



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civiles

AUTORES: Alcides Fernando Mena Jaramillo

Stalin Andrés Obando Santillán

TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alcides Fernando Mena Jaramillo con documento de identificación N°1721671103 y Stalin Andres Obando Santillán con documento de identificación N°1721233938; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Alcides Fernando Mena Jaramillo

1721671103



Stalin Andrés Obando Santillán

1721233938

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alcides Fernando Mena Jaramillo con documento de identificación N°1721671103 y Stalin Andrés Obando Santillán con documento de identificación N°1721233938; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Diseño y análisis de una mezcla de Hormigón Hidráulico de alta resistencia para la elaboración de Rejillas de Sumideros Viales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Alcides Fernando Mena Jaramillo

Stalin Andrés Obando Santillán

1721671103

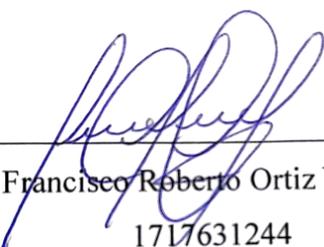
1721233938

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N°1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES, realizado por Alcides Fernando Mena Jaramillo con documento de identificación N°1721671103 y por Stalin Andrés Obando Santillán con documento de identificación N°1721233938, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD.
1717631244

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA ELABORACIÓN DE REJILLAS DE SUMIDEROS VIALES

DESIGN AND ANALYSIS OF A HIGH-RESISTANCE HYDRAULIC CONCRETE MIXTURE FOR THE ELABORATION OF ROAD DRAIN GRATES

Alcides Mena-Jaramillo¹, Stalin Obando-Santillán²

Resumen

Siendo el hormigón el material más utilizado en la construcción. En esta investigación se tuvo como objetivo la elaboración de una mezcla de hormigón que supere los 80 MPa con el cual se elaboró un prototipo de rejilla de sumidero vial que fue construido en su totalidad con este único material. La investigación toma en cuenta la calidad de los materiales y su disponibilidad en el mercado en el país. Para llegar a este objetivo se realizaron distintas dosificaciones con variación en la cantidad de humo de sílice e incorporando un aditivo reductor de agua de alto rango siguiendo las especificaciones de la norma ACI 363R 10. Para la elaboración de la rejilla de sumidero vial se la realizó con similares dimensiones a las rejillas de sumideros viales tradicionales de hierro fundido. Dando como resultado un hormigón de alta resistencia de 80,76 MPa días que posteriormente se lo utilizó para elaborar el prototipo de rejilla de sumidero vial que como resultado soporto una carga de 59.2 kN que no cumple con los requerimientos que especifica la norma NTE INEN 2496.2009.

Palabras clave: Rejillas de sumideros viales, Hormigón de alta, Humo de sílice, Agregado de cuarzo.

Abstract

Concrete being the most used material in construction. In this investigation, the objective was the elaboration of a concrete mixture that exceeds 80 Mpa with which a prototype of a road drain grid was elaborated that was built entirely with this unique material. The research takes into account the quality of the materials and their availability on the market in the country. To achieve this objective, different designs were made with a variation in the amount of silica fume and incorporating a high-range water reducing additive following the specifications of the ACI 363R 10 standard. For the preparation of the road drain grate, it was made with similar dimensions to the traditional iron road drain grates. Resulting in a high-resistance concrete of 80.76 MPa that was later used to develop the road drain grid prototype that as a result supported a load of 59.2 kN that does not comply the requirements specified by the NTE INEN 2496.2009 standard.

Keywords: Road drain gratings, High concrete, Silica fume, Quartz aggregate.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

Autores para correspondencia: amenaj@est.ups.edu.ec, sobandos@est.ups.edu.ec

1. Introducción

El constante aumento de la sustracción de rejillas forjadas por hierro fundido en nuestro país, nos obliga a generar una solución a este problema utilizando diferentes materiales de fabricación de rejillas de sumideros viales que sean capaces de soportar cargas pesadas y resistir las condiciones ambientales más adversas como las de aleación de hierro en uso actualmente. Las rejillas de sumideros viales son de gran importancia al proporcionar una solución eficiente para el drenaje de aguas pluviales y la gestión adecuada del flujo vehicular.

