visco Crete 400	Sika		1100,00	
4. Elección de asentamiento.					
Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de Construcción		Sistema de Compactación	
Muy rigida	0-10	Elementos prefabricados		Vibro Compactación	
5. Elección de tamaño máximo del árido.					

TMA	3/4"	19.1 mm			
6. Estimación de contenido de aire.					
Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado (mm)				
10	20				
7. Estimación de la cantidad de agua.					
$Agua = 218.80 \left(\frac{Asentamiento(mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo\ (mm)^{0.18}} \right)$					
Agua=	160,64	kg			
VAgua=	0,16	m ³			
8. Determinación de la resistencia de diseño (f'cr).					
Resistencia especificada (f'cr)	300	kg/m ³			
Resistencia promedio de la mezcla (f'cr)	398	kg/m ³			
9. Determinación de la relación agua/cemento.					
Tabla 12.	w/a	0,45			
10. Cálculo de la cantidad de cemento.					
$Cemento(C) = \frac{Agua(A)}{(A/C)}$					
Cemento=	356,98	kg			
10. Determinación del volumen de cemento.					
$Vcemento(C) = \frac{Cemento\ (C)}{Ycemento}$					
Vcemento=	0,12	m ³			
11. Volumen agregado grueso.					
TMN agregado grueso	Módulo de Finura de arena (MF)				Según el MF de arena 2.80 y TMN árido grueso 3/4" se estima 0.62 por unidad de volumen
	2,40	2,60	2,80	3,00	
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44	
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53	
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60	
1"	0,71	0,69	0,67	0,65	
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70	
2"	0,78	0,76	0,74	0,72	

Vgrueso=		0,31	m ³	
12. Volumen deagregado fino.				
Volumen de Cemento	0,12	m ³		Vfino=1-Vcemento-VAgua-VAire-Vgrueso
Volumen de Agua	0,16	m ³		
Volumen de Aire	0,02	m ³		
Volumen Agregado Grueso	0,31	m ³		
Volumen de Agregado Fino	0,39	m ³		
13. Primera estimación.				
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	Una vez se encuentra el volumen de la arena se realiza la primera estimacion de la combinacion de aridos
Cemento	3006,10	356,98	0,12	
Agua	1000,00	160,64	0,16	
Agregado Grueso	3220,19	995,38	0,31	
Agregado Fino	2313,17	905,60	0,39	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2418,61	1,00	
14. Ajuste por humedad.				
Material	% Absorción	% Humedad	% Absorción-Humedad	Tanto el Agregado fino como grueso presentan una humedad superior, se calcula el exceso de agua.
Agregado grueso	1,01	1,87	-0,86	
Agregado fino	3,38	6,23	-2,85	
Cálculo de agua de mezclado				
Material	Peso por m ³ (kg)	% Absorción - Humedad	Agua en exceso	
Agregado grueso	995,38	-0,86	-8,56	
Agregado fino	905,60	-2,85	-25,81	
Agua de mezclado	126,273	kg		
15. Cantidad en peso de agregados en condición natural.				
Material	Peso por m ³ seco (kg)	% Humedad	Peso por m ³ húmedo (kg)	Agregado fino y grueso presentan una humedad superior a la absorción, se calcula el exceso de agua.
Agregado grueso	995,38	1,87	1013,99	
Agregado fino	905,60	6,23	962,02	
16. Cantidades finales por m³ de hormigón.				
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	
Cemento	3006,10	356,98	0,12	
Agua	1000,00	126,27	0,13	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	

Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42
Aire Atrapado (%)			0,02
Total		2459,27	1,00
16. Cantidades finales por m³ de hormigón inclusión de aditivo.			
Material	Densidad (kg/m³)	Cantidad (kg)	Volumen(m³)
Cemento	3006,10	356,98	0,12
Agua	1000,00	125,65	0,13
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42
Aditivo Protex 100 Plus	1001,00	0,62	0,00
Aire Atrapado (%)			0,02
Total		2459,27	1,00

Diseño de muestra con aditivo 161HE.

1. Datos de proyecto.					
Proyecto:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil				
Ubicación:	Panamericana Norte km 14				
Cliente:	Magaly Katherine Medina Mejía				
Cantera (Árido Fino):	Vipesa				
Cantera (Árido Grueso):	Cadme Corp				
Cemento:	Holcim				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
2. Información preliminar.					
Tipo de Elemento;	Hormigón				
Aire Incluido:	No				
Método de Fabricación:	Dosificación en peso utilizando concreteira				
Tipo de Agregado Fino:	Natural de río, redondo				
Tipo de Agregado Grueso:	Natural de río, triturado				
Resistencia Requerida:	300 kg/cm ²				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
3. Propiedades de los materiales.					
Materiales	Nominación	Procedencia	Absorción (%)	Densidad (kg/cm ²)	Humedad (%)
Cemento	HE	Holcim		3006,10	
Agua		Rio		1000,00	
Agregado fino	Cadme Corp	La Troncal	3,38	2313,17	6,23
Agregado grueso	Vipesa	Descanso	1,01	3220,19	1,87
Aditivos	161 HE	Sika		1100,00	
	HE 200	Sika		1200,00	
	Visco Crete 400	Sika		1100,00	
4. Elección de asentamiento.					
Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de Construcción		Sistema de Compactación	
Muy rigida	0-10	Elementos prefabricados		Vibro Compactación	
5. Elección de tamaño máximo del árido.					

