



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL
AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE
HORNO ELÉCTRICO

AUTOR: LAICA FERNÁNDEZ DARÍO JAVIER

TUTORA: Ing. M.Sc. MARITZA UREÑA

AMBATO- ECUADO 2018

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Yo, Ing. M.Sc. Maritza Ureña certifico que la presente tesis de grado “**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO**” realizada por el Sr. Darío Javier Laica Fernández, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato; se ha desarrollado bajo mi tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Julio de 2018

Ing. M.Sc. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Darío Javier Laica Fernández, con CI. 1804261608 Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO”** es de mi completa autoría.

Darío Javier Laica Fernández

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de titulación bajo la modalidad de Trabajo experimental o parte de él, un documento disponible de lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de Titulación bajo la modalidad de trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio de 2018

Darío Javier Laica Fernández

AUTOR

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO”** de Darío Javier Laica Fernández, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman,

Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Byron Cañizares
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo primeramente se lo dedico a Dios y a mi angelito allá en el cielo Angie Lisett, por haberme permitido llegar tan lejos, bendiciéndome, iluminándome y permitiendo hacer las cosas de muy buena manera, tomando las mejores decisiones para mi vida.

A mi esposa Milena Burgos y a mí hijo por haberme brindado todo su apoyo incondicionalmente.

A mis padres Augusto Laica y a mi madrecita Mariana Fernández que estuvieron en todo momento, dándome todo lo necesario para poder cumplir esta meta, gracias por todos sus consejos y enseñanzas que me brindaron día tras día.

A mi familia y a todos quienes me brindaron su apoyo durante este largo camino.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi esposa Milena Burgos que fue, es y seguirá siendo la mejor en vida, por haberme apoyado de todas las maneras posibles durante todo este tiempo y permitiendo llegar a cumplir un sueño más en mi vida, gracias por los consejos y sobre todo por la paciencia que me tuvo todos estos años para poder llegar a mi meta.

A mi hijo que es la fuente, el motor por el cual me esfuerzo día tras día para ser mejor, gracias a él, que me hace ser fuerte y me ayuda a vencer los obstáculos que se presenta en la vida.

Gracias a mis padres Augusto Laica y a mi madrecita Mariana Fernández que estuvieron en todo momento, dándome todo lo necesario para poder cumplir esta meta, gracias por todos sus consejos y enseñanzas que me brindaron día tras día.

Gracias a mis abuelitos que fueron como mis padres ya que crecí con ellos y me brindaron buenas enseñanzas, costumbres, valores y me permitieron ser una mejor persona.

Gracias a mis tíos Juan, Javier, David, Clelia, Sonia, Adán, Narciza y todos aquellos que en gran parte influyeron en mi vida, porque gracias a ellos que me han apoyado de una u otra manera he podido cumplir un sueño más en la vida.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|--------------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR..... | II |
| AUTORÍA..... | III |
| DERECHOS DE AUTOR | IV |
| APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO..... | V |
| DEDICATORIA | VI |
| AGRADECIMIENTOS | VII |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XI |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | XIV |
| RESUMEN EJECUTIVO | XVI |

B. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

| | |
|--|---|
| 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS | 5 |
| 1.4.1 Objetivo General:..... | 5 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos:..... | 5 |

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

| | |
|--|----|
| 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 6 |
| 2.1.1 ESCORIA SIDERÚRGICA..... | 6 |
| 2.1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ESCORIA..... | 6 |
| 2.1.3 ESCORIA NEGRA..... | 8 |
| 2.1.4 HORMIGÓN SIMPLE | 9 |
| 2.1.5 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO..... | 10 |
| 2.1.6 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO..... | 13 |
| 2.1.7 COMPONENTES DEL HORMIGÓN | 21 |
| 2.1.8 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS | 25 |
| 2.1.9 SULFATOS EN EL HORMIGÓN | 30 |
| 2.2 HIPÓTESIS..... | 35 |
| 2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES..... | 35 |
| 2.3.1 Variable independiente | 35 |
| 2.3.2 Variable dependiente..... | 35 |

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

| | |
|---|----|
| 3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 36 |
| 3.2 POBLACIÓN..... | 36 |
| 3.2.1 Muestra..... | 37 |
| 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 39 |

| | |
|--|----|
| 3.3.1 Variable Independiente | 39 |
| 3.3.2 Variable Dependiente..... | 40 |
| 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 41 |
| 3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS | 43 |
| 3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información..... | 43 |
| 3.5.1 Plan de Análisis..... | 43 |

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|--|-----|
| 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS | 44 |
| 4.1.1 Ensayos Realizados a los agregados | 44 |
| 4.1.2 Dosificación del Hormigón..... | 60 |
| 4.1.3 Elaboración del Hormigón ($f'c=240 \text{ kg/cm}^2$) | 67 |
| 4.1.4 Ensayo a Compresión de las Muestras de Hormigón | 79 |
| 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 80 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS | 109 |

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|--------------------------|-----|
| 5.1 CONCLUSIONES | 110 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 113 |

A.- MATERIALES DE REFERENCIA

| | |
|-----------------------|-----|
| 2.- ANEXOS | 119 |
| 2.1 FOTOGRAFÍAS | 119 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1. Consistencia del Hormigón en estado fresco | 11 |
| Tabla N° 2. Categorías y clases de exposición..... | 20 |
| Tabla N° 3. Componentes principales del cemento | 21 |
| Tabla N° 4. Límites de porcentaje que pasa el agregado fino | 26 |
| Tabla N° 5. Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso..... | 27 |
| Tabla N° 6. Número de muestras a ensayar | 37 |
| Tabla N° 7. Características de la Máquina de Compresión..... | 38 |
| Tabla N° 8. Operacionalización de la variable Independiente | 39 |
| Tabla N° 9. Operacionalización de la variable Dependiente..... | 40 |
| Tabla N° 10. Plan de recolección de información..... | 41 |
| Tabla N° 11. Granulometría del Agregado Fino | 45 |
| Tabla N° 12. Granulometría de la Escoria Siderúrgica | 47 |
| Tabla N° 13. Granulometría del Agregado Grueso | 49 |
| Tabla N° 14. Densidad Aparente Suelta de los Agregados | 51 |
| Tabla N° 15. Densidad Aparente Compactada de los Agregados | 52 |
| Tabla N° 16. Densidad Aparente Compactada de Mezcla de Agregados | 53 |

| | |
|--|----|
| Tabla N° 17. Densidad Real de la Arena..... | 55 |
| Tabla N° 18. Densidad Real del Ripio | 56 |
| Tabla N° 19. Densidad Real del Cemento..... | 57 |
| Tabla N° 20. Densidad Real de la Escoria | 58 |
| Tabla N° 21. Capacidad de Absorción de los Agregados | 59 |
| Tabla N° 22. Datos para Dosificación..... | 60 |
| Tabla N° 23. Resistencia a Compresión de acuerdo con la Relación agua/cemento | 61 |
| Tabla N° 24. Cantidad de Pasta en función del Asentamiento..... | 62 |
| Tabla N° 25. Dosificación para 6 probetas cilíndricas | 66 |
| Tabla N° 26. Dosificación para 6 probetas cilíndricas en reemplazo de arena por escoria siderúrgica..... | 67 |
| Tabla N° 27. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 14 Días de edad. | 70 |
| Tabla N° 28. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 28 Días de edad. | 72 |
| Tabla N° 29. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 60 Días de edad. | 74 |
| Tabla N° 30. Propiedades del Hormigón Fresco en muestras a someterse al ataque de Sulfatos..... | 76 |
| Tabla N° 31. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 14 días de edad | 81 |
| Tabla N° 32. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 28 días de edad | 83 |

| | |
|--|-----|
| Tabla N. 33. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 60 días de edad..... | 85 |
| Tabla N° 34. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 0% de Escoria..... | 87 |
| Tabla N° 35. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 10% de Escoria..... | 89 |
| Tabla N° 36. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 20% de Escoria..... | 91 |
| Tabla N° 37. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 30% de Escoria..... | 93 |
| Tabla N° 38. Resistencia a Compresión del Hormigón sometido al Ataque de Sulfatos | 95 |
| Tabla N° 39. Resumen del Hormigón en Estado Endurecido a los 14 Días de Edad | 97 |
| Tabla N° 40. Resumen del Hormigón Endurecido a los 28 Días de Edad | 98 |
| Tabla N° 41. Resumen del Hormigón Endurecido a los 60 Días de Edad | 99 |
| Tabla N° 42. Resumen del Hormigón Sometido a Sulfatación..... | 100 |
| Tabla N° 43. Resumen del Hormigón con 0% a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación..... | 101 |
| Tabla N° 44. Resumen del Hormigón con 10% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación | 102 |
| Tabla N° 45. Resumen del Hormigón con 20% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación | 103 |
| Tabla N° 46. Resumen del Hormigón con 20% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación. | 104 |
| Tabla N° 47. Resumen de la Resistencia a Compresión del Hormigón sometido a sulfatación y muestras no sometidas..... | 106 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|---|
| Gráfico N° 1. Funcionamiento de un Horno de Arco Eléctrico | 8 |
| Gráfico N° 2. Escoria Negra..... | 8 |
| Gráfico N° 3. Metodología para determinar el asentamiento..... | 12 |
| Gráfico N° 4. Esquema típico de fractura en el hormigón | 16 |
| Gráfico N° 5. Deterioro de estructuras de Hormigón frente al ataque por Sulfatos.. | 31 |
| Gráfico N° 6. Formación de la Etringita. | 33 |
| Gráfico N° 7. Curva Granulométrica de la Arena | 46 |
| Gráfico N° 8. Granulometría de la Escoria Siderúrgica | 48 |
| Gráfico N° 9. Granulometría del Agregado Grueso | 50 |
| Gráfico N° 10. Densidad Óptima de los Agregados..... | 54 |
| Gráfico N° 11. Dimensiones de los cilindros | 65 |
| Gráfico N° 12. Mezcla de Materiales | Gráfico N° 13. Agua añadida a la mezcla. |
| | 69 |
| Gráfico N° 14. Masa de Hormigón | Gráfico N° 15. Cono de Abrams ... |
| | 69 |
| Gráfico N° 16. Medición del asentamiento | Gráfico N° 17. Llenado de moldes |
| | 69 |
| Gráfico N° 18. Curva Densidad vs % Escoria Siderúrgica en el Hormigón Fresco . | 78 |
| Gráfico N° 19. Ensayo a Compresión | 79 |
| Gráfico N° 20. Curva Resistencia a Compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 14 días de edad. | 97 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico N° 21. Curva Resistencia a la compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 28 días de edad. | 98 |
| Gráfico N° 22. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 60 días de edad. | 99 |
| Gráfico N° 23. Curva Resistencia a compresión de Especímenes sometidos a Sulfatos vs % de Escoria. | 100 |
| Gráfico N° 24. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 0% de escoria sometido al ataque de sulfatos..... | 101 |
| Gráfico N° 25. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 10% de escoria sometido al ataque de sulfatos..... | 102 |
| Gráfico N° 26. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 20% de escoria sometido al ataque de sulfatos..... | 103 |
| Gráfico N° 27. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 30% de escoria sometido al ataque de sulfatos..... | 104 |
| Gráfico N° 28. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 14, 28, 60 días de edad. | 105 |
| Gráfico N° 29. Curva Resistencia a compresión del Hormigón a los 60 días de edad y sometido a sulfatación..... | 106 |
| Gráfico N° 30. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs Tiempo..... | 107 |
| Gráfico N° 31. Diagrama de barras Resistencia a Compresión vs Tiempo..... | 108 |

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO.

AUTOR: Egresado Darío Laica

TUTOR: Ing. M.Sc. Maritza Ureña

El trabajo experimental realizado tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos a través de ensayos a compresión utilizando la máquina de compresión marca ZHIMADZU, modelo CONCRETO 2000X para especímenes de 100mm de diámetro por 200mm de altura con sustituciones parciales del 0%, 10%, 20% y 30% del agregado fino por escoria siderúrgica para edades de 14, 28 y 60 días de edad además de someterles a un ataque acelerado de sulfatos a muestras con 60 días de edad, para determinar cómo influye en la resistencia a compresión.

Para poder realizar los especímenes de hormigón se realizó el análisis de los agregados a utilizar en la elaboración del hormigón para el diseño de la mezcla con un $f'c$ de 240 kg/cm², llegando a determinar la granulometría, densidad aparente suelta, densidad aparente compactada, densidad relativa y capacidad de absorción como describe la Normativa NTE INEN 696, 858, 856, 857 y 156. Una vez realizado la dosificación adecuada se elaboraron 96 especímenes para sus respectivos ensayos a determinadas edades.

Realizados los especímenes se procedió a realizar los ensayos de compresión a los 14, 28 y 60 días de edad, obteniendo información de cómo influye la escoria siderúrgica en la resistencia a compresión del hormigón en sus diferentes porcentajes de sustitución, Además de realizar un ensayo acelerado de sulfato de Magnesio MgSO₄ bajo el criterio de ACI318-14 donde se pudo notar desintegración de la pasta cementicia, incremento en sus dimensiones, aparición de microfisuras y una gran pérdida de resistencia después de haber sido sometido a ciclos de Inmersión, secado y enfriamiento en sulfato de magnesio.