Sin embargo, al presentarse este recurrente problema y con el objetivo de resolver esta problemática, este análisis se centró en el diseño de una mezcla de hormigón de alta resistencia concretamente elaborada para la fabricación de rejillas de sumideros viales. Mediante el uso de agregados minerales, materiales cementantes destacando su base el uso de cemento general, humo de sílice y aditivos que cuenten con disponibilidad en el Ecuador.

En el campo de la ingeniería civil es muy común el uso de hormigón de alta resistencia, el cual es utilizado cuando una estructura es expuesta a grandes cargas, Toapanta [1] indica que se puede considerar un hormigón de alta resistencia aquel que obtenga una resistencia a la compresión mayor a 50 MPa. Para alcanzar la resistencia requerida de acuerdo a su utilidad y en un tiempo determinado, existen varios factores para ser analizados y basados según las normativas pertinentes. Entre estos factores tenemos, la forma en la que se va a dar uso a este hormigón. Adicional a esto, se tomará en cuenta la inclusión de diferentes aditivos que ayuden al hormigón a llegar a la resistencia requerida, con una dosificación estricta y manejo cuidadoso de los materiales a utilizar.

El presente análisis y diseño se basó en la norma americana ACI 363R 10[2], que establece las condiciones y especificaciones para el diseño de hormigón de alta resistencia cuya característica principal es crear un hormigón con una elevada resistencia a la compresión, durabilidad y capacidad de carga sin olvidar el cumplimiento de la resistencia a flexión que las rejillas exigen.

Tomando como objetivo principal la selección de los materiales y las proporciones adecuadas, con el fin de elaborar rejillas de sumideros viales que cumplan con propiedades mencionadas. Para ello, se llevó a cabo distintos análisis de laboratorio, como la de resistencia a la compresión, resistencia al desgaste de material, análisis granulométrico de agregados mediante normas aprobadas y vigentes en el Ecuador.

Los resultados obtenidos en este estudio contribuirán al desarrollo de rejillas de sumideros viales, Además, se espera que esta investigación proporcione información útil y recomendaciones para un mayor conocimiento y futuros diseños de hormigones de alta resistencia.

2. Materiales y Métodos

Para el diseño de la mezcla de hormigón se tomó como referencia la norma ACI 363R 10[2], los materiales utilizados en la composición fueron; cemento general tipo I GU, agregado grueso de origen de río, agregado fino “arena de sílice (cuarzo)”, humo de sílice, agua y un aditivo reductor de agua de alto rango. La selección de estos materiales se la determino gracias a los resultados obtenidos en laboratorio dando como resultado su alta resistencia a la compresión y al desgaste.

2.1. Cemento

El cemento que se utilizó en la mezcla de hormigón fue el cemento Tipo I GU que cumple con los requerimientos de la norma ASTM C1157[3].

2.2. Humo de sílice

Definido como humo de sílice o micro sílice este material como nos indica Allauca et al [4], es obtenido en hornos de arco eléctrico como residuos en la elaboración de silicio, otorgando aumentos a la resistencia del hormigón hidráulico entre un 20 a 50%. Haciéndolo necesario para obtener propiedades de alta resistencia, sin embargo, esta adición produce pérdida de manejabilidad que se compensa con el uso de aditivos superplastificantes para la elaboración del diseño.

El humo de sílice se caracteriza por su alta reactividad química y su tamaño de partícula extremadamente pequeño, por lo cual se tomó debidas precauciones a la hora del manejo del material cementante debido a su relevancia y composición dentro de la mezcla de hormigón, la composición química y propiedades físicas de este material que fue proporcionada por el fabricante se encuentra en la tabla 1 y 2.

Tabla 1: Componentes químicos de Humo de sílice [5].

Componentes	Wt%
Silicon Dioxide (SiO ₂)	> 85.
Carbon (C)	< 6
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	< 2
Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	< 2
Sodium Oxide (Na ₂ O)	< 2
Potassium Oxide (K ₂ O)	< 2
Magnesium Oxide (MgO)	< 2
{ Calcium Oxide (CaO)	< 2

Tabla 2: Propiedades físicas del Humo de sílice [5].

Propiedades Físicas	Descripción
Physical State	Amorphous sub-micron powder dust has tendency to agglomerate.
Color	Light gray to medium gray
Melting Point	1200°C-1300°C.
pH	6.0 to 9.0
Bulk Density	approx. 128-720 kg/m ³
Specific Gravity	2.50
Particle Size	approx. 0.4 um
Solubility in Water	Insoluble

2.3. Agua

El agua es un elemento de la mezcla que debe cumplir ciertas especificaciones como; limpieza, potabilidad, contenido de sales controlado, un pH dentro del rango entre 6 y 8, contenido de cloruros y sulfatos controlados.