TMA	3/4"	19.1 mm			
6. Estimación de contenido de aire.					
Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado (mm)				
10	20			2	
7. Estimación de la cantidad de agua.					
$Agua = 218.80 \left(\frac{Asentamiento(mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo\ (mm)^{0.18}} \right)$					
Agua=	160,64	kg			
VAgua=	0,16	m ³			
8. Determinación de la resistencia de diseño (f'cr).					
Resistencia especificada (f'cr)	300	kg/m ³			
Resistencia promedio de la mezcla (f'cr)	398	kg/m ³			
9. Determinación de la relación agua/cemento.					
Tabla 12.	w/a	0,45			
10. Cálculo de la cantidad de cemento.					
$Cemento(C) = \frac{Agua(A)}{(A/C)}$					
Cemento=	356,98	kg			
10. Determinación del volumen de cemento.					
$Vcemento(C) = \frac{Cemento(C)}{Ycemento}$					
Vcemento=	0,12	m ³			
11. Volumen agregado grueso.					
TMN agregado grueso	Módulo de Finura de arena (MF)				MF arena 2.80 y TMN árido grueso 3/4" se estima un volumen de agregado grueso de a.62 por
	2,40	2,60	2,80	3,00	
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44	
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53	
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60	
1"	0,71	0,69	0,67	0,65	
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70	
2"	0,78	0,76	0,74	0,72	

					unidad de volumen
Vgrueso=		0,31	m ³		
12. Volumen deagregado fino.					
Volumen de Cemento	0,12	m ³		Vfino=1-Vcemento-VAgua-VAire-Vgrueso	
Volumen de Agua	0,16	m ³			
Volumen de Aire	0,02	m ³			
Volumen Agregado Grueso	0,31	m ³			
Volumen de Agregado Fino	0,39	m ³			
13. Primera estimación.					
Material	Densidad (kg/m³)	Cantidad (kg)	Volumen(m³)	Una vez se encuentra el volumen de la arena se realiza la primera estimación de la combinación de áridos	
Cemento	3006,10	356,98	0,12		
Agua	1000,00	160,64	0,16		
Agregado Grueso	3220,19	995,38	0,31		
Agregado Fino	2313,17	905,60	0,39		
Aire Atrapado (%)			0,02		
Total		2418,61	1,00		
14. Ajuste por humedad.					
Material	% Absorción	% Humedad	% Absorción-Humedad	Tanto el Agregado fino como el agregado grueso presentan una humedad superior a la absorción, se calcula el exceso de agua.	
Agregado grueso	1,01	1,87	-0,86		
Agregado fino	3,38	6,23	-2,85		
Cálculo de agua de mezclado					
Material	Peso por m ³ seco (kg)	% Absorción - Humedad	Agua en exceso		
Agregado grueso	995,38	-0,86	-8,56		
Agregado fino	905,60	-2,85	-25,81		
Agua de mezclado	126,273	kg			
15. Cantidad en peso de agregados en condición natural.					
Material	Peso por m ³ seco (kg)	% Humedad	Peso por m ³ húmedo (kg)	Tanto el Agregado fino como el agregado grueso presentan una humedad superior a la absorción, se calcula el exceso de agua.	
Agregado grueso	995,38	1,87	1013,99		
Agregado fino	905,60	6,23	962,02		
16. Cantidades finales por m³ de hormigón.					
Material	Densidad (kg/m³)	Cantidad (kg)	Volumen(m³)		
Cemento	3006,10	356,98	0,12		

Agua	1000,00	126,27	0,13	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2459,27	1,00	
16. Cantidades finales por m³ de hormigón inclusión de aditivo.				
Material	Densidad (kg/m³)	Cantidad (kg)	Volumen(m³)	10 % de reducción de agua, con dosificación del 2.5% del peso de cemento
Cemento	3006,10	252,55	0,08	
Agua	1000,00	113,65	0,11	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	1074,67	0,46	
Aditivo 161 HE	1100,00	3,16	0,003	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2458,01	1,000	

Diseño de muestra con aditivo HE 200.

1. Datos de proyecto.	
Proyeto:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil
Ubicación:	Panamericana Norte km 14
Cliente:	Magaly Katherine Medina Mejía
Cantera (Árido Fino):	Vipesa
Cantera (Árido Grueso):	Cadme Corp
Cemento:	Holcim
Método de Diseño:	ACI 211.1
2. Información preliminar.	
Tipo de Elemento;	Hormigón
Aire Incluido:	No
Método de Fabricación:	Dosificación en peso utilizando concretera
Tipo de Agregado Fino:	Natural de río, redondo
Tipo de Agregado Grueso:	Natural de río, triturado
Resistencia Requerida:	300 kg/cm 2
Método de Diseño:	ACI 211.1
3. Propiedades de los materiales.	