ABSTRACT

THEME OF EXPERIMENTAL WORK

ANALYSIS OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY PARTIALLY REPLACING THE AGGREGATE FINE BY STEEL SLAG OF ELECTRIC FURNACE.

AUTHOR: Dario Laica

TUTOR: Ing. M.Sc. Maritza Ureña

The objective of the experimental work was to analyze the results obtained through tests of the ZHIMADZU compression machine, model CONCRETO 2000X for specimens of 100mm diameter by 200mm height with partial substitutions of 0%, 10%, 20% and 30% of fine aggregate by steel slag for ages of 14, 28 and 60 days of age in addition to undergoing death and death by 60 days of age, to determine how it influences the resistance to compression.

In order to carry out the concrete tests, the analysis of the aggregates in the elaboration of the concrete for the design of the mixture with a density of 240 kg / cm² was used, reaching to determine the granulometry, the loose bulk density, the compacted bulk density, Relative density and absorption capacity as described in Standards NTE INEN 696, 858, 856, 857 and 156. Once the appropriate dosage was made, 96 specimens were prepared for their designs. The specimens were processed to perform the compression tests at 14, 28 and 60 days of age, obtaining information on how to influence the steel slag in the compressive strength in cement in its different percentages of magnesium sulfate replacement. MgSO₄, under the criterion of ACI318-14, where it was possible to notice the disintegration of the cement paste, the increase in its dimensions, the appearance of microcracks and a great loss of resistance after having been subjected to cycles of immersion, drying and cooling in magnesium sulfate.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO.

1.2 ANTECEDENTES

Desde la antigüedad el hormigón ha sido el material de construcción más utilizado en nuestro medio, siendo este la principal fuente de construcción hoy en día llegando a formar parte de pavimentos en carreteras, edificaciones, puentes, túneles y todo lo relacionado con las grandes obras de la ingeniería civil actual. [1]

Debido a los grandes avances tecnológicos dentro de la ingeniería civil, se ha permitido la creación de nuevos materiales para la construcción como por ejemplo el reemplazo del árido tradicional por materiales como arcillas, escorias y pizarras expandidas procedentes de plantas industriales. [1]

Esto ha permitido desarrollar modificaciones en la elaboración del hormigón tradicional con el fin de mejorar sus propiedades, obteniendo hormigones más livianos y hormigones con una mayor vida útil, llegando a ser un nuevo material más competitivo en nuestro medio.

Como material de construcción las escorias siderúrgicas parecen ser utilizadas por primera vez al final del siglo XVIII en Inglaterra, siendo utilizadas como materiales conglomerantes, añadidas a los morteros o argamasas de cal. [2]

Entre los años 1825 y 1875 se dio mayor uso a dichas escorias en Alemania, formando parte de mezclas con cal, previo a su granulación, inicia las investigaciones hacia cementos hechos con escorias por parte de MICHAELIS. [2]

Alemania es la fuente de estudio, conocimiento y aplicación de las escorias siderúrgicas como material de construcción por lo general como material para la fabricación de conglomerantes hidráulicos, manteniendo comportamientos y empleos específicos muy directamente relacionados con la durabilidad o resistencia química del hormigón. [2]

España también es uno de los países con mayor número de investigaciones siendo este el que ha implementado tramos de carreteras para analizar el comportamiento de las escorias en las capas de rodadura de mezclas bituminosas, debido a que implica una menor contaminación ambiental y una reducción del consumo de recursos naturales.

Algunas de las carreteras que han implementado la escoria como material bitumen es la GI-3610 de Zizurkil a Andoain por Aduna, en la provincia de Guipúzcoa en un tramo de 500 metros, Ballonti (300 m), acceso de Ballonti a Nervacero (200 m), Carmen Galindo (500 m), llegando a obtener excelentes resultados, Por otro lado la Comunidad Autónoma del País Vasco también ha implementado carreteras sustituyendo el árido tradicional por escoria de acería. [3]

En relación a la fabricación de hormigón con escoria, las primeras aplicaciones se han dado en España en donde hay que destacar el proyecto “KUBIK” en la cual formaron parte (FYM) empresa financiera y minera, el centro Tecnológico Labein - Tecnalía y la empresa Hormigones y Morteros Agote ejecutado en 2008. [3]

Este proyecto utilizó escoria siderúrgica en un 80% en la composición del hormigón para la fundición de losas de cimentación y muros de sótano con una resistencia de 300 Toneladas por metro cuadrado para la construcción de la subestructura de Labein-Tecnalia en el Parque Tecnológico de Vizcaya. [3]

En el Ecuador el uso primordial que se le da a las escorias de acería es para la fabricación de cemento siderúrgico, proporcionando a industrias extranjeras dicho material para la creación de cemento en nuestro país, por otro lado este material también es utilizado en nuestro país como cama de arena para la implementación de adoquines y la fabricación de bloques huecos y adoquines de hormigón con escoria debido a que representan un ahorro de cemento y de dinero en el proceso de producción. [4]

1.3 JUSTIFICACIÓN

En Europa se producen al año 12 millones de toneladas de escoria de acería, de las cuales el 65% cuentan con una aplicación, es por eso que debido a la necesidad de garantizar un uso prudente y adecuado de los recursos naturales y de la necesidad de disminución de los vertidos industriales, impulsa a la utilización de residuos y subproductos derivados de las industrias siderúrgicas como materiales para la construcción. [5]

Europa ha sido testigo de grandes estudios realizados para evaluar el comportamiento de este material de desperdicio siderúrgico (escoria), siendo España uno de los países con mayor número de investigaciones. [5]

La escoria siderúrgica actualmente es utilizada principalmente en la industria de los materiales de la construcción, donde han alcanzado determinadas aplicaciones; particularmente en Europa, donde se comercializan cementos compuestos de Cemento Portland y escorias. En Argentina se les utiliza como material de relleno en caminos y como capa base en carreteras, debido a su buena resistencia mecánica a la abrasión y al choque, como consecuencia de su gran dureza. López (1990) plantea que en España se le usa en la obtención de cementos siderúrgicos. [6]

En Rusia la escoria es utilizada como árido grueso para la confección de hormigones debido a que estas son enfriadas lentamente, proporcionando a éstas de mejores propiedades hidráulicas, siendo su principal campo de aplicación la utilización como árido para el hormigón, debido a que posee propiedades mecánicas superiores a los agregados gruesos tradicionales utilizados en el concreto, y que son altamente resistentes a ambientes agresivos según plantea Zaragoza (2000). [6], Mientras el agregado fino proporciona mayor resistencia a la compresión en el concreto, superando así la resistencia a la compresión para la cual fue diseñada en lapsos de tiempos prolongados. [7]

Ricardo Cruz Hernández (2014) plantea que el reemplazo de escoria por agregado fino favorece en la disminución de la difusión de CO₂ en el concreto. Probetas reemplazadas en un 20 % de árido fino por escoria, indicaron que la edad de vida útil de estructuras de concreto se prolongó en aproximadamente 10 veces más que la de estructuras de concreto sin escoria en ambientes carbonatados. [7]

La escoria utilizada como agregado fino también contribuye a la absorción acústica del concreto. A mayor reemplazo de escoria por agregado fino, mayor es el índice de reducción de ruido (NRC). Se presenta un índice de 0,83 para concretos elaborados con escoria en comparación a 0,74 correspondiente al concreto sin escoria, lo que podría ser ventajoso al fabricar elementos para el aislamiento acústico en concreto. [7]

La Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia y a la empresa LAVCO S.A menciona que en la actualidad existe una tendencia a la construcción sustentable, también conocida como construcción verde, la cual utiliza materiales producidos con bajo consumo de energía. Este hecho ha conllevado al uso de la materia prima proveniente de residuos o subproductos de fábricas industriales, como sustituto de los componentes del concreto, LAVCO S.A genera anualmente grandes cantidades de desechos sólidos que presenta una problemática empresarial para la región de Colombia. [8]

De acuerdo a los datos oficiales del reporte de ILAFA (Instituto Latinoamericano de Fierro y Acero), la producción de acero en el Ecuador reporta en el año 2010 un volumen de 337.000 toneladas métricas. El comportamiento de esta producción ha sido creciente desde el año 2000 alcanzando una tasa del 481% en el transcurso de la década. [9]

En nuestro país Ecuador existe una producción promedio anual de 60 mil toneladas de escoria provenientes de las diversas empresas siderúrgicas, las cuales por un lado son transportadas y enterradas en rellenos sanitarios y en otros casos son aprovechadas como material de relleno en zonas costeras sin embargo el porcentaje de reciclaje y reutilización de productos, en el ámbito nacional, es de tan solo el 25% cifra alarmante que motiva a emplear pequeños cambios para lograr grandes resultados. [9]

La industria encargada de proporcionar el material(escoria) para la presente investigación, también utiliza dicha escoria siderúrgica como cama de arena para la implementación de adoquines en algunos sectores del país, y como material para la producción de cemento, logrando excelentes resultados al utilizar dicho material.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

- Analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón dosificadas para un $f'c$ de 240 kg/cm^2 al reemplazar parcialmente el agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la granulometría, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, y la capacidad de absorción de la escoria siderúrgica de horno eléctrico.
- Determinar la influencia en la resistencia a compresión del hormigón al variar el porcentaje de escoria siderúrgica en la mezcla.
- Comparar los resultados de resistencia a compresión del hormigón simple con el hormigón reemplazado parcialmente el agregado fino por escoria siderúrgica.
- Determinar la durabilidad del hormigón frente al ataque acelerado de sulfato de magnesio para probetas con 60 días de curado en los mismos porcentajes de reemplazo parcial del agregado fino por escoria de 0%, 10%, 20% y 30%.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para desarrollar este tema de investigación se necesita conocer conceptos relacionados con el hormigón, sus propiedades, componentes y sobre todo conceptos que involucren a la escoria siderúrgica como material de estudio dentro de la ingeniería civil.

2.1.1 ESCORIA SIDERÚRGICA

Según [10] La escoria de Horno Arco Eléctrico se forma durante la producción de acero fundido a partir de la chatarra en el Horno (EAF), por lo que la chatarra se derrite junto con la cal en los recipientes con revestimiento refractario. El carbón inyectado en el acero fundido se elimina como dióxido de carbono, lo que contribuye a la escoria espumosa.

Posteriormente, el silicio y otras impurezas restantes en la chatarra metal combinado con la cal agregada y el oxígeno inyectado para formar una capa de escoria en la parte superior del acero fundido. Una vez completado el proceso de fusión, la escoria se descarga y se vierte en vertederos. [10]

Se podría estimar que aproximadamente se genera del 10 al 15% en peso de escoria de EAF por tonelada de acero fundido, lo que hace que una gran cantidad de escoria sea eliminada cada año. [10]

2.1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ESCORIA

El proceso de producción de la escoria consta de dos fases donde la primera es la fase de Fusión y la segunda es la fase de afino.

Fase de Fusión

El proceso de producción de la escoria siderúrgica inicia con el reciclaje de la chatarra a nivel nacional, posteriormente esta es llevada a los centros de acopio que posee cada una de las industrias de acería, donde la chatarra es seleccionada ya que esta debe poseer el mineral Hierro dentro de su composición, descartando a metales como el aluminio, bronce, cobre, etc. Posteriormente es compactada y triturada para luego ser llevada a través de un electroimán hacia una caldera también conocida como cesta de carga, luego esta caldera transporta el material “chatarra” al Horno de Arco Eléctrico, el cual posee tres electrodos que descargan gran cantidad de energía, generando temperaturas de 1500 a 1600 °C para dar inicio al proceso de Fusión. [11]

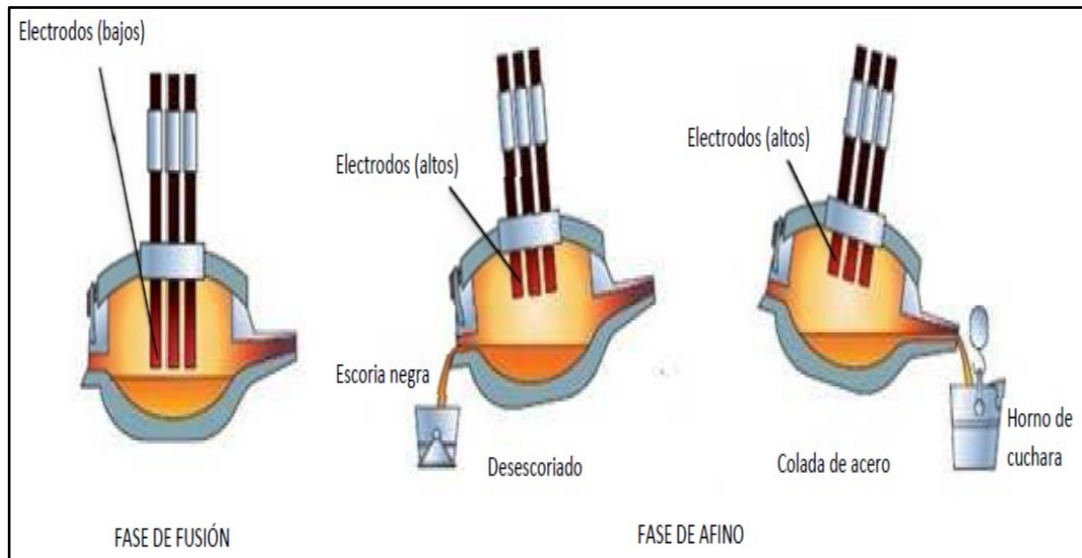
Fase de Afino

Posteriormente a la fase de fusión, se procede a insertarle un fundente conocido como Oxido de Calcio (CaO), el cual se va combinando con el metal fundido para separar las impurezas de este metal, en donde estas impurezas tienden a subir o flotar en la superficie debido a la diferencia de densidades que presenta el material fundido, dejando por debajo de estas el mineral conocido como hierro. [11]