Para la elaboración de la mezcla se utilizó agua de la red de distribución de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito debido a la buena calidad de la misma y el cumplimiento de los requisitos de la norma NTE INEN 2617 2012[6].

2.4. Aditivo Superplastificante

En hormigones que demanden una alta resistencia a la compresión la relación (agua/material cementante) es el factor más relevante debido a que el aumento de agua a la mezcla disminuiría la resistencia del hormigón. Para llegar a la resistencia requerida se adicione humo de sílice que tiene un área superficial alta y provoca el aumento en la demanda de agua, para solventar esta demanda se utilizó un aditivo reductor de agua de alto rango con la finalidad de mejorar la trabajabilidad y no afectar la resistencia del hormigón [7] y [8].

Para la mezcla se utilizó un aditivo basado en resinas sintéticas que se encuentran diluidas con un 40\% de contenido de solidos siendo el resto líquido que fue incluido en la relación (agua/material cementante).



Figure 1. Aditivo reductor de agua de alto rango.

2.5. Agregado Grueso

Siendo en gran medida un elemento que influye en la resistencia del hormigón se utilizó un agregado cuya resistencia al desgaste sea alta debido a que la resistencia se puede ver mermada si la calidad del agregado es mala [9], además de realizar ensayos de densidad, absorción y granulometría, los resultados de estos ensayos se muestran en la tabla 3.



Figure 2. Agregado grueso 3/8 de rio Toachi.

Tabla 3: Resultados de ensayos de laboratorio.

ENSAYOS DE LABORATORIO	
ENSAYO	RESULTADO
Desgaste ASTM C131	Amorphous sub-micron powder dust has tendency to agglomerate.
Densidad ASTM C127	Light gray to medium gray
Absorción ASTM C566	1200°C-1300°C.
Granulometría ASTM C40	6.0 to 9.0

Por tal motivo se utilizó un agregado mineral del río Toachi con un tamaño máximo nominal de 3/8". Para la granulometría que se encuentra basada en las especificaciones de la ASTM C40 el agregado cumple con la misma como se muestra en la figura 3.

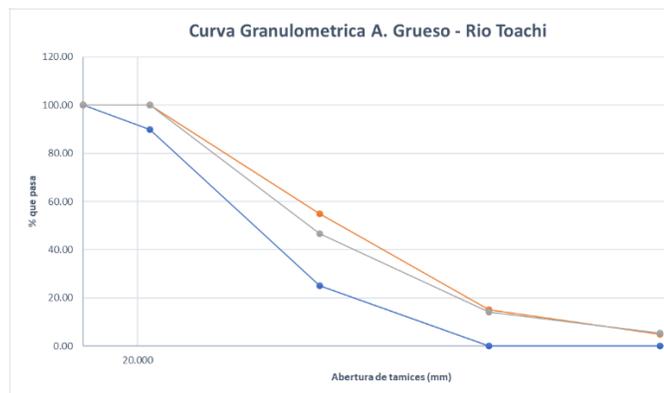


Figure 3. Granulometría Agregado Grueso 3/8"

2.6. Agregado Fino

El agregado fino al igual que el agregado grueso desempeña un papel fundamental en la elaboración de un hormigón de alta resistencia ya que el

agregado fino debe proporcionar una superficie de contacto óptima entre las partículas de los agregados y la pasta de material cementante con la finalidad de evitar segregación en la mezcla [10].



Figure 4. Arena sílica (cuarzo).

El agregado fino que se utilizó en la mezcla de hormigón fue la arena sílica (cuarzo) debido a que presenta un grado de dureza 7 en la escala me Mohs[11]. Por otra parte, el módulo de finura fue de 2,6 que se encuentra dentro del rango que recomienda la ACI 363R [2], de igual manera la granulometría fue basada en las especificaciones de la ASTM C40[12] como se muestra en la figura 5.