Materiales	Nominación	Procedencia	Absorción (%)	Densidad (kg/cm ²)	Humedad (%)
Cemento	HE	Holcim		3006,10	
Agua		Rio		1000,00	
Agregado fino	Cadme Corp	La Troncal	3,38	2313,17	6,23
Agregado grueso	Vipesa	Descanso	1,01	3220,19	1,87
Aditivos	161 HE	Sika		1100,00	
	HE 200	Sika		1200,00	
	Visco Crete 400	Sika		1100,00	
4. Elección de asentamiento.					
Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de Construcción		Sistema de Compactación	
Muy rígida	0-10	Elementos prefabricados		Vibro Compactación	
5. Elección de tamaño máximo del árido.					
TMA	3/4"	19.1 mm			
6. Estimación de contenido de aire.					
Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado (mm)				
10	20				2
7. Estimación de la cantidad de agua.					
$Agua = 218.80 \left(\frac{Asentamiento(mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo\ (mm)^{0.18}} \right)$					
Agua=		160,64	kg		
VAgua=		0,16	m ³		
8. Determinación de la resistencia de diseño (f'cr).					
Resistencia especificada (f'cr)		300	kg/m ³		
Resistencia promedio de la mezcla (f'cr)		398	kg/m ³		
9. Determinación de la relación agua/cemento.					
Tabla 12.	w/a	0,45			
10. Cálculo de la cantidad de cemento.					

$\text{Cemento}(C) = \frac{\text{Agua}(A)}{(A/C)}$					
Cemento=		356,98	kg		
10. Determinación del volumen de cemento.					
$V_{\text{cemento}}(C) = \frac{\text{Cemento}(C)}{Y_{\text{cemento}}}$					
Vcemento=		0,12	m ³		
11. Volumen agregado grueso.					
TMN agregado grueso	Módulo de Finura de arena (MF)				MF de arena 2.80 y TMN arido grueso 3/4" se estima un volumen de agregado grueso de a.62 por unidad de volumen
	2,40	2,60	2,80	3,00	
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44	
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53	
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60	
1"	0,71	0,69	0,67	0,65	
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70	
2"	0,78	0,76	0,74	0,72	
Vgrueso=		0,31	m ³		
12. Volumen de agregado fino.					
Volumen de Cemento	0,12	m ³	$V_{\text{fino}} = 1 - V_{\text{cemento}} - V_{\text{Agua}} - V_{\text{Aire}} - V_{\text{grueso}}$		
Volumen de Agua	0,16	m ³			
Volumen de Aire	0,02	m ³			
Volumen Agregado Grueso	0,31	m ³			
Volumen de Agregado Fino	0,39	m ³			
13. Primera estimación.					
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	Una vez se encuentra el volumen de la arena se realiza la primera estimación de la combinación de áridos	
Cemento	3006,10	356,98	0,12		
Agua	1000,00	160,64	0,16		
Agregado Grueso	3220,19	995,38	0,31		
Agregado Fino	2313,17	905,60	0,39		
Aire Atrapado (%)			0,02		
Total		2418,61	1,00		
14. Ajuste por humedad.					

Material	% Absorción	% Humedad	% Absorción-Humedad	Tanto el Agregado fino como grueso presentan una humedad superior se calcula el exceso de agua.
Agregado grueso	1,01	1,87	-0,86	
Agregado fino	3,38	6,23	-2,85	
Cálculo de agua de mezclado				
Material	Peso por m ³ (kg)	% Absorción - Humedad	Agua en exceso	
Agregado grueso	995,38	-0,86	-8,56	
Agregado fino	905,60	-2,85	-25,81	
Agua de mezclado	126,273	kg		
15. Cantidad en peso de agregados en condición natural.				
Material	Peso por m ³ seco (kg)	% Humedad	Peso por m ³ húmedo (kg)	
Agregado grueso	995,38	1,87	1013,99	
Agregado fino	905,60	6,23	962,02	
16. Cantidades finales por m³ de hormigón.				
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	
Cemento	3006,10	356,98	0,12	
Agua	1000,00	126,27	0,13	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2459,27	1,00	
16. Cantidades finales por m³ de hormigón inclusión de aditivo.				
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen (m ³)	25% de reducción de agua, dosificación del 2.5% del peso de cemento
Cemento	3006,10	210,46	0,07	
Agua	1000,00	94,70	0,09	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,50	
Aditivo 161 HE	1200,00	3,16	0,003	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2284,33	1,00	

Diseño de muestra con aditivo ViscoCrete 4100.

1. Datos de proyecto.					
Proyecto:	Trabajo de titulación para la obtención de título de Ingeniero Civil				
Ubicación:	Panamericana Norte km 14				
Cliente:	Magaly Katherine Medina Mejía				
Cantera (Árido Fino):	Vipesa				
Cantera (Árido Grueso):	Cadme Corp				
Cemento:	Holcim				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
2. Información preliminar.					
Tipo de Elemento:	Hormigón				
Aire Incluido:	No				
Método de Fabricación:	Dosificación en peso utilizando concreteira				
Tipo de Agregado Fino:	Natural de río, redondo				
Tipo de Agregado Grueso:	Natural de río, triturado				
Resistencia Requerida:	300 kg/cm ²				
Método de Diseño:	ACI 211.1				
3. Propiedades de los materiales.					
Materiales	Nominación	Procedencia	Absorción (%)	Densidad (kg/cm ²)	Humedad (%)
Cemento	HE	Holcim		3006,10	
Agua		Rio		1000,00	
Agregado fino	Cadme Corp	La Troncal	3,38	2313,17	6,23
Agregado grueso	Vipesa	Descanso	1,01	3220,19	1,87
Aditivos	161 HE	Sika		1100,00	
	HE 200	Sika		1200,00	
	Visco Crete 400	Sika		1100,00	
4. Elección de asentamiento.					
Consistencia	Asentamiento (mm)	Tipo de Construcción		Sistema de Compactación	
Muy rígida	0-10	Elementos prefabricados		Vibro Compactación	
5. Elección de tamaño máximo del árido.					