Estas impurezas que se encuentran en la superficie del metal fundido son removidas del Horno de Arco Eléctrico y transportadas hacia sitios de acopio para su posterior enfriamiento a través de agua y a temperatura ambiente. Una vez enfriadas estas adquieren un aspecto rocoso y se les conoce como Escoria negras o piedra artificial debido a que posee características semejantes a las de piedras naturales. [11]

Realizado este proceso el material fundido pasa al Horno cuchara para ajustar la composición química y la temperatura según el Tipo y Grado de acero que sea requerido, luego se transporta el acero líquido a la colada continua donde toma forma, posteriormente se le da refrigeración para solidificarse en formas de palanquillas o barras de aceros para su posterior uso en cualquier aplicación. [11]

Gráfico N° 1. Funcionamiento de un Horno de Arco Eléctrico



Fuente: Jordi Cañas Gallart 2012

2.1.3 ESCORIA NEGRA

Mediante el proceso de Fusión en el Horno de Arco Eléctrico se obtiene acero líquido y nadando sobre su superficie, la escoria negra, la cual se extrae por una de las puertas del horno. La escoria negra se caracteriza por su heterogeneidad de formas y composición. [12]

Gráfico N° 2. Escoria Negra



Fuente: Egresado Darío Laica

Como se puede observar en la imagen la escoria presenta una tonalidad que va desde un gris claro hasta un gris muy oscuro, además presenta un aspecto poroso y textura superficial irregular tanto para los finos como para los gruesos.

La escoria negra es un material de desecho, conformado químicamente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y magnesio, además que pueden contener pequeñas cantidades de hierro y manganeso. La composición química de la escoria está relacionada directamente con las características de la chatarra a fundir, generalmente las escorias negras presentan la siguiente composición. [12]

- CaO (27-37 %)
- SiO₂ (11-25%)
- FeO (3-25%)
- Fe₂O₃ (2-22%)
- MgO (4-11%)
- Cr₂ O₃ (0.6-4%)

Debido a la presencia de óxidos de cal y magnesio libre en su composición, las escorias negras de acería tienen naturaleza expansiva. La cal libre se hidrata rápidamente y produce cambios de volumen en semanas o meses, mientras que la hidratación del magnesio se produce mucho más lentamente. Por lo que es muy importante evaluar su potencial expansivo y tratarles adecuadamente para su uso. [12]

El árido procedente de la escoria negra de horno de arco eléctrico presentan una mayor densidad relativa que los áridos naturales debido a su composición, pero esto no es un impedimento a la hora de utilizarlos como material alternativo dentro del campo de la construcción, ya que estas presentan propiedades técnicas y adecuadas su uso. [12]

2.1.4 HORMIGÓN SIMPLE

El hormigón o también conocido como concreto es un material formado por una mezcla de agua, arena, ripio y el material o conglomerante principal el cemento, además de poder añadirle algún tipo de aditivo con el fin de modificar sus características o comportamiento dependiendo del uso que se la vaya a proporcionar a la mezcla. [13]

Existen también hormigones que no son elaborados con cemento, más bien con otro tipo de conglomerantes como lo es el betún para la elaboración de hormigón asfáltico. [13]. El cemento al mezclarle con agua se convierte en una pasta moldeable que se adhiere a los áridos que conforman la constitución del hormigón y que en cuestión de horas fragua, llegando a endurecer y alcanzar resistencias muy elevadas a los 28 días de edad.

Una de las principales características mecánicas que presenta el hormigón fraguado es que resiste esfuerzos altos de compresión a diferencia de los esfuerzos de tracción, flexión y cortante, por lo tanto, para poder soportar estos esfuerzos es necesario utilizar el hormigón en compañía de aceros de refuerzo, siendo conocido como hormigón armado o concreto pre-reforzado. [13]

2.1.5 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

El hormigón en estado fresco es una masa que al estar en contacto con el agua presenta plasticidad y tiene la capacidad de ser moldeado en cualquier superficie. Al hormigón fresco se le considera desde que entra en contacto con el agua hasta cuando empieza a endurecer (fraguar), el estado fresco del hormigón depende de diversas características como la relación agua cemento, la temperatura y el empleo de aditivos.

Trabajabilidad

Es la facilidad que puede presentar el hormigón para ser mezclado, transportado, colocado y compactado a la hora de utilizarlo evitando una pérdida mínima de homogeneidad. [14]

La trabajabilidad depende de las proporciones y características físicas de los ingredientes que conforman la mezcla, de las condiciones de puesta en obra, de la relación agua cemento, de la duración del transporte, Temperatura, plastificantes, de la geometría de los elementos, del espaciamiento y tamaño del refuerzo. [14]

Consistencia

La consistencia del hormigón es la capacidad de sufrir deformaciones o adaptarse a una forma específica. La consistencia puede ser medible en términos de asentamiento según la norma ASTM C143. [15]

Para medir la consistencia del hormigón fresco se puede realizar por diversos métodos, siendo el más empleado el cono de Abrams. Siendo este un cono truncado de material metálico resistente al ataque de la pasta de cemento, con un espesor no menor que 0.060 plgs (1.5 mm), el molde deberá tener una base de 8 plgs (200 mm) de diámetro y en la parte superior 4 plgs (100 mm) de diámetro, con una altura de 12 plgs (300 mm), en el cual se deberá colocar el hormigón fresco en tres capas de igual volumen, la cual se deberá compactar con 25 golpes por capa con una varilla recta de acero de sección circular de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de largo con el extremo de apisonamiento redondeado en forma semiesférica de 16 mm de diámetro, luego se procederá a levantar el molde de un solo movimiento sin giros en un tiempo de 5 +/- 2 segundos, para posteriormente medir el asentamiento del hormigón en estado fresco con una precisión de 5mm medidos desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la muestra. [15]

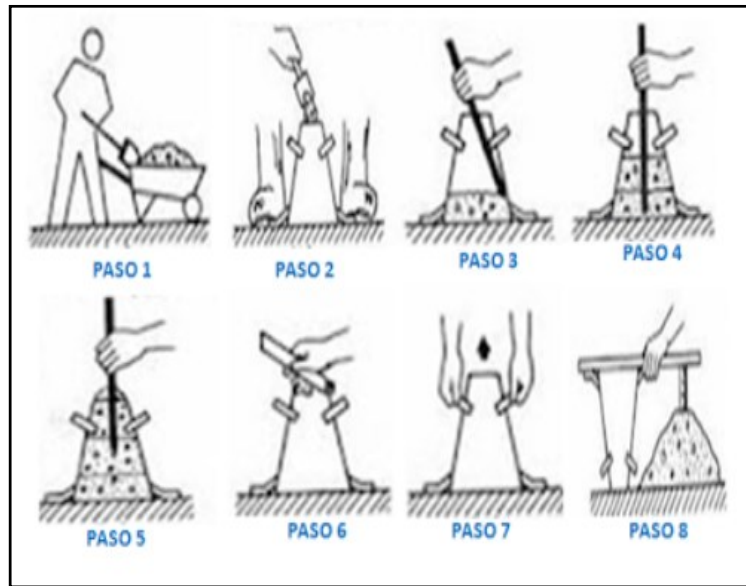
Los hormigones se clasifican según su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Consistencia del Hormigón en estado fresco

| CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO | | |
|--|-------------------------------|--------------|
| CONSISTENCIA | ASENTAMIENTO CONO ABRAMS (cm) | COMPACTACIÓN |
| Seca | 2 - 3.5 | VIBRADO |
| Semi seca | 3.5 – 5 | VIBRADO |
| Media | 5 – 10 | VIBRADO |
| Húmeda | 100 – 150 | VIBRADO |
| Muy Húmeda | 150 o más | CON BARRA |

Fuente: Folleto Ensayo de materiales II. Ing. Santiago Medina

Gráfico N° 3. Metodología para determinar el asentamiento



Fuente: Ian Guevara Gonzales 2016

Homogeneidad

Es la cualidad que posee un hormigón para que sus componentes se distribuyan regularmente en toda la masa. La homogeneidad de la mezcla se consigue con un buen amasado y para mantenerse requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada. [16]

La homogeneidad puede perderse por segregación de los materiales que componen el hormigón y el cual consiste en la separación de los agregados gruesos por una parte y los finos por otra, o a su vez también por decantación en donde los agregados gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie cuando la mezcla es muy líquida. Ambos Fenómenos están relacionados directamente con la cantidad de agua que se le aplique a la mezcla, con el tamaño máximo del árido, con las sacudidas durante el transporte y con la caída del material in situ. [16]

Densidad

El peso específico o también conocido como densidad (masa/volumen) es utilizado como un indicador de la uniformidad de la mezcla, junto con la consistencia. A través de este se puede determinar si existen cambios en los contenidos de agua, cemento o granulometría de los agregados.

Para determinar de la densidad del hormigón en estado fresco se puede realizar bajo la norma NTE INEN 1579 [17], la cual consiste en tomar la masa compactada de hormigón fresco dentro de un recipiente relacionándolo con el volumen que la contiene. El método de compactación es elegido en función de la consistencia del hormigón. [17]

2.1.6 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

El hormigón después de su vertido atraviesa por un proceso Físico – Químico de larga duración donde pasa de un estado plástico a un estado sólido, perdiendo paulatinamente humedad y adquiriendo dureza.

Las propiedades del hormigón endurecido evolucionan con el tiempo, dependiendo de las características y cantidades de los materiales que lo componen y de las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto.

Densidad

La densidad se define como la cantidad de peso por unidad de volumen (masa/volumen). [17]

La densidad o masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores como es la naturaleza de los agregados, de su granulometría y del método de compactación empleado. La densidad de los hormigones convencionales formados por agregados provenientes de rocas oscila entre 2300 kg/m^3 y 2500 kg/m^3 . [17]

La densidad con el tiempo experimenta ligeras variaciones debido a la evaporación del agua de amasado y que puede variar hasta un 7% de su densidad inicial.

Porosidad

Se refiere a la cantidad de huecos que el hormigón presenta en su totalidad después de pasar del estado plástico a sólido. Esta propiedad influye directamente en la resistencia, densidad y permeabilidad del hormigón endurecido. [18]

Un cuerpo poroso, como es el caso del hormigón presenta dos tipos diferenciados de huecos, los que pueden ser accesibles o abiertos y con comunicación con el exterior y los inaccesibles o cerrados y aislados del exterior. [19]

TIPOS DE POROSIDADES

Porosidad Total: Es la fracción del volumen total de hormigón ocupada por los poros.

Porosidad Abierta: Es la parte de la porosidad total que comprende los poros conectados con el exterior. [19]

Porosidad Permeable: Es la parte de la porosidad abierta que corresponde a poros intercomunicados entre sí, permitiendo el paso de un fluido al interior del hormigón. [19]

Porosidad Superficial en Fondo De Saco: Es la parte de porosidad abierta que corresponde a poros no comunicados con otros, no permitiendo el paso de fluido. [19]

Porosidad Cerrada: Es la parte de la porosidad total que incluye los poros no conectados con el exterior y, por tanto, inaccesibles al medio agresivo externo. [19]

Retracción

La retracción no es más que un proceso de pérdida de volumen del hormigón cuando pasa del estado plástico al estado sólido. Durante el fraguado se produce una reacción exotérmica (desprendimiento de calor) que favorece a la evaporación y pérdida de agua. [20]

El hormigón al empezar a perder agua comienza a perder volumen por lo que el hormigón se contrae. Estas fuerzas de contracción pueden vencer a la poca resistencia a tracción que presenta el hormigón a edades muy tempranas, lo que llevaría a una

fisuración, por lo general en obra siempre se produce fisuración en cualquier tipo de elemento estructural de hormigón debido a que no se cuenta con las condiciones de curado necesario o ambientes saturados que compense la pérdida de agua por el efecto de la reacción exotérmica. [20]

Resistencia Mecánica

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón sobre todo cuando se le utiliza para fines estructurales, en donde este tiene la capacidad de soportar cargas sin agrietarse o romperse, siempre y cuando no se le aplique cargas más allá de las que puede soportar. [21]

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de tal manera que las tensiones producidas por las solicitaciones no sobrepasen la capacidad resistente del material, lo cual muestra la importancia de conocer esas características. [21]

Dentro de la resistencia mecánica del hormigón podemos encontrar dos tipos:

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión es la característica mecánica más importante del hormigón y se la puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de hormigón, normalmente expresada en Kg/cm^2 o lb/plg^2 , su determinación se la puede realizar mediante la Norma NTE INEN 1573. Esta Norma especifica el procedimiento a utilizarse, así como los equipos y método de cálculo.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes realizados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. [22]