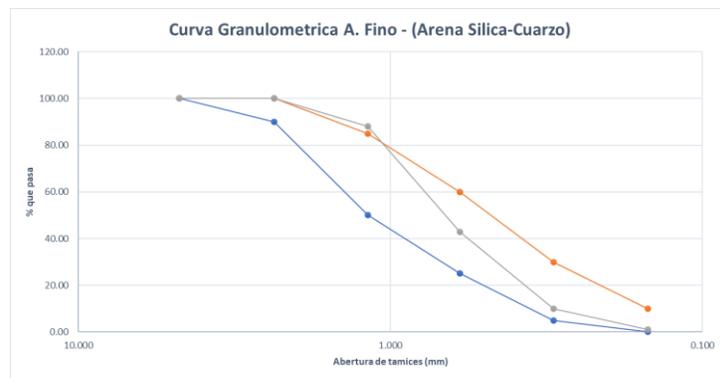


Figure 5. Granulometría Agregado Fino.

2.7. Investigación

El objetivo de esta investigación es realizar un prototipo de rejilla de sumidero vial, la que será elaborada en su totalidad con la mezcla de

hormigón de alta resistencia previamente diseñada en laboratorio y que pueda soportar las resistencias a las que se verá exigida en campo. Como primer requerimiento se desea obtener una resistencia a la compresión del hormigón superior a los 80 MPa y como segundo requerimiento una resistencia de la rejilla que satisfaga los requerimientos de la norma NTE INEN 2496[6].

2.8 Muestra

Para la dosificación de la muestra se basó en la norma ACI 363R 10[2] que recomienda el porcentaje de humo de sílice en relación con el cemento, la relación agua/material cementante y el porcentaje de agregados minerales. Por otra parte, para la incorporación del aditivo a la mezcla se basó en la recomendación del fabricante.

2.9 Elaboración de muestras

Para esta preparación adecuada de muestras de hormigón de alta resistencia se realizó 4 tipo de muestras variando su contenido de humo de sílice que se encuentra dentro de los límites de porcentaje validos según la normativa ACI 363R 10[2] incorporando distintas cantidades de agua para comparación y mejorar su trabajabilidad. Utilizando una mezcladora para la elaboración de la pasta de materiales cementantes incluyendo el aditivo reductor de agua, posteriormente el uso de un taladro equipado con una paleta mezcladora para incorporar el agregado grueso con el fin de garantizar una distribución homogénea y una mezcla eficiente.

Materiales: Los materiales necesarios para la preparación del hormigón de alta resistencia, necesarios para esta muestra. Incluyen cemento, agregados finos y gruesos, agua, aditivos y micro sílice. Asegurarse de que los materiales cumplan con las normas y especificaciones requeridas.

Cálculo de componentes: Pesarse los componentes según las proporciones preestablecidas en el cuadro de dosificación del diseño de mezcla. Esto incluye la cantidad adecuada de cemento, agregados, agua y aditivos, así como la cantidad de micro sílice recomendada según el porcentaje especificado en la dosificación.



Figure 6. proporción de elementos de la mezcla.

Mezcla continua: Utilizando la mezcladora de pasta se agrega la cantidad de agua necesaria posteriormente los materiales cementantes (cemento y Micro sílice) se deja mezclar durante 5 minutos agregando de forma controlada el aditivo hasta que la mezcla adquiera una forma líquida similar a una pasta he incorporado de forma dosificada la arena hasta que esta se encuentre totalmente incorporada a la pasta.



Figure 7. mezcladora de pasta.

Para la incorporación del agregado grueso de 3/8" se vierte en un recipiente la pasta y se agrega de forma controlada el agregado grueso utilizando

un taladro durante al menos 5 minutos para asegurar que la muestra se distribuya de forma homogénea generando así una adecuada dispersión de los materiales. Asegurarse de que no queden grumos y que la mezcla tenga una consistencia uniforme.



Figure 8. Mezclado con taladro.

Moldes de muestra: Se vertió la mezcla de hormigón en los moldes de muestra previamente preparados con dimensiones cúbicas de 100 cm³. asegurándose de llenarlos por completo y eliminar cualquier posible bolsa de aire golpeando suavemente los moldes.



Figure 9. Moldes de madera.

Curado de las muestras: Se colocó las probetas de muestra en una piscina de curado sumergiéndolas por completo durante el período especificado para permitir que el hormigón se endurezca y desarrolle sus propiedades deseadas hasta su fecha de ensayo[13].