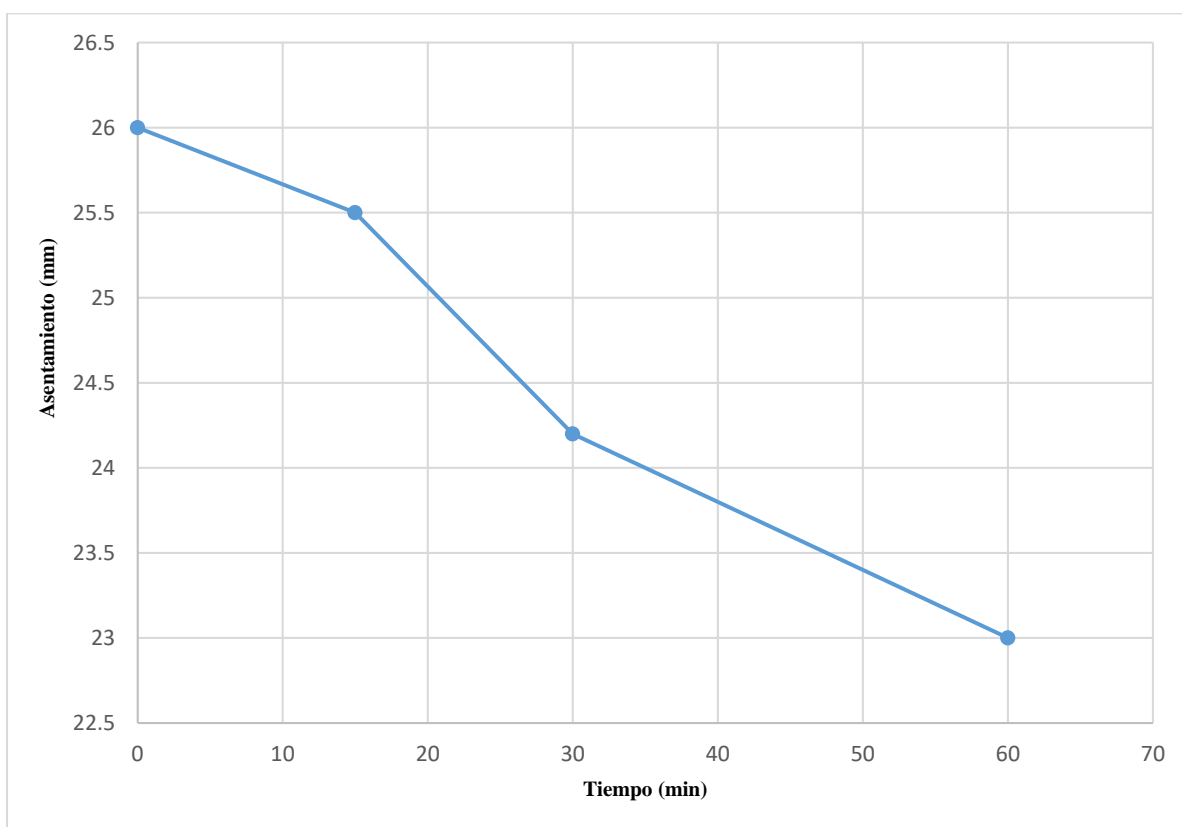
TMA	3/4"	19.1 mm			
6. Estimación de contenido de aire.					
Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado (mm)				
10	20			2	
7. Estimación de la cantidad de agua.					
$Agua = 218.80 \left(\frac{Asentamiento(mm)^{0.1}}{tamaño\ máximo\ (mm)^{0.18}} \right)$					
Agua=	160,64	kg			
VAgua=	0,16	m ³			
8. Determinación de la resistencia de diseño (f'cr).					
Resistencia especificada (f'cr)	300	kg/m ³			
Resistencia promedio de la mezcla (f'cr)	398	kg/m ³			
9. Determinación de la relación agua/cemento.					
Tabla 12.	w/a	0,45			
10. Cálculo de la cantidad de cemento.					
$Cemento(C) = \frac{Agua(A)}{(A/C)}$					
Cemento=	356,98	kg			
10. Determinación del volumen de cemento.					
$Vcemento(C) = \frac{Cemento\ (C)}{Ycemento}$					
Vcemento=	0,12	m ³			
11. Volumen agregado grueso.					
TMN agregado grueso	Módulo de Finura de arena (MF)				MF arena 2.80 y TMN grueso 3/4" se estima un volumen de agregado
	2,40	2,60	2,80	3,00	
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44	
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53	
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60	