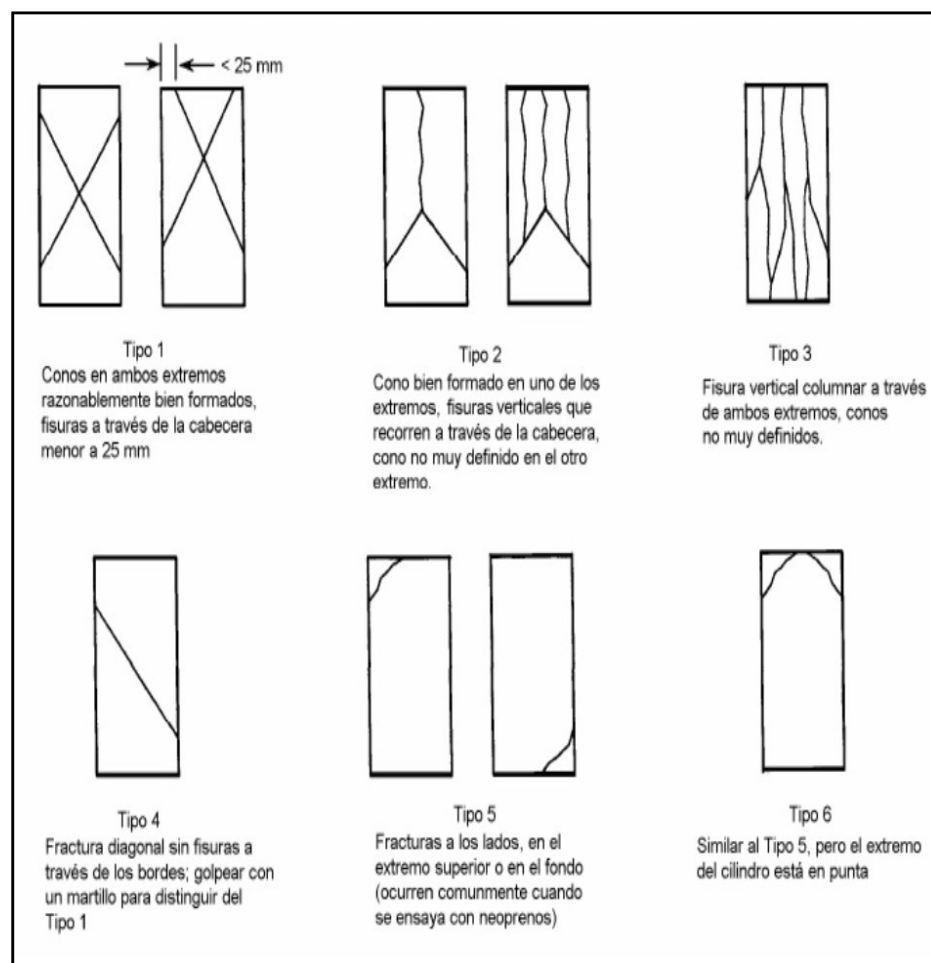
Durante el ensayo de compresión a los especímenes, la carga axial de compresión debe ser aplicada hasta que el indicador de carga del equipo muestre que está decreciendo constantemente y que el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. [22]

La resistencia a compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen. [22]

Esquema típico de fractura en el hormigón

El tipo de fractura que puede presentarse en el hormigón después de ser sometido a un proceso de carga axial de compresión depende de la calidad de los materiales, de la mala compactación, de la porosidad y de la mala adherencia que se da entre los materiales que componen el hormigón. A continuación, se presentará un Esquema típico de fracturas en el hormigón que describe la norma INEN 1573 [22] después de ser sometidos al ensayo de compresión.

Gráfico N° 4. Esquema típico de fractura en el hormigón



Fuente: NTE INEN 1573 (2010)

Resistencia a tracción

La resistencia a tracción ha sido menos estudiada que la resistencia a compresión, en gran parte se debe a la poca capacidad resistente que presenta bajo estas solicitaciones y por lo tanto es necesario incorporarle varillas de acero para reforzar y absorber estos esfuerzos. [23]

La resistencia a tracción en el hormigón es relativamente baja aproximadamente del 8% al 12% de la resistencia a compresión, siendo la resistencia a tracción más difícil de determinar que la de compresión, normalmente no se requiere que el hormigón resista fuerzas directas de tracción, pero es importante con respecto al agrietamiento, debido a que en los elementos de hormigón también están presentes esfuerzos de Flexión, cortante y torsión, por lo que se requiere una adecuada resistencia a tracción que impida el Fisuramiento y agrietamiento de los elementos. [23]

Durabilidad

Es la capacidad resistente que puede presentar una estructura de hormigón a los efectos producidos con el paso del tiempo. La durabilidad del hormigón depende de los agentes que puedan agredir el material ya pueden ser: Físicos, Químicos, Mecánicos y Biológicos.

Según el ACI318SUS-14 la durabilidad del hormigón se ve afectada por la resistencia del hormigón a la penetración de fluidos, la cual se ve afectada principalmente por la relación a/c y la composición de los materiales cementantes utilizados en el hormigón. Las mezclas de concreto deben ser dosificadas de acuerdo con los requisitos de durabilidad mostrados en la tabla 19.3.2 y 26.4 de la normativa, teniendo en cuenta al nivel de exposición que van a ser sometidas las estructuras. La durabilidad de una estructura también se ve influenciada por el nivel de mantenimiento preventivo que se le dé a la estructura. [24]

El profesional facultado para diseñar debe asignar las clases de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición anticipada de los elementos para cada categoría de exposición según la Tabla 19.3.1.1. [24]

Los agentes que mayor daño producen al hormigón son: el agua, las sales, los ácidos, las variaciones bruscas de temperatura y los agentes contaminantes.

Los factores que afectan la durabilidad del hormigón suelen ser de tipo:

Mecánico: Impactos o choques, vibraciones, sobrecargas, desprendimientos, erosiones mecánicas, grietas, fisuras, deformaciones.

Físicos: Ciclos de hielo/deshielo, humedecimiento y secado, fuego, erosión, suciedad.

Químicos: Terrenos agresivos, contaminación atmosférica, filtración de aguas, Florescencias, oxidaciones y corrosiones, erosiones.

Biológicos: Vegetación, microorganismos.

El reglamento ACI318SUS-14 incluye cuatro categorías de exposición que se debe tener muy en cuenta al momento del diseño para asegurar una durabilidad adecuada en el hormigón:

Categoría de Exposición F

Aplica para concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes. Si el grado de saturación es suficientemente alto, habrá suficiente agua en los poros para producir esfuerzos de tracción interna suficientemente grandes para causar fisuración cuando el agua se congela y se expande. [24]

Categoría de Exposición S

Aplica para concreto en contacto con suelo o agua que contenga cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua. La categoría de exposición S se subdivide en cuatro clases de exposición. [24]

La clase de Exposición S0 se asigna para condiciones donde la concentración de sulfatos solubles en agua en contacto con el concreto es baja, y no preocupa un ataque dañino causado por sulfatos. [24]

Las clases de Exposiciones S1, S2 y S3 se asignan para elementos de concreto estructural en contacto directo con sulfatos solubles en el suelo o agua. La severidad de la exposición aumenta desde la Clase de Exposición S1 a la S3 con base en un valor mayor de la concentración de sulfatos solubles en agua en el suelo o de la concentración de sulfatos disueltos en agua.

El agua marina se encuentra clasificada como S1.

Categoría de Exposición W

Aplica para concreto en contacto con agua, pero no está expuesto a congelamiento y deshielo, cloruros o sulfatos.

Categoría de Exposición C

Aplica para concreto no preesforzado y preesforzado expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión. [24]

Las categorías de exposición definidas en la Tabla 19.3.1.1 del reglamento ACI318SUS-14 se subdividen en clases de exposición dependiendo de la severidad de la exposición. Los requisitos para el hormigón asociados con la clase de exposición están en 19.3.2.

El reglamento ACI318SUS-14 no incluye requisitos para exposiciones especialmente severas, tales como ácidos o temperaturas altas.

Para cada categoría de exposición, la severidad se encuentra definida por clases, con valores numéricos que aumentan de acuerdo con el incremento del grado de severidad de las condiciones de exposición. Se asigna una clasificación “0” cuando la categoría de exposición tiene un efecto despreciable o no es aplicable al miembro estructural. [24]

Tabla N° 2. Categorías y clases de exposición

| Categoría | Severidad | Clase | Condición | |
|---|--------------|-------|--|---|
| Congelamiento y deshielo (F) | No aplicable | F0 | Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo | |
| | Moderada | F1 | Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad | |
| | Severa | F2 | Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad | |
| | Muy Severa | F3 | Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes. | |
| Sulfato (S) | | | Sulfatos solubles en agua (SO ₄ ²⁻) en el suelo, % en masa | Sulfatos (SO ₄ ²⁻) disuelto en agua, ppm |
| | No aplicable | S0 | SO ₄ ²⁻ < 0.10 | SO ₄ ²⁻ < 150 |
| | Moderada | S1 | 0.10 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 0.20 | 150 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 1500 |
| | Severa | S2 | 0.20 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 2.00 | 1500 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 10000 |
| | Muy Severa | S3 | SO ₄ ²⁻ > 2.00 | SO ₄ ²⁻ > 10000 |
| En contacto con el agua (W) | No aplicable | W0 | Concreto seco en servicio Concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad. | |
| | Requerida | W1 | En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad | |
| Protección del refuerzo para la corrosión (c) | No aplicable | C0 | Concreto seco o protegido contra la humedad. | |
| | Moderada | C1 | Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente eterna de cloruros. | |
| | Severa | C2 | Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen. | |

Fuente: ACI318SUS-14 “AMERICAN CONCRETE INSTITUTE”

Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que posee un material de permitir el paso de Líquidos, fluidos o gases a su interior. [25]

La impermeabilidad es la característica más relevante del hormigón debido a que no permite que agentes externos ingrese a su interior, para una mejor impermeabilidad suelen emplearse aditivos o también conocidos como geles especiales. [25]

2.1.7 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas conocidas como Clinker, esta mezcla es triturada y posteriormente se le adiciona yeso para controlar los tiempos de fraguado cuando entre en contacto directo con el agua. [26]

Tabla N° 3. Componentes principales del cemento

| Denominación | Fórmula Química | Expresión abreviada | Productos que forma al hidratarse | Propiedades que aporta |
|--------------------------------|---|----------------------|-----------------------------------|---|
| SILICATO TRICÁLCICO | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_3S | TOBERMORITA PORTLANDITA | Resistencia en los primeros días |
| SILICATO BICÁLCICO | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_2S | TOBERMORITA PORTLANDITA | Resistencia a largo plazo |
| ALUMINATO TRICÁLCICO | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A | ETTRINGITA | Reaccionan con el regulador de fraguado |
| FERRITO ALUMINATO TETRACÁLCICO | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | | | Da tonalidad verde al cemento |

Fuente: Javier Ruiz Hidalgo

Existen diversos tipos de cemento según su composición mineralógica, entre los más destacados tenemos los siguientes:

Clinkeres portland. - conformados por la mezcla de caliza y arcilla calcinadas. [26]

Clinkeres aluminosos. - conformados por una mezcla de calizas y bauxitas de composición y granulometrías adecuadas. [26]

Escorias siderúrgicas. – Son granulados de horno alto que se obtienen por templado o enfriamiento brusco, con agua o aire, producto derivado de las fundiciones de metal.

Puzolanas naturales. – Son rocas tobáceas, volcánicas vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumítica, contienen constituyentes como sílice y alúmina capaces de combinarse con la cal, a temperatura ambiente o en presencia de agua, formando compuestos de propiedades hidráulicas. [26]

Según NTE INEN 151 [27] define al cemento portland como un cemento hidráulico proveniente de la pulverización del clínker y conteniendo usualmente sulfato de calcio.

Esta norma cubre ocho tipos de cemento portland, enumerados a continuación:

Tipo I. - Cemento de uso común, puede ser utilizado cuando no se requieran propiedades especiales especificados para otro tipo de cemento.

Tipo IA. – Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo I, donde se desea incorporación de aire.

Tipo II. – Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo IIA. – Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del de Tipo II, donde se desea incorporación de aire.

Tipo III. – Utilizado cuando se requiere alta resistencia inicial o temprana “fraguado rápido, empleado en obras que se encuentran en contacto directo con el agua.

Tipo IIIA. – Cemento con incorporador de aire para el mismo uso que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.

Tipo IV. – Utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación “fraguado lento”, empleado en obras civiles de gran magnitud.

Tipo V. – Utilizado cuando se desea altas resistencias frente al ataque de sulfatos.

En el presente trabajo de investigación se utilizará el cemento Tipo I debido a que es de uso general, el cual es utilizado para la elaboración de hormigón que se encontrará en contacto directo con el suelo o agua.

Agregados o Áridos

Según [24] define al Agregado o también denominado árido como un material granular, tal como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, que en combinación con un conglomerante tal como el cemento forma concreto o mortero.

Los áridos son considerados como material primordial para el desarrollo económico y progreso de una región o comunidad, se estima que es el recurso más utilizado por el ser humano después del agua.

En general los áridos son considerados materiales baratos, abundantes situados cerca de los centros de consumo, debido a que transportar el material a lugares con distancias significativas requiere de un alto costo, por ende los lugares de explotación deben ser cercanos a los centros de consumo.