3. Resultados y Discusión

3.1 Selección de mezcla

La variación del humo de sílice en la mezcla de hormigón fue determinante a la hora de obtener la dosificación final, para ser utilizada en la elaboración del prototipo de rejilla de sumidero vial como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Dosificaciones de mezclas de hormigón

DOSIFICACIÓN ACI 363R 10				
Materiales	1 m ³	1 m ³	1 m ³	1 m ³
Relacion w/mc	0,25	0,25	0,25	0,25
Cemento (kg)	510	510	510	510
Humo de sílice HS/mc (%)	10	12	13,5	15
C. volante 25% (Cemento)(kg)	127,5	127,5	127,5	127,5
Cemento total(kg)	637,5	637,5	637,5	637,5
Agregado grueso 3/8" (kg)	1168	1168	1168	1168
Agregado fino (kg)	721	721	721	721
Aditivo HRWR/mc (%)	2	2	2	2
Agua (kg)	158,4	160,7	162,5	164,2

Posterior a realizar los ensayos a compresión de las probetas de hormigón según la norma ASTM C39[14], se realizó una corrección con un factor de forma de 0.99 basándose en la norma chilena NCh 170[15], debido a que las probetas ensayadas fueron cúbicas. Dando como resultado que la mezcla en la que se utilizó el 12% de humo de sílice en relación con el peso del material cementante de la mezcla fue la que obtuvo mayor resistencia a la compresión a los 28 días como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Resistencia vs porcentaje de humo de sílice

RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	
Humo de Sílice (%)	Resistencia (MPa)
10	53,27
12	76,91
13,5	70,87
15	68,49

La resistencia a la compresión obtenida a los 28 días fue de 76,91 MPa, debido a que según la norma ACI 363R[2] la resistencia máxima del hormigón

se la obtiene a los 91 días, se optó por realizar un ensayo a los 35 días de la mezcla que contiene el 12\% de humo de sílice que dio como resistencia a la compresión 80,76 MPa, basándonos en esta norma la resistencia final podría alcanzar un aumento de entre 4 y 6\% con relación a la resistencia obtenida a los 35 días.

3.2 Prototipo de rejilla de sumidero vial

Para la elaboración del prototipo de rejilla de sumidero vial se utilizó como único material, hormigón de alta resistencia cuyo diseño de mezcla fue previamente diseñado y ensayado en laboratorio. Al momento de utilizar como único material el hormigón se debe tomar en cuenta que, si bien el hormigón es un material que tiene una gran resistencia a la compresión, mientras esta resistencia aumenta su resistencia a la flexión disminuye [16] y [17], por este motivo se determinó modelar el prototipo de rejilla con similares dimensiones a las rejillas tradicionales de hierro fundido, con la única diferencia que en este prototipo de rejilla se modelo con un arco convexo al contrario de las rejillas de hierro fundido. Esta modificación se la realizo con la finalidad que el hormigón trabaje a compresión y poder evitar esfuerzos a flexión.



Figure 10. Rejilla de sumidero vial.

3.3 Elaboración de prototipo de rejilla

Mezcla: Se utilizó la mezcla con mayor desempeño previamente seleccionada, mediante ensayos de laboratorio a compresión.

Preparación de la mezcla: La preparación de la mezcla fue la misma que se utilizó en el punto 2.9

Molde: El molde que se utilizo fue elaborado en su totalidad en madera, con dimensiones que establece la norma NTE INEN 2496 para una rejilla tipo B.



Figure 11. Molde de rejilla de sumidero vial.

3.4 Resultados del desempeño de la rejilla

Se realizó el ensayo de laboratorio utilizando el procedimiento y requerimientos que menciona la norma NTE INEN 2496 2009[18]. Para este ensayo se utilizó una prensa hidráulica universal SHIMADZU de 500kN de capacidad de carga como se muestra en la figura 12.



Figure 12. Prensa Hidráulica SHIMADZU.

El ensayo se realizó a una velocidad de 1kN/s y la carga se la aplico en el centro del prototipo de rejilla, transmitiendo la carga con una placa circular de 25cm de diámetro y se colocó el prototipo de rejilla en una base metálica que simula la base que se encuentra empotrada en la calzada como se muestra en las figuras 13 y 14. Dando como resultado que la rejilla no cumplió con lo que requiere la norma NTE INEN 2496\cite {NTEINEN2496} que especifica que la rejilla debe soportar 167kN.



Figure 13. Base de rejilla de sumidero vial.