1"	0,71	0,69	0,67	0,65	grueso de a.62 por unidad de volumen
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70	
2"	0,78	0,76	0,74	0,72	
Vgrueso=		0,31	m ³		
12. Volumen de agregado fino.					
Volumen de Cemento	0,12	m ³			Vfino=1-Vcemento-VAgua-VAire-Vgrueso
Volumen de Agua	0,16	m ³			
Volumen de Aire	0,02	m ³			
Volumen Agregado Grueso	0,31	m ³			
Volumen de Agregado Fino	0,39	m ³			
13. Primera estimación.					
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	Una vez se encuentra el volumen de la arena se realiza la primera estimación de la combinación de áridos	
Cemento	3006,10	356,98	0,12		
Agua	1000,00	160,64	0,16		
Agregado Grueso	3220,19	995,38	0,31		
Agregado Fino	2313,17	905,60	0,39		
Aire Atrapado (%)			0,02		
Total		2418,61	1,00		
14. Ajuste por humedad.					
Material	% Absorción	% Humedad	% Absorción-Humedad	Tanto el Agregado fino como el agregado grueso presentan una humedad superior a la absorción, se calcula el exceso de agua.	
Agregado grueso	1,01	1,87	-0,86		
Agregado fino	3,38	6,23	-2,85		
Cálculo de agua de mezclado					
Material	Peso por m ³ (kg)	% Absorción - Humedad	Agua en exceso		
Agregado grueso	995,38	-0,86	-8,56		
Agregado fino	905,60	-2,85	-25,81		
Agua de mezclado	126,273	kg			
15. Cantidad en peso de agregados en condición natural.					
Material	Peso por m ³ seco (kg)	% Humedad	Peso por m ³ húmedo (kg)		
Agregado grueso	995,38	1,87	1013,99		
Agregado fino	905,60	6,23	962,02		
16. Cantidades finales por m³ de hormigón.					

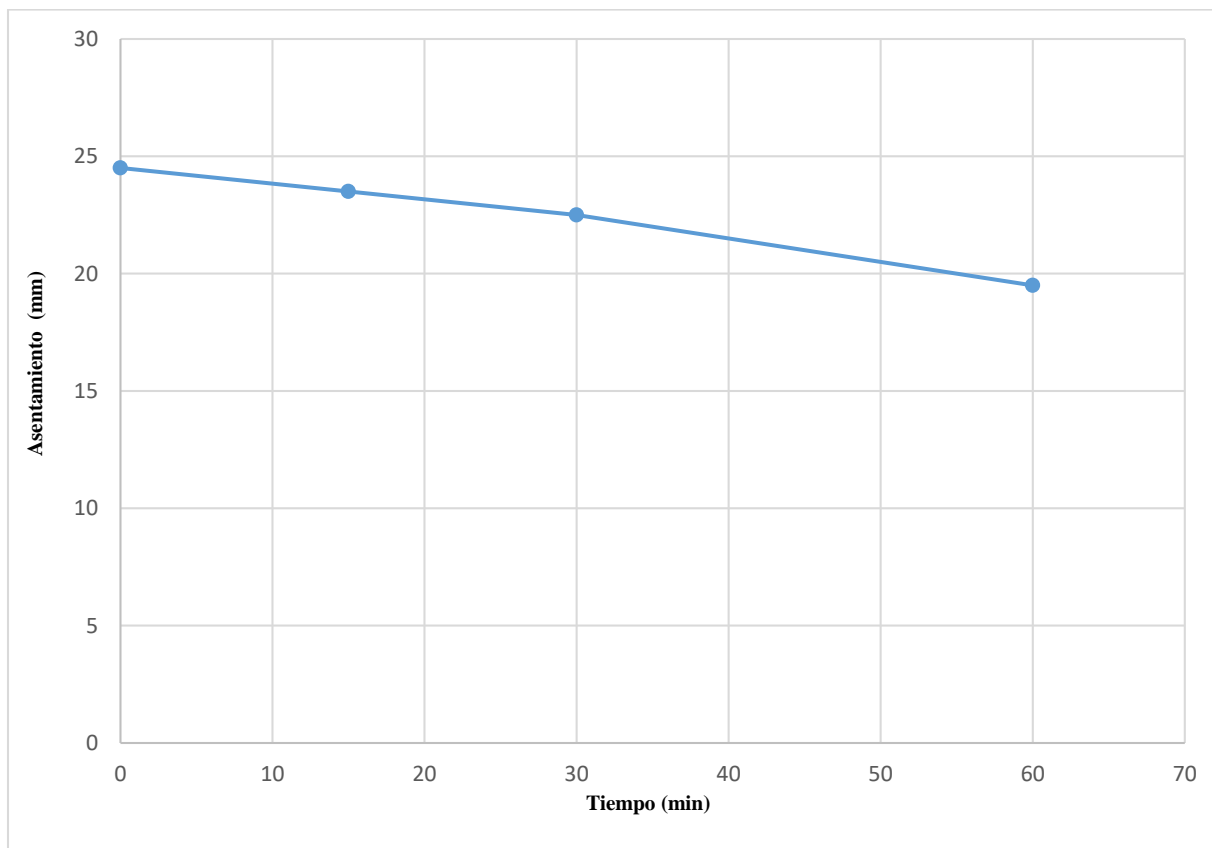
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	
Cemento	3006,10	356,98	0,12	
Agua	1000,00	126,27	0,13	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,42	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2459,27	1,00	
16. Cantidades finales por m³ de hormigón inclusión de aditivo.				
Material	Densidad (kg/m ³)	Cantidad (kg)	Volumen(m ³)	
Cemento	3006,10	154,33	0,05	45% de reducción de agua, dosificación del 0.9% del peso de cemento
Agua	1000,00	69,45	0,07	
Agregado Grueso	3220,19	1013,99	0,31	
Agregado Fino	2313,17	962,02	0,54	
Aditivo 161 HE	1100,00	1,14	0,001	
Aire Atrapado (%)			0,02	
Total		2200,93	1,00	

Anexo C. Reporte de procedimientos para resultados.