Antiguamente se creía que los agregados eran elementos inertes dentro del hormigón ya que no influenciaban directamente dentro de las reacciones químicas, hoy en día gracias a la tecnología moderna se establece que siendo el material con mayor porcentaje dentro de la elaboración del hormigón influye directamente en sus propiedades y características. [28]

La influencia de este material en las propiedades del hormigón tiene efectos de gran relevancia no solo en el acabado y calidad final del hormigón si no también en la trabajabilidad, consistencia, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del hormigón endurecido. [28]

Tipos de Agregados

Agregados Naturales.

Agregado de origen mineral que ha sido sometido a procesos mecánicos como cernido o lavado sin la intervención de trituración. [28]

Los naturales se subdividen en dos grandes grupos como los granulares y de machaqueo, cuya diferencia principal es el proceso de trituración, de esta manera los granulares nacen de la extracción y clasificación de materiales sueltos las cuales se obtienen en ríos, llanuras aluviales etc. [28]

Los agregados obtenidos por machaqueo o también denominado trituración proveniente de los macizos de roca las cuales encontramos en canteras, también pueden ser producto de fracciones gruesas de agregados naturales. [28]

Agregados Artificiales.

Son subproductos provenientes de procesos industriales, los cuales deben ser materiales utilizables y reciclables como las escorias de alto horno, cenizas de carbón o materiales procedentes de demoliciones etc. [28]

Agregado Fino.

Se le denomina así al material granular que pase el tamiz N°4 con una abertura de 4.75mm y retenidas por el tamiz N°200. Este material debe poseer granos duros, fuertes y resistentes, debe estar limpio, lavado y libre de material orgánico, o cualquier otro material que perjudique su utilización. [28]

Agregado Grueso.

El agregado grueso denominado también como grava son producto del machaqueo o trituración, de la desintegración y abrasión natural de la piedra o roca, las cuales deben ser retenidas por el tamiz N°4 de abertura de malla 4.75mm. [28]

Agua de amasado

El agua de amasado cumple con dos funciones básicas, por un lado, ayuda con la trabajabilidad de la mezcla y por otro en la reacción de la hidratación del cemento. La cantidad de agua a utilizarse para la elaboración de hormigón debe limitarse debido a que mayor cantidad de agua, el hormigón en estado endurecido disminuye su resistencia. [29]

El agua de amasado y de curado deberá estar limpia de materia orgánica, la cual debe estar limpia, libre de sales y poseer características semejantes para consumo humano. Las propiedades del agua deben cumplir con la norma NTE INEN 1108.

Aditivos

Son compuestos de naturaleza orgánica o inorgánica cuya función principal es la de modificar las propiedades del hormigón tanto en estado fresco como endurecido. Existen aditivos que incrementan la fluidez del concreto haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas evitan un curado rápido. [30]

Los aditivos retardantes son usados en lugares donde el concreto fragúa rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido o en situaciones donde el concreto debe ser transportado a grandes distancias; esto con la intención de manipular la mezcla por mayor tiempo. [30]

2.1.8 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado por análisis de tamices que corresponden a la serie de Tyler, bajo la Norma ASTM C33 [31]. Esta norma determina la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para el hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos.

Granulometría del Agregado Fino

La granulometría del agregado fino está definida por la Norma ASTM C33 que establece los porcentajes admisibles que pasa cada No de Tamiz.

Tabla N° 4. Límites de porcentaje que pasa el agregado fino

| No DE TAMIZ | ABERTURA mm | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
|-------------|----------------|----------------------------|
| 3/8" | 9.5 | 100 |
| #4 | 4.75 | 95 a 100 |
| #8 | 2.36 | 80 a 100 |
| #16 | 1.18 | 50 a 85 |
| #30 | 0.6 | 25 a 60 |
| #50 | 0.3 | 10 a 30 |
| #100 | 0.15 | 2 a 10 |

Fuente: Norma ASTM C33. Especificación Estándar de Agregados para Concreto

Módulo de Finura del Agregado Fino

El módulo de finura también denominado módulo granulométrico es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados hasta el tamiz No 100, esto dividido para 100.

Se considera que el módulo de finura de una arena adecuada para la elaboración de hormigón debe mantener un rango de 2.3 a 3.1, donde un valor menor que 2.0, indica una arena fina, 2.5 indica una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa [32]

Granulometría del Agregado Grueso

El agregado grueso deberá de cumplir con los requerimientos prescritos en la Tabla No 4, para el número de tamaño especificado.

Tabla N° 5. Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso

| No DE TAMIZ | ABERTURA mm | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
|-------------|-------------|-------------------------|
| 2" | 50,8 | 100 |
| 1 1/2" | 38,1 | 95 a 100 |
| 1" | 25,4 | - |
| 3/4" | 19,1 | 35 a 70 |
| 1/2" | 12,7 | - |
| 3/8" | 9,52 | 10 a 30 |
| #4 | 4,76 | 0 a 5 |

Fuente: Norma ASTM C33. Especificación Estándar de Agregados para Concreto

Tamaño Nominal Máximo TNM

El tamaño nominal máximo es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el tamaño del tamiz comercial anterior al tamiz en el que se retiene 15% o más del agregado grueso.

Densidad Real del Agregado Fino

La densidad relativa o gravedad específica es la característica más relevante generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el árido en diversas mezclas que contienen áridos, incluyendo el hormigón con cemento portland, hormigón bituminoso y otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. [33]

Para determinar la Densidad relativa del agregado fino se la puede realizar por dos métodos como especifica la norma ASTM C 128.

Procedimiento

- Se sumerge una muestra de áridos en agua durante 24 ± 4 h hasta llenar los poros.
- Se saca la muestra del agua y se retira el agua de la superficie de las partículas(muestra) y se determina la masa.
- A continuación, la muestra o parte de ella se coloca en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico(picnómetro) o volumétrico (Matraz de Le Chatelier).
- Po último la muestra se seca al horno y se determina nuevamente la masa.
- Utilizando los valores de la masa obtenidos anteriormente y las fórmulas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa o gravedad específica y la absorción.

La densidad relativa se calculará por el método gravimétrico utilizando la siguiente expresión: [33]

$$S = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno, g.

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta el nivel de aforo, g.

S: Masa de la muestra en condición SSS (Saturado Superficialmente Seco)

C: Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta el nivel de aforo, g.

Para la determinación de la capacidad de absorción del agregado grueso se utiliza la siguiente expresión: [33]

$$\% \text{ Absorción} = \left(\frac{S - A}{A} \right) * 100$$

Densidad Real del Agregado Grueso

La densidad relativa o gravedad específica es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen áridos. Este método de prueba cubre la determinación de la densidad media de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluye el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa o gravedad específica y la absorción del agregado grueso.

El método descrito por la Norma ASTM C 127 no puede ser usado para agregados de peso ligero y la muestra debe ser sumergida en el agua por el lapso de 24 ± 4 h, para lograr saturar los poros del agregado. [34]

Procedimiento

- Se sumerge una muestra de áridos en agua durante 24 ± 4 h hasta llenar los poros.
- Se saca la muestra del agua y se retira el agua de la superficie de las partículas(muestra) y se determina la masa.
- Después de determinar la masa al aire, inmediatamente coloque la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de muestra y determine su masa aparente en agua a 23 ± 2 oC. Tenga cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido.
- Po último la muestra se seca al horno y se determina nuevamente la masa.
- Utilizando los valores de la masa obtenidos anteriormente y las fórmulas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa o gravedad específica y la absorción.

La densidad relativa para el agregado grueso de determinará con la siguiente expresión: [34]

$$SH = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g.

B: Masa al aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.

C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

Para la determinación de la capacidad de absorción del agregado grueso se utiliza la siguiente expresión: [34]

$$\% \text{ Absorción} = \left(\frac{B - A}{A} \right) * 100$$

Densidad Aparente Suelta

Es la relación entre la masa del árido suelto dividido para el volumen del recipiente que los contiene. La norma INEN 858 establece su determinación y equipo necesario para la realización del ensayo. [35]

Densidad Aparente Compactada

Es la relación entre la masa del árido compactado en tres capas de 25 golpes cada una a través de una varilla de 16mm dentro de un molde cilíndrico esto dividido para el volumen del recipiente que los contiene. [35]

La norma INEN 858 establece su procedimiento y equipo para la realización del ensayo.

2.1.9 SULFATOS EN EL HORMIGÓN

Los sulfatos de sodio, potasio, calcio, amonio o magnesio que ocurren en la naturaleza, los cuales pueden atacar al hormigón endurecido, algunas veces se encuentran presentes en el suelo, en el cemento y otras disueltos en el agua adyacente a las estructuras de hormigón. [36]

Las sales de sulfato en solución ingresan al hormigón y atacan los materiales cementicios. Si en una superficie expuesta al aire se produce evaporación, los iones sulfato se pueden concentrar cerca de dicha cara y aumentar el potencial de deterioro. [36]

El hormigón expuesto a soluciones de sulfatos puede ser atacado y sufrir deterioro en un grado que depende de los materiales que conforman el hormigón, la calidad del hormigón en el lugar de serviciabilidad, así como del tipo y concentración del sulfato. [36]

Gráfico N° 5. Deterioro de estructuras de Hormigón frente al ataque por Sulfatos.



Fuente: Chiara F. Paul E. Stutzman and Kenneth A. Snyder

Ataque de sulfatos en el hormigón

El ataque por sulfatos es una de las mayores amenazas para el hormigón endurecido ya que puede causarle un grave daño al hormigón externamente como internamente generando expansiones y produciendo tensiones mecánicas, las cuales muchas veces se traducen en deformaciones, desprendimientos y fisuraciones en el Hormigón. [37]

Uno de los factores que influyen en mayor o menor degradación a los sulfatos es la cantidad de cemento presente en el hormigón elaborado. Otra característica a tener en

cuenta es el medio ambiente ya que este también puede ser el causante de que las estructuras se deterioren con rapidez debido a los ciclos de humedecimiento y secado intensos durante su vida útil. [37]

El daño en el hormigón se da cuando las soluciones de sulfato entran en contacto con los componentes de Aluminato del cemento tales como el C_3A (Aluminato tri Cálculo) Hidratado. [38]

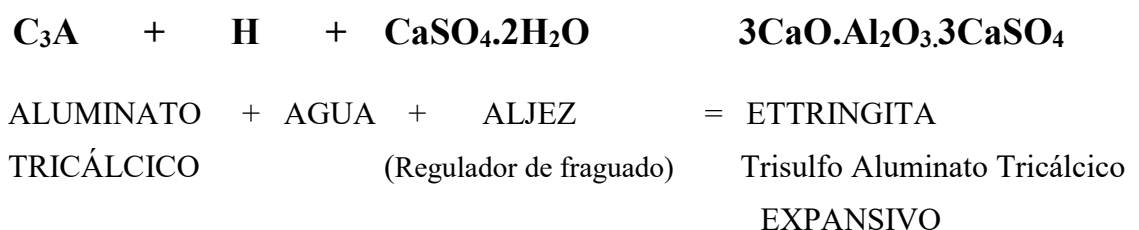
El C_3A (Aluminato tri Cálculo), es la primera fase en reaccionar cuando el cemento entra en contacto con el agua. La acción de adicionar yeso en la producción de cemento es con el fin de retardar los tiempos de reacción. [38]

La Reacción que existe entre C_3A y el yeso en presencia de agua provoca la formación de Etringita ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 32H_2O$), la cual es de carácter expansivo. [38]

La ettringita, una forma de sulfoaluminato de calcio, se encuentra en cualquier parte de cemento. El sulfato está presente, también, en los materiales cementantes suplementarios y en los aditivos. El yeso y otros compuestos de sulfatos reaccionan con el aluminato de calcio en el cemento y forman ettringita durante un periodo de pocas horas después del mezclado con el agua. La mayor parte de sulfatos en el cemento normalmente forman ettringita o monosulfoaluminato en un periodo de 24 horas. [39]

En esta etapa, la ettringita se dispersa uniforme y discretamente por la pasta de cemento en un nivel submicroscópico (menos de un micrómetro en sección transversal). Esta ettringita se llama frecuentemente de ettringita primaria. [39]

Si el concreto se expone a la humedad por un periodo largo de tiempo (muchos años), la ettringita puede disolverse lentamente y volver a formarse en áreas menos limitadas. En el examen de microscopio, se pueden observar los cristales de ettringita blancos y en forma de aguja forrando los vacíos de aire. Esta ettringita que ha vuelto a formarse se llama normalmente ettringita secundaria. [39]