Figure 14. Rejilla montada en su base.

Al momento de efectuarse el ensayo el prototipo de rejilla presento fisuras en el instante que la carga llego a 59.2kN y rotura total del prototipo de rejilla a los 78kN como se muestra en la figura 15.



Figure 15. Rotura Total del prototipo de rejilla.

4. Conclusiones

Tras analizar los resultados obtenidos, se observó que la muestra con un porcentaje de humo de sílice del 12\% presentó la mayor resistencia a la compresión a los 28 días, este resultado afirma que la incorporación de este material cementante en la mezcla influye considerablemente en su resistencia a la compresión.

Una vez obtenidos los resultados con los distintos porcentajes de humo de sílice en la mezcla se determinó que la incorporación de mayor cantidad de humo de sílice no representa un aumento en la resistencia del hormigón.

La preparación de la mezcla de un hormigón de alta resistencia debe ser muy cuidadosa. Este trabajo nos indica la importancia que adquiere cada paso del proceso de mezclado para garantizar la calidad y resistencia del hormigón ya que de no cumplir con los cuidados necesarios los materiales no trabajaran de forma correcta resultando en un desempeño erróneo del hormigón.

Una vez ensayada la rejilla de sumidero y no habiendo cumplido con las especificaciones que dicta la normativa, se determinó que el usar un arco convexo y un ángulo similar al de las rejillas convencionales de hierro fundido no es suficiente para soportar la carga requerida.

Terminado el trabajo de investigación quedan futuros campos de investigación como; La verificación de la eficiencia hidráulica, mezcla mas fluida, Resistencia a la flexión.

Referencias

- [1] M. Toapanta Iza, “Hormigones de alta resistencia ($f'c=59\text{mpa}$) utilizando agregados del sector de Pifo y cemento armado especial– lafarge”, trabajo de fin de grado, Universidad central del Ecuador 2014.
- [2] ACI 363R-10 2010. “Report on high-strength concrete”, American Concrete Institute.
- [3] ASTM C1157 2010, “Standard performance specification for hydraulic cement”, American society for Testing and Materials.
- [4] Allauca, L. et al, “Uso de sílice en hormigones de alto desempeño”, Escuela superior politécnica del litoral, 2009 [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/7684>.
- [5] ACI 234R-06. 2006. “Guide for the Use of Silica Fume in Concrete”, American Concrete Institute, 63p.
- [6] NTE INEN 2617 2012, “Hormigón de cemento hidráulico. agua para mezcla,” Norma técnica ecuatoriana.
- [7] J. Reina, M. Sanchez, and E. Solano, “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido,” Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador, 2010.
- [8] J. Tello Tantaleán, “Estudio de la eficiencia del aditivo sika® cem plastificante en el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia utilizando concreto reciclado en chiclayo”, Universidad señor de Sipán 2017.
- [9] R. C. Loor Zambrano and A. Menoscal Cevallos, “Análisis comparativo de las características físico-químicas y petrográficas del agregado grueso de las canteras de los sectores de picoazá, cerro guayabal, el chorrillo que abastecen a la ciudad de manta y sus influencias en la resistencia del hormigón.”, Universidad laica Eloy Alfaro, 2013.

- [10] N. Solíz, “Elaboración de adoquines de concreto, utilizando como agregado fino arena cuarzo-feldespática”, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.
- [11] F. L. Bardales Zegarra and B. A. Neyra Aguilar, “Influencia del cuarzo reemplazante del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto, ”, Universidad privada del norte, Trujillo, Perú, 2018.
- [12] ASTM C40 2004, “Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete”, American society for Testing and Materials.
- [13] ASTM C31 2021, “Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field”, American society for Testing and Materials.
- [14] ASTM C39 2021, “Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens”, American society for Testing and Materials.
- [15] NCh 170 2000, “Hormigón requisitos generales”, Norma chilena Oficial.
- [16] J. García Calderon, “Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la comprensión del concreto”, Universidad pontificia bolivariana, 2013.
- [17] V. E. Bendezu Zuñiga and J. P. Laura Huaman, “Influencia del mortero reforzado en la resistencia a la flexión de las rejillas pluviales”, Universidad nacional de Huancavelica 2022.
- [18] NTE INEN 2496 2009 “Tapas para uso en pozos y redes subterráneas, rejillas de alcantarillado, requisitos e inspección”, Norma técnica ecuatoriana.