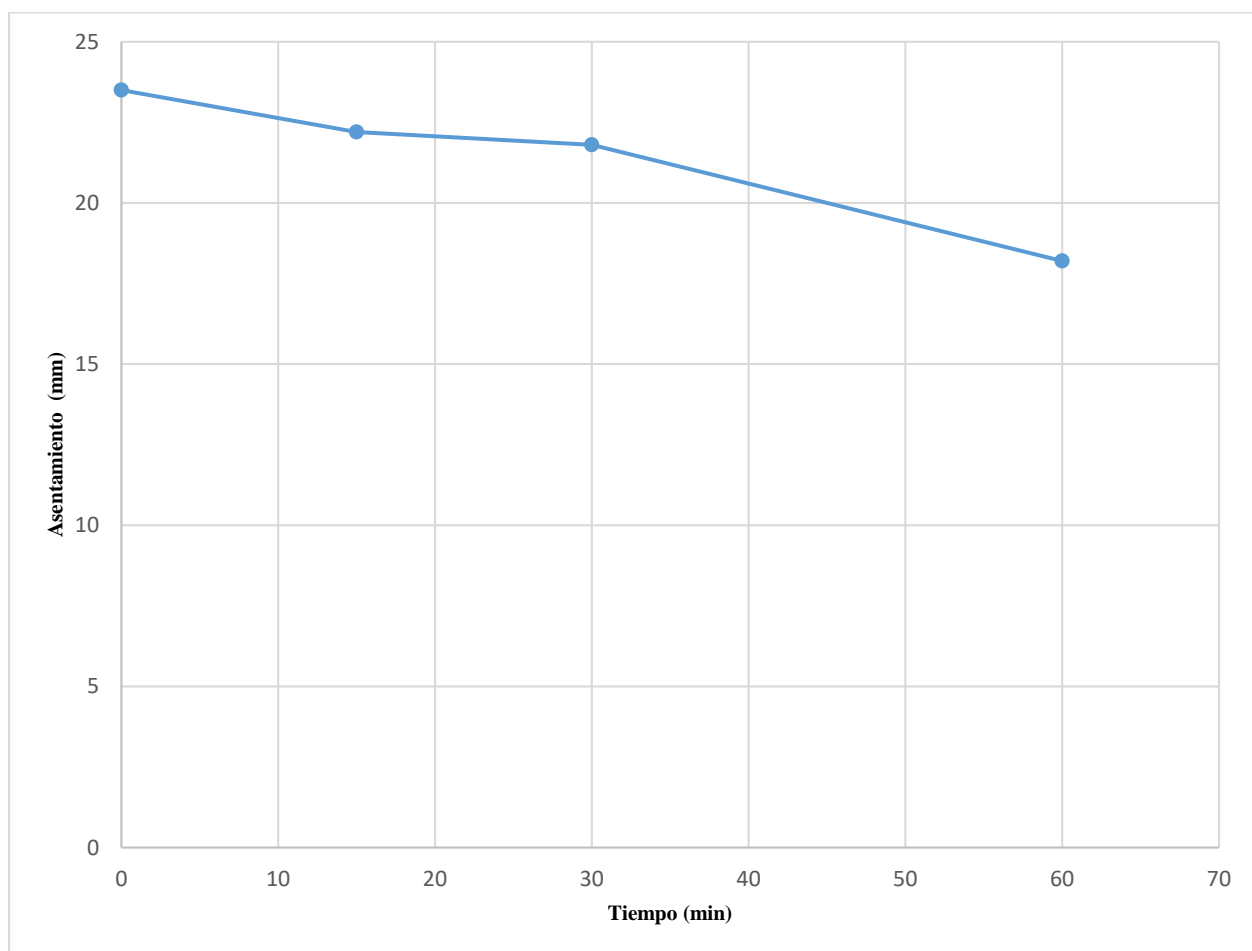
Fecha:	17/5/2023	Muestra No.:	1
Relación A/C:	0.45	Aditivo:	HE 100 PLUS
Asentamiento	Hora	Tiempo (min)	Lectura (mm)
1	8:35	0	26
2	8:50	15	25.5
3	9:05	30	24.2
4	9:35	60	23