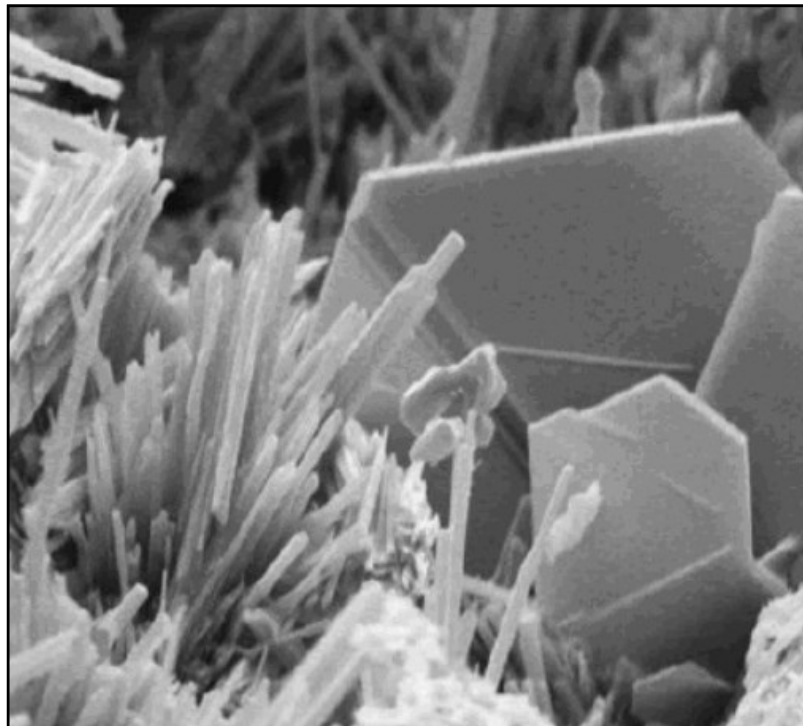
La formación de Etringita sobre los granos de C_3A , produce una presión debido a la cristalización en puntos localizados. Esta continua cristalización genera un estado tensional hasta que se rompe. [39]

Cualquiera que sea el mecanismo adoptado para la formación de Etringita, la forma en la que actúa sobre el hormigón es la misma, es decir, la Etringita llena los poros de la pasta de cemento, al hidratarse aumenta su volumen generando tensiones y produciendo la fisuración, la cual permite el paso de otros componentes que ayudan a degradar al hormigón. [39]

Debe señalarse que los sulfatos y los químicos en general raramente atacan al hormigón cuando se encuentran en un estado sólido, para que resulte un ataque significativo en el concreto, los sulfatos deben estar en solución y por encima de alguna concentración mínima. [39]

Imagen de microscopio SEM de una pasta de cemento endurecido fracturada, se observan las placas de hidróxido de calcio y las agujas de Etringita (escala de micrones).

Gráfico N° 6. Formación de la Etringita.



Fuente: J. SKALNY, V. JOHANSEN, N. ĪHAULOW y A. PALOMO

Origen de los sulfatos

Los sulfatos pueden encontrarse en nuestro medio y pueden ser de origen natural, de origen biológico o de origen industrial:

Dentro de los sulfatos de origen natural se puede mencionar a los que están presentes en suelos orgánicos, suelos con turbas, suelos arcillosos y aguas de nivel freático los mismos que producen sales sulfatadas. [40]

Los de origen Biológico suelen ser aquellos que provienen de la presencia de microorganismos sobre la superficie de concreto o de aguas residuales que sufren descomposición biológica de carácter aeróbico en sustancias orgánicas que habitualmente contiene proteínas y/o azufre. [40]

Los sulfatos procedentes de origen industrial pueden ser aguas residuales con derivados orgánicos e inorgánicos del azufre, además de los que provienen de plantas industriales y fábricas fertilizantes, galvanizados, laboratorios fotográficos, entre otros, los cuales se introducen en el suelo o en las aguas subterráneas, las cuales pueden llegar a todo tipo de construcción y causar severos daños prematuramente. [40]

En zonas industriales y en zonas urbanas donde existe un exceso de combustión de carbón o de gasolina con azufre, se libera dióxido de azufre que en presencia de oxígeno y humedad llegan a formar ácido sulfúrico. Las lluvias ácidas también contienen sulfatos que atacan superficialmente al hormigón. [40]

Hay que tener muy en cuenta que a medida que el sulfato avanza, existe una pérdida gradual de resistencia en la pasta de cemento endurecida, por ende el hormigón empezara a sufrir desintegración. Los elementos de hormigón expuestos a ataques por sulfatos, en contacto con suelos y aguas subterráneas son muros de fundaciones, muros de contención, pilas, cimentaciones, alcantarillas, tuberías y losas de piso, etc. [40]

Uno de los ataques más severos ocurre en los elementos que exponen un solo lado mientras que el otro empieza a sufrir evaporaciones, por ejemplo, los muros de contención. [40]

2.2 HIPÓTESIS

El hormigón con escoria siderúrgica de horno eléctrico en reemplazo parcial del agregado fino influirá en la resistencia a compresión del hormigón.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.3.1 Variable independiente

Escoria siderúrgica de Horno Eléctrico

2.3.2 Variable dependiente

Resistencia a compresión del Hormigón

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Para realizar la presente investigación y la obtención de resultados se necesita obtener la dosificación necesaria, la cuál se utilizará el Método de la Universidad Central “Densidad Óptima”, para proceder a realizar las probetas de hormigón simple y probetas de hormigón con reemplazo parcial del agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico, posteriormente estas deben ser ensayadas en un laboratorio especializado que cuente con los equipos e instrumentos necesarios para facilitar el desarrollo de proyecto y que cumplan con los requisitos establecidos por las Normas empleadas.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación es experimental ya que se necesita ensayar un número determinado de muestras de hormigón simple y hormigón con reemplazo parcial del agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico, y así poder determinar la influencia de este material en la resistencia a compresión del hormigón a diferentes edades, ya que estos estudios son poco analizados en nuestro medio y a través de estos se podría dar paso y facilitar investigaciones futuras.

3.2 POBLACIÓN

Para la presente investigación el objeto de estudio son probetas cilíndricas de hormigón simple y con reemplazo parcial del agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico, por lo cual la población o universo no es cuantificable dentro de este proyecto ya que trata de una investigación experimental.

3.2.1 Muestra

La muestra requiere seleccionar un conjunto representativo de elementos cuya finalidad dentro de este trabajo experimental es la de reflejar las características de un hormigón elaborado con escoria siderúrgica de horno eléctrico como sustituto parcial del agregado fino

Para el presente trabajo se realizarán 96 probetas cilíndricas de hormigón, 6 probetas por cada porcentaje de sustitución de arena por escoria siderúrgica de horno eléctrico “0%, 10%, 20%, 30%”, para las diferentes edades de ensayo 14, 28, 60 días, dependiendo el tipo de ensayo a realizar. A continuación, se detalla el tipo de ensayo, la edad de ensayo, el porcentaje de sustitución y el número de muestras a realizarse.

Tabla N° 6. Número de muestras a ensayar

| ENSAYO | EDAD (Días) | % Sustitución | # Muestras |
|-------------------------------|-------------|---------------|------------|
| COMPRESIÓN | 14 | 0% | 6 |
| | | 10% | 6 |
| | | 20% | 6 |
| | | 30% | 6 |
| | 28 | 0% | 6 |
| | | 10% | 6 |
| | | 20% | 6 |
| | | 30% | 6 |
| | 60 | 0% | 6 |
| | | 10% | 6 |
| | | 20% | 6 |
| | | 30% | 6 |
| ATAQUE ACCELERADO DE SULFATOS | 60 | 0% | 6 |
| | | 10% | 6 |
| | | 20% | 6 |
| | | 30% | 6 |
| TOTAL MUESTRAS | | | 96 |

Fuente: Egresado Darío Laica

Para los ensayos de compresión se utilizará la máquina Marca SHIMADZU Corporation, cuyas características se establece en la tabla N° 6.

Tabla N° 7. Características de la Maquina de Compresión

| COMPRESSION TESTING MACHINE | |
|------------------------------------|----------------------|
| MARCA | SHIMADZU CORPORATION |
| MODELO | CONCRETO 2000X |
| N° | I23205510036 |
| CAPACITY | |
| COMPRESSION | 2000 KN |
| FLEXION | 2000 KN |
| TRACCIÓN DIRECTA | 2000 KN |
| TRACCIÓN INDIRECTA | 2000 KN |
| WORKING CONDITIONS | |
| VOLTAJE | ± 10% |
| WARM UP | 15 min |
| TEMPERATURE | 5 - 40 °C |

Para acelerar el proceso de ataque por sulfatos en el Hormigón se preparará una solución acuosa de Sulfato de Magnesio $MgSO_4$ con 48 horas de anticipación, Según el ACI 318-14, Capítulo 19 “Requisitos de Diseño y Durabilidad del Concreto”, Tabla N° 19.3.1.1 establece que una solución es de ataque muy severo si el sulfato disuelto en agua es mayor que 10000 ppm, el cuál equivale a decir 10g/lit. Es por tal motivo que para realizar nuestra solución acuosa y Según los autores Ricardo Alfredo Cruz Hernández, Carlos Mauricio Pico Cortés y Ludwing Pérez Bustos para acelerar el proceso de ataque por sulfatos en el Hormigón se utilizará 80g/lit, además de efectuarse siete ciclos de 48 horas, cada ciclo consta de las etapas de inmersión, secado y enfriamiento. La inmersión se realizará durante 24 horas para cada ciclo, Se secarán las probetas durante 8 horas al horno a una Temperatura de 105°C, con un posterior enfriamiento de 16 horas al ambiente. Durante el ensayo se medirá la variación de la Temperatura, Ph de la solución acuosa además de la masa, volumen y resistencia a compresión de las probetas.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Escoria siderúrgica de Horno Eléctrico

Tabla N° 8. Operacionalización de la variable Independiente

| Concepto | Categoría | Indicador | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|-------------------|--------------------------------|---|--|
| La escoria siderúrgica de Horno Eléctrico es aquella que se obtiene durante el proceso de fusión en la producción de acero a partir de la chatarra en el Horno (EAF), por lo que la chatarra se derrite junto con la cal en los recipientes con revestimiento refractario, separando el mineral hierro de los otros componentes. | Proceso de Fusión | Temperatura de Fusión | ¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar el proceso de fusión en la chatarra? | Investigación Bibliográfica Observación Directa |
| | Chatarra | Características de la chatarra | ¿Cuál es mineral fundamental que debe estar presente en la chatarra para ser fundido? | Investigación Bibliográfica Observación Directa |

Fuente: Egresado Darío Laica

3.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a compresión del Hormigón

Tabla N° 9. Operacionalización de la variable Dependiente

| Concepto | Categoría | Indicador | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|--------------------------|----------------------------------|---|--|
| La resistencia a compresión es la característica mecánica más importante del hormigón y se la puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de hormigón, normalmente expresada en Kg/cm ² o lb/plg ² , su determinación se la puede realizar mediante la Norma NTE INEN 1573. | Resistencia a compresión | Ensayo de compresión | ¿Cuál es el tipo de ensayo de compresión más recomendado para determinar la resistencia del hormigón? | Investigación Bibliográfica Norma INEN 1573, 1576 |
| | Especímenes | Características de los agregados | ¿Qué características deben tener los agregados para ser utilizado en él hormigón? | Investigación Bibliográfica Norma INEN 872, 696 |

Fuente: Egresado Darío Laica

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla N° 10. Plan de recolección de información

| Preguntas Básicas | Explicación |
|-------------------------|--|
| 1. ¿Qué evaluar? | La resistencia a compresión del hormigón al reemplazar parcialmente el agregado fino por escoria siderúrgica de horno eléctrico. |
| 2. ¿Sobre qué evaluar? | Los componentes del hormigón tales como arena, ripio, cemento, agua, escoria. |
| 3. ¿Sobre qué aspectos? | Influencia en la resistencia a compresión del hormigón y durabilidad del hormigón |
| 4. ¿Quién evalúa? | Egresado: Darío Laica Tutor: Ing. Mg. Maritza Ureña. |
| 5. ¿A quiénes evalúa? | 96 probetas cilíndricas de hormigón de 100mm de diámetro y 200mm de altura. |
| 6. ¿Dónde evalúa? | Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería civil y Mecánica. |

| | |
|----------------------------|---|
| <p>7. ¿Cómo y con qué?</p> | <p>A través de pruebas y ensayos de laboratorio normalizados por la INEN y ASTM.</p> <p>Norma NTE INEN 156: Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad.</p> <p>Norma ASTM C 128 – 80 / NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.</p> <p>Norma ASTM C 127 – 80/ NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.</p> <p>Norma ASTM C – 125: Módulo de finura del agregado fino.</p> <p>Norma NTE INEN 1578: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.</p> <p>Norma NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.</p> <p>Norma NTE INEN 1576: Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.</p> <p>Norma ASTM E632-82: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials.</p> <p>Norma ASTM C1012: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution.</p> <p>Norma ASTM C452: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate.</p> |
|----------------------------|---|

Fuente: Egresado Darío Laica

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información

- Revisión crítica y detallada de la información recolectada.
- Tabulación de los datos a través de hojas electrónicas según las variables de la hipótesis.
- Representación gráfica.

3.5.1 Plan de Análisis

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis.
- Determinación de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Previamente a la elaboración de la dosificación se procede a realizar los ensayos pertinentes a los agregados obtenidos en la Constructora Alvarado (grueso) y en la constructora AyP Hormigones (fino) para la obtención de una adecuada resistencia a compresión a los 14, 28 y 60 días de edad.

Los ensayos a realizarse a los agregados tanto fino como grueso son elaborados de acuerdo a las Normas establecidas como la NTE INEN o ASTM.

4.1.1 Ensayos Realizados a los agregados

Los ensayos realizados a los agregados para ser empleados en la elaboración de las probetas de hormigón son ejecutados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Ensayo N° 1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

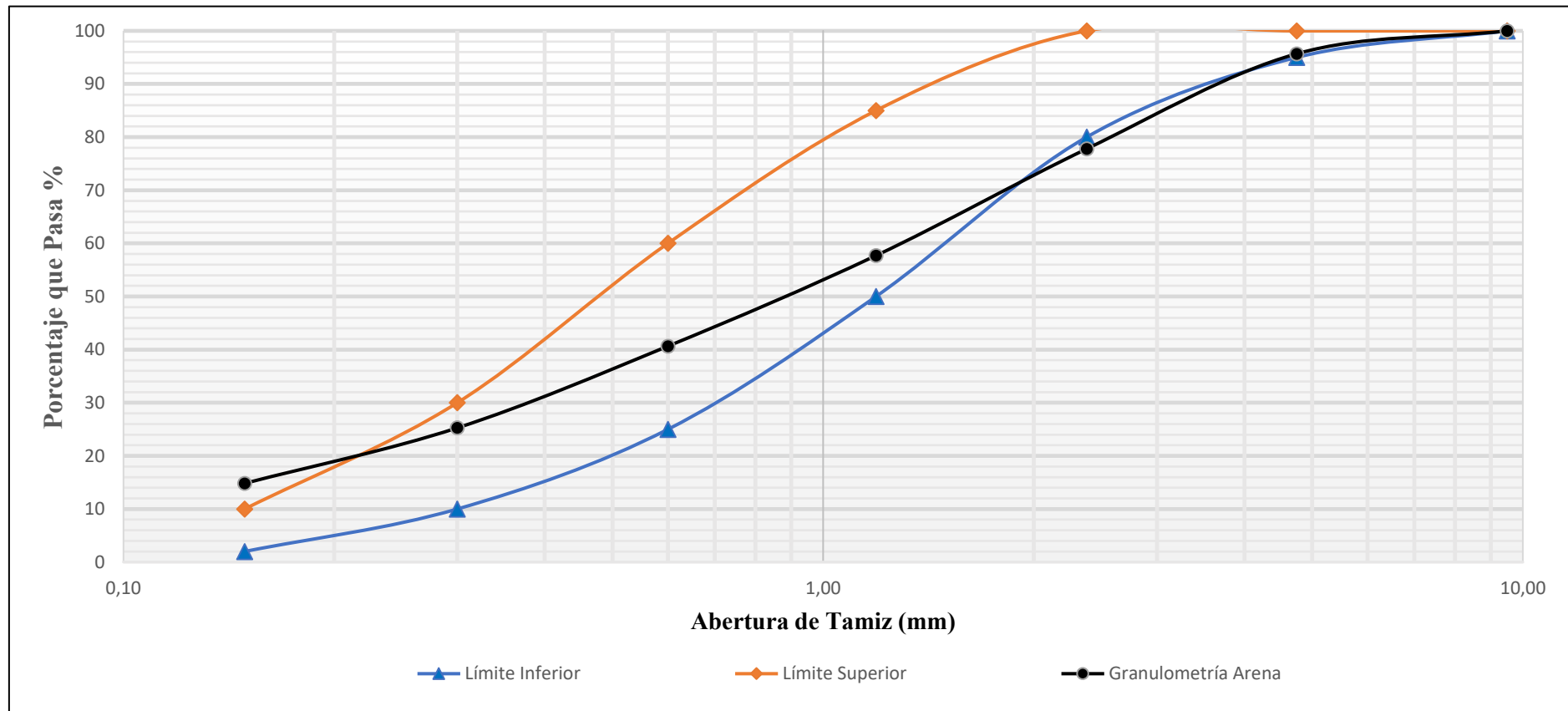
Se realiza el ensayo granulométrico al material para la elaboración del hormigón como la escoria, material fino y grueso haciéndolos pasar por el juego de tamices que describe la norma NTE INEN 696 o ASTM C33, con el objetivo de verificar si son materiales aptos para la elaboración de hormigón.

Tabla N° 11. Granulometría del Agregado Fino

| ABERTURA DE TAMIZ | | RETENIDO EN gr | | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | LÍMITE % QUE PASA ASTM C33 | |
|-------------------------|------|----------------|-------------|----------------------|------------|----------------------------|-----|
| Plg | mm | Parcial | Acumulado | | | | |
| 3/8" | 9,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | 100 |
| # 4 | 4,75 | 30,20 | 30,20 | 4,32 | 95,68 | 95 | 100 |
| # 8 | 2,38 | 125,26 | 155,46 | 22,22 | 77,78 | 80 | 100 |
| # 16 | 1,19 | 140,50 | 295,96 | 42,30 | 57,70 | 50 | 85 |
| # 30 | 0,60 | 119,33 | 415,29 | 59,35 | 40,65 | 25 | 60 |
| # 50 | 0,30 | 107,60 | 522,89 | 74,73 | 25,27 | 10 | 30 |
| # 100 | 0,15 | 73,13 | 596,02 | 85,18 | 14,82 | 2 | 10 |
| # 200 | 0,08 | 44,70 | 640,72 | 91,57 | 8,43 | | |
| FUENTE | | 59,00 | 699,72 | 100,00 | 0,00 | | |
| MÓDULO DE FINURA | | | 2,88 | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Gráfico N° 7. Curva Granulométrica de la Arena



Fuente: Egresado Darío Laica

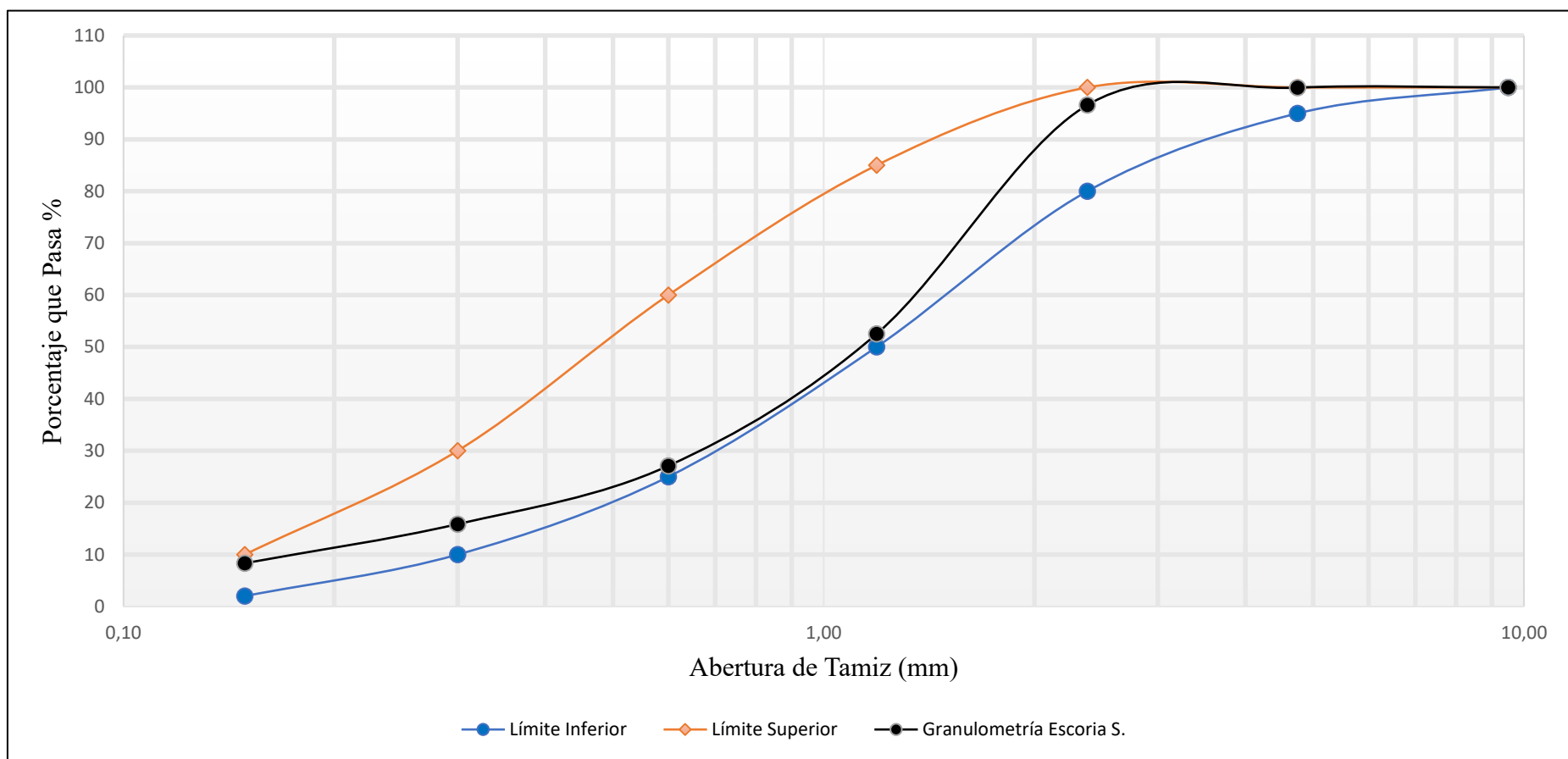
Interpretación: Realizado el ensayo granulométrico a la arena procedente la Mina de A&P HORMIGONES se puede observar que la arena se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas anteriormente mencionada, obteniendo un módulo de Finura de 2.88 la cuál está dentro de los límites establecidos para realizar hormigón.

Tabla N° 12. Granulometría de la Escoria Siderúrgica

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |  | |
|--|------|--|-------------|----------------------|------------|---|-----|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | |
| GRANULOMETRÍA DE LA ESCORIA SIDERÚRGICA | | | | | | | |
| Origen: | | Industria Siderúrgica de Machachi | | | | | |
| Ensayado por: | | Darío Javier Laica Fernández | | | | | |
| Fecha: | | Viernes, 23 de Marzo de 2018 | | | | | |
| Norma: | | INEN 696 | | | | | |
| Masa del Agregado Escoria: | | 700 gr | | | | | |
| ABERTURA DE TAMIZ | | RETENIDO EN gr | | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | LÍMITE % QUE PASA ASTM C33 | |
| Plg | mm | Parcial | Acumulado | | | | |
| 3/8" | 9,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | 100 |
| # 4 | 4,75 | 0,30 | 0,30 | 0,04 | 99,96 | 95 | 100 |
| # 8 | 2,38 | 23,40 | 23,70 | 3,39 | 96,61 | 80 | 100 |
| # 16 | 1,19 | 307,80 | 331,50 | 47,49 | 52,51 | 50 | 85 |
| # 30 | 0,60 | 177,40 | 508,90 | 72,90 | 27,10 | 25 | 60 |
| # 50 | 0,30 | 78,40 | 587,30 | 84,13 | 15,87 | 10 | 30 |
| # 100 | 0,15 | 52,60 | 639,90 | 91,66 | 8,34 | 2 | 10 |
| # 200 | 0,08 | 13,00 | 652,90 | 93,53 | 6,47 | | |
| FUENTE | | 45,20 | 698,10 | 100,00 | 0,00 | | |
| MÓDULO DE FINURA | | | 3,00 | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Gráfico N° 8. Granulometría de la Escoria Siderúrgica



Fuente: Egresado Darío Laica

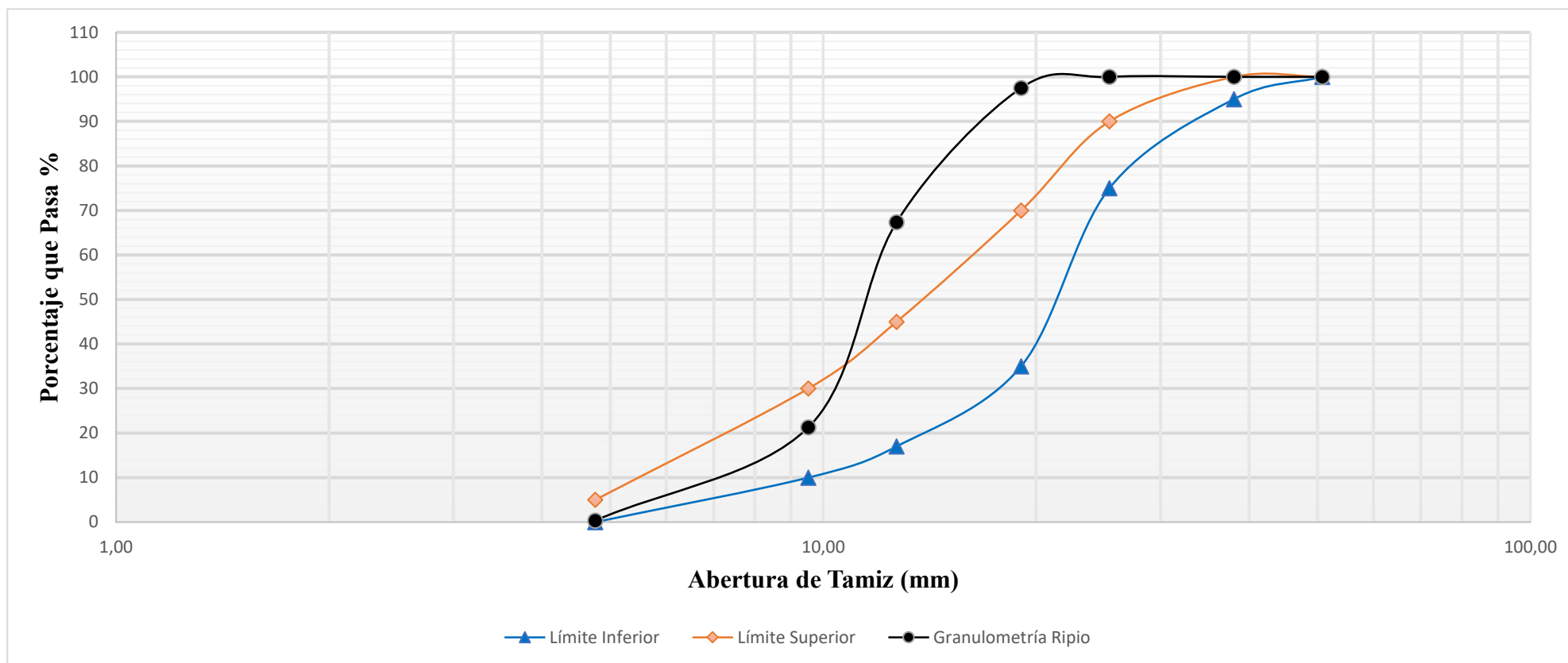
Interpretación: Realizado el ensayo granulométrico a la Escoria Siderúrgica procedente de la Industria Siderúrgica ubicada en Machachi se puede observar que la escoria se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas anteriormente mencionada, obteniendo un módulo de Finura de 3.0, la cuál está dentro de los límites establecidos para realizar hormigón.

Tabla N° 13. Granulometría del Agregado Grueso

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |  | |
|---|-------|--|-----------|----------------------|------------|---|-----|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | |
| GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | |
| Origen: | | Mina Alvarado Ortiz | | | | | |
| Ensayado por: | | Darío Javier Laica Fernández | | | | | |
| Fecha: | | Viernes, 23 de Marzo de 2018 | | | | | |
| Norma: | | INEN 696 | | | | | |
| Masa del Agregado Grueso: | | 9 Kg | | | | | |
| ABERTURA DE TAMIZ | | RETENIDO EN gr | | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | LÍMITE % QUE PASA ASTM C33 | |
| Plg | mm | Parcial | Acumulado | | | | |
| 2" | 50,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | 100 |
| 1 1/2" | 38,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 95 | 100 |
| 1" | 25,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 75 | 90 |
| 3/4" | 19,05 | 224,00 | 224,00 | 2,49 | 97,51 | 35 | 70 |
| 1/2" | 12,70 | 2710,00 | 2934,00 | 32,62 | 67,38 | 17 | 45 |
| 3/8" | 9,53 | 4143,00 | 7077,00 | 78,69 | 21,31 | 10 | 30 |
| #4 | 4,76 | 1886,00 | 8963,00 | 99,66 | 0,34 | 0 | 5 |
| FUENTE | | 31,00 | 8994,00 | 100,00 | 0,00 | | |
| Tamaño Nominal Máximo | | | 3/4" | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 9. Granulometría del Agregado Grueso





Fuente: Egresado Darío Laica

Interpretación: El agregado grueso obtenido de la mina Alvarado Ortiz fue un agregado triturado de 3/4" y podemos comprobarlo con la granulometría realizada a dicho material, ya que para la realización de cilindros de hormigón de dimensiones 100mmx200mm como especifica la norma NTE INEN1576 o ASTM C39, el Diámetro del cilindro debe ser mínimo 3 veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso y la altura 2 veces su diámetro, por lo tanto este material cumple para la elaboración de cilindros de hormigón de dichas dimensiones.

Ensayo N° 2. Densidad Aparente Suelta de los Agregados



Tabla N° 14. Densidad Aparente Suelta de los Agregados

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | |
|--|--|--|--|----------------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | |
| DENSIDAD APARENTE SUELTA AGREGADOS | | | | |
| Origen: | | Minas: Alvarado Ortiz (Grueso) y A&P HORMIGONES (Fino) | | |
| Ensayado por: | | Darío Javier Laica Fernández | | |
| Fecha: | | Viernes, 17 de Abril de 2018 | | |
| Norma: | | INEN 858 | | |
| Masa del Recipiente: | | 9,80 Kg | | |
| Volumen Recipiente | | 20220 cm ³ =20.22 dm ³ | | |
| AGREGADO | MASA RECIPIENTE+AGREGADO Kg | MASA AGREGADO Kg | DENSIDAD APARENTE SUELTA Kg/ dm³ | DAS Kg/dm³ |
| ESCORIA | 51,08 | 41,28 | 2,042 | 2,040 |
| | 51 | 41,2 | 2,038 | |
| FINO | 41,95 | 32,15 | 1,590 | 1,594 |
| | 42,10 | 32,30 | 1,597 | |
| GRUESO | 38,40 | 28,6 | 1,414 | 1,407 |
| | 38,10 | 28,3 | 1,400 | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Ensayo N° 3. Densidad Aparente Compactada de los Agregados

Tabla N° 15. Densidad Aparente Compactada de los Agregados

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | |  | |
|--|--------------------------------------|--|---|------------------------------|---|--|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | |
| DENSIDAD APARENTE COMPACTADA AGREGADOS | | | | | | |
| Origen: Minas: Alvarado Ortiz (grueso) y A&P HORMIGONES (Fino) Ensayado por: Darío Javier Laica Fernández Fecha: Viernes, 17 de Abril de 2018 Norma: INEN 858 Masa del Recipiente: 9,785 Kg Volumen Recipiente: 20960 cm ³ = 20.96 dm ³ | | | | | | |
| | | | | | | |
| AGREGADO | MASA RECIPIENTE + AGREGADO Kg | MASA AGREGADO Kg | DENSIDAD APARENTE COMPACTADA Kg/dm³ | DAC Kg/dm³ | | |
| ESCORIA | 55,2 | 45,415 | 2,167 | 2,169 | | |
| | 55,3 | 45,515 | 2,172 | | | |
| FINO | 45,40 | 35,62 | 1,699 | 1,697 | | |
| | 45,30 | 35,52 | 1,694 | | | |
| GRUESO | 41,00 | 31,215 | 1,489 | 1,494 | | |
| | 41,20 | 31,415 | 1,499 | | | |

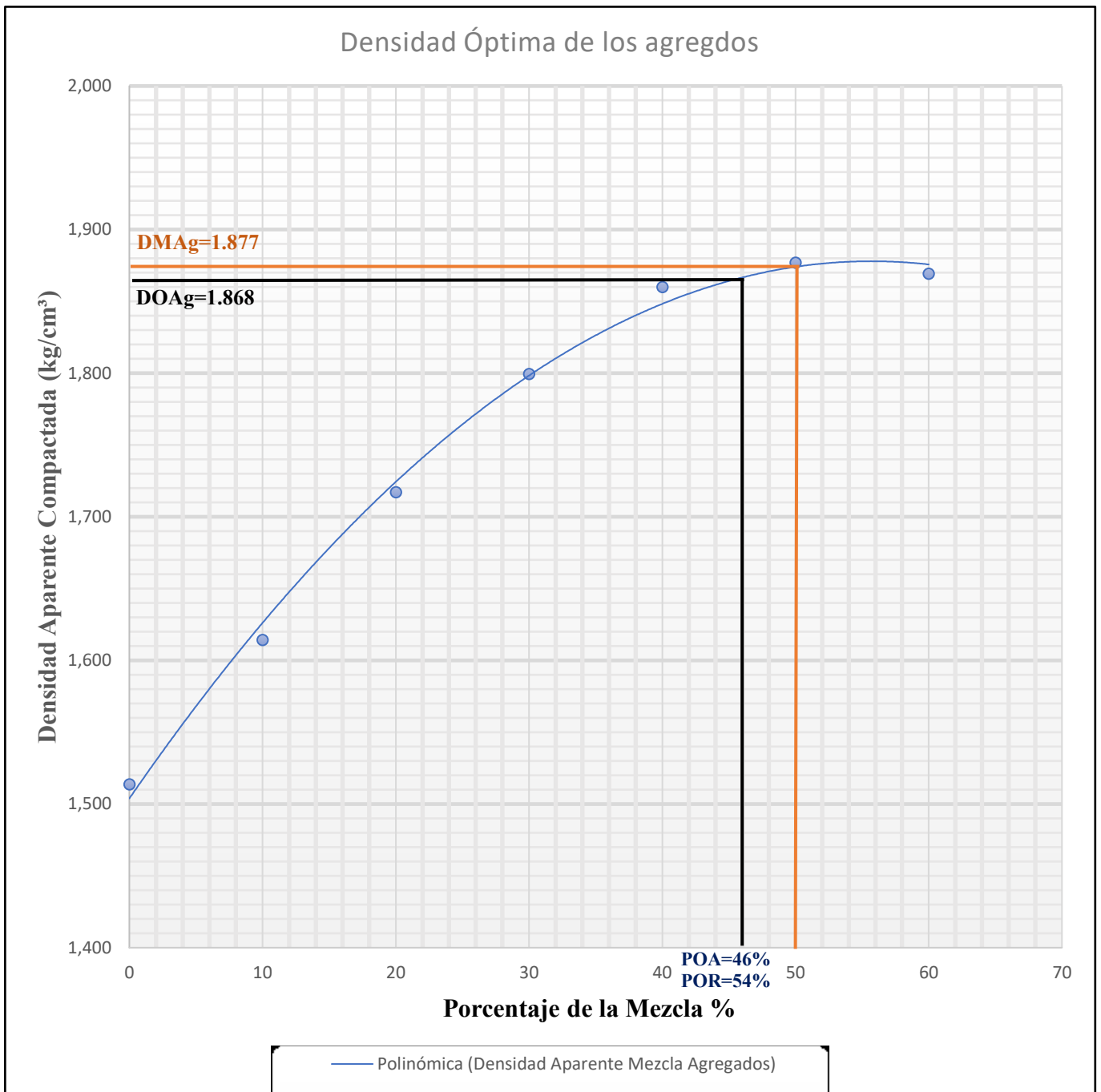
Fuente: Egresado Darío Laica

Tabla N° 16. Densidad Aparente Compactada de Mezcla de Agregados

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | |  | | | |
|---|-------|--|-------|------------|---|---------------------|-----------------------------|------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | |
| DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS | | | | | | | | |
| Origen: | | Mina | | | | | | |
| Ensayado por: | | Darío Javier Laica Fernández | | | | | | |
| Fecha: | | Viernes, de Abril de 2018 | | | | | | |
| Norma: | | INEN 858 | | | | | | |
| Masa del Recipiente: | | 9,641 Kg | | | | | | |
| Volumen Recipiente | | 20,65 cm ³ | | | | | | |
| MEZCLA REQUERIDA % | | CANTIDAD CALCULADA Kg | | AÑADIDO Kg | Masa recip + Agregado Kg | Masa de Agregado Kg | Densidad Kg/dm ³ | DAC Kg/dm ³ |
| RIPIO | ARENA | RIPIO | ARENA | ARENA | AGREGADO GRUESO+FINO | | | |
| 100 | 0 | 40 | 0,00 | 0,00 | 40,8 | 31,159 | 1,509 | 1,514 |
| | | | | | 41 | 31,359 | 1,519 | |
| 90 | 10 | 40 | 4,44 | 4,44 | 42,85 | 33,209 | 1,608 | 1,614 |
| | | | | | 43,1 | 33,459 | 1,620 | |
| 80 | 20 | 40 | 10,00 | 5,56 | 45,2 | 35,559 | 1,722 | 1,717 |
| | | | | | 45,00 | 35,359 | 1,712 | |
| 70 | 30 | 40 | 17,14 | 7,14 | 46,60 | 36,959 | 1,790 | 1,799 |
| | | | | | 47,00 | 37,359 | 1,809 | |
| 60 | 40 | 40 | 26,67 | 9,53 | 48,10 | 38,459 | 1,862 | 1,860 |
| | | | | | 48,00 | 38,359 | 1,858 | |
| 50 | 50 | 40 | 40,00 | 13,33 | 48,50 | 38,859 | 1,882 | 1,877 |
| | | | | | 48,30 | 38,659 | 1,872 | |
| 40 | 60 | 40 | 60,00 | 20,00 | 48,39 | 38,749 | 1,876 | 1,869 |
| | | | | | 48,10 | 38,459 | 1,862 | |
| PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO FINO = | | | | | | | 50% | |
| PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO= | | | | | | | 50% | |
| PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO FINO = | | | | | | | 46% | |
| PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO GRUESO = | | | | | | | 54% | |
| DENSIDAD MÁXIMA DE LOS AGREGADOS = | | | | | | | 1,877 | |
| DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS = | | | | | | | 1,868 | |

Fuente: Egresado Darío Laica


Gráfico N° 10. Densidad Óptima de los Agregados



Fuente: Egresado Darío Laica

Ensayo N° 4. Densidad Real de la Arena



Tabla N° 17. Densidad Real de la Arena

| | | | |
|---|--|---|--------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL |  | |
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | |
| DENSIDAD REAL DE LA ARENA | | | |
| Origen: Mina: Alvarado Ortiz (grueso) y A&P HORMIGONES (Fino) Ensayado por: Darío Javier Laica Fernández