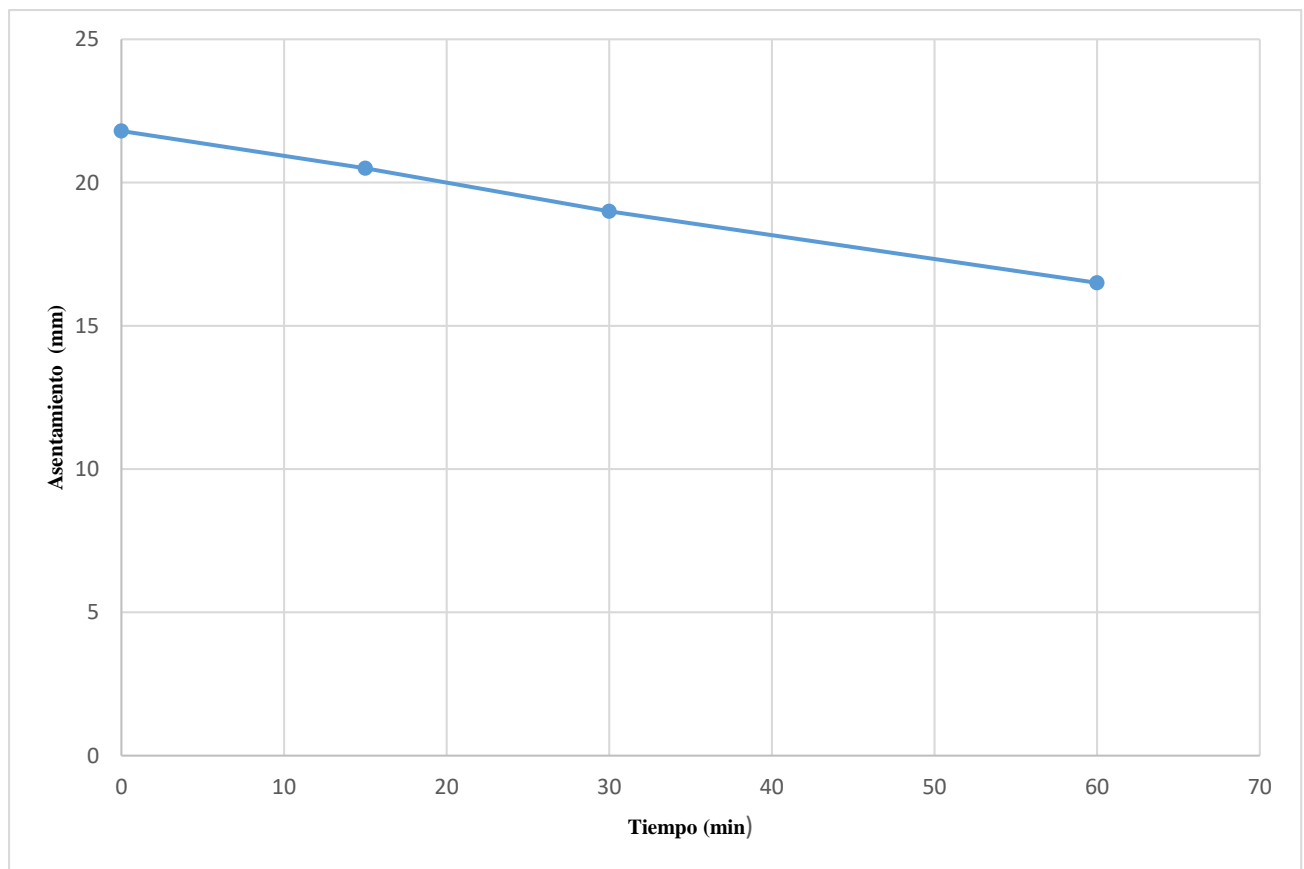
Fecha:	17/5/2023	Muestra No.:	2
Relación A/C:	0.45	Aditivo:	161 HE
Asentamiento	Hora	Tiempo(min)	Lectura(mm)
1	8:35	0	24.5
2	8:50	15	23.5
3	9:05	30	22.5
4	9:35	60	19.5



Fecha:	17/5/2023	Muestra No.	3
Relación A/C:	0.45	Aditivo	HE-200
Asentamiento	Hora	Tiempo (min)	Lectura (mm)
1	13:20	0	23.5
2	13:35	15	22.2
3	13:50	30	21.8
4	14:20	60	18.2



Fecha:	19/5/2023	Muestra No.	4
Relación A/C:	0.45	Aditivo	ViscoCrete 4100
Asentamiento	Hora	Tiempo(min)	Lectura(mm)
1	13:20	0	21.8
2	13:35	15	20.5
3	13:50	30	19
4	14:20	60	16.5




Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto muestra patrón.

Etiqueta	Fecha de vaciado	Diámetro Cilindro (cm)			Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Rotura				
		D1	D2	D3				Fecha	Edas (días)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
MP1	17/5/2023	10.08	10.06	10.07	20.01	79.60	8.90	20/5/2023	3	13261.83	166.60	168
MP2	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.01	79.87	8.88	20/5/2023	3	13513.42	169.20	
MP3	17/5/2023	10.07	10.09	10.09	20.02	79.81	8.92	24/5/2023	7	17870.31	223.90	226
MP4	17/5/2023	10.08	10.08	10.10	20.01	79.87	8.90	24/5/2023	7	18233.54	228.30	
MP5	17/5/2023	10.07	10.10	10.07	20.03	79.76	8.99	31/5/2023	14	21447.74	268.90	269
MP6	17/5/2023	10.08	10.08	10.07	20.01	79.71	8.92	31/5/2023	14	21525.22	270.05	
MP7	17/5/2023	10.10	10.07	10.07	20.01	79.76	8.88	14/5/2023	28	25180.56	315.70	316
MP8	17/5/2023	10.07	10.07	10.09	20.02	79.71	8.90	14/5/2023	28	25203.76	316.20	

Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto aditivo 161 HE

Etiqueta	Fecha de vaciado	Diámetro Cilindro (cm)			Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Rotura				
		D1	D2	D3				Fecha	Edad (días)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
LR1	17/5/2023	10.08	10.08	10.09	20.02	79.81	8.90	20/5/2023	3	13799.80	172.90	173
LR2	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.01	79.87	8.90	20/5/2023	3	13832.89	173.20	
LR3	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.01	79.87	8.88	24/5/2023	7	18145.68	227.20	228
LR4	17/5/2023	10.08	10.10	10.10	20.01	79.97	8.88	24/5/2023	7	18337.62	229.30	
LR5	17/5/2023	10.10	10.10	10.09	20.01	80.03	8.90	31/5/2023	14	23379.30	292.15	291
LR6	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.01	79.87	8.95	31/5/2023	14	23209.22	290.60	
LR7	17/5/2023	10.10	10.07	10.07	20.01	79.76	8.88	14/5/2023	28	26743.87	335.30	335
LR8	17/5/2023	10.08	10.08	10.09	20.03	79.81	8.88	14/5/2023	28	26737.62	335.00	

Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto aditivo HE 200

		Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto norma ASTM C-39										
		Tema:		Diseño de Hormigón para elementos prefabricados con la inclusión de aditivos								
		Estudiante:		Medina Magaly								
		Cemento:		HOLCIM HE								
		Contiene:		Cemento, Arena, Ripio, Aditivo 200 HE								
Etiqueta	Fecha de vaciado	Diámetro Cilindro (cm)			Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Rotura				
		D1	D2	D3				Fecha	Edad (días)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
MR1	17/5/2023	10.08	10.10	10.10	20.01	79.97	8.88	20/5/2023	3	14754.87	184.50	185
MR2	17/5/2023	10.10	10.10	10.09	20.01	80.03	8.90	20/5/2023	3	14884.65	186.00	
MR3	17/5/2023	10.08	10.09	10.08	20.02	79.81	8.88	24/5/2023	7	19442.64	243.60	243
MR4	17/5/2023	10.08	10.08	10.10	20.01	79.87	8.95	24/5/2023	7	19423.55	243.20	
MR5	17/5/2023	10.08	10.10	10.09	20.03	79.92	8.90	31/5/2023	14	25965.80	324.90	326
MR6	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.01	79.87	8.88	31/5/2023	14	26148.31	327.40	
MR7	17/5/2023	10.08	10.1	10.09	20.01	79.92	8.88	14/5/2023	28	28047.70	350.95	352
MR8	17/5/2023	10.09	10.09	10.08	20.02	79.87	8.95	14/5/2023	28	28208.87	353.20	

Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de compresión de concreto ViscoCrete 4100

Etiqueta	Fecha de vaciado	Diámetro Cilindro (cm)			Altura (cm)	Area (cm ²)	Peso (kg)	Rotura				
		D1	D2	D3				Fecha	Edad (días)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
HR1	17/5/2023	10.07	10.08	10.08	20.01	79.71	8.88	20/5/2023	3	17869.00	224.18	225
HR2	17/5/2023	10.08	10.08	10.09	20.01	79.81	8.90	20/5/2023	3	18077.82	226.50	
HR3	17/5/2023	10.08	10.09	10.09	20.01	79.87	8.88	24/5/2023	7	24351.32	304.90	305
HR4	17/5/2023	10.08	10.10	10.10	20.03	79.97	8.95	24/5/2023	7	24463.49	305.90	
HR5	17/5/2023	10.09	10.10	10.1	20.03	80.03	8.90	31/5/2023	14	28435.28	355.33	356
HR6	17/5/2023	10.09	10.08	10.08	20.02	79.81	8.88	31/5/2023	14	28469.58	356.70	
HR7	17/5/2023	10.10	10.10	10.09	20.01	80.03	8.88	14/5/2023	28	32033.21	400.29	402
HR8	17/5/2023	10.08	10.07	10.08	20.01	79.71	8.95	14/5/2023	28	32200.55	403.98	

Determinación de costos para 1 m³ de hormigón.

ADITIVO 161 HE					
Material	Cantidad	Unidad	P.unitario	P.Total	% Porcentaje
Arena	0.40	m3	22.00	8.72	9.35
Ripio 3/4	0.32	m3	21.58	6.89	7.39
Aditivo	11.90	kg	1.65	19.64	21.07
Cemento	351.45	kg	0.17	57.99	62.19
Costo Total por m3				93.24	
ADITIVO HE 200					
Material	Cantidad	Unidad	P.unitario	P.Total	% Porcentaje
Arena	0.44	m3	22.00	9.67	10.02
Ripio 3/4	0.32	m3	21.58	6.89	7.14
Aditivo	11.90	kg	2.64	31.43	32.57
Cemento	294.00	kg	0.17	48.51	50.27
Costo Total por m3				96.50	
ADITIVO VISCOCRETE 4100					
Material	Cantidad	Unidad	P.unitario	P.Total	% Porcentaje
Arena	0.49	m3	22.00	10.88	16.46
Ripio 3/4	0.32	m3	21.58	6.89	10.42
Aditivo	4.29	kg	2.98	12.77	19.32
Cemento	215.60	kg	0.17	35.57	53.80
Costo Total por m3				66.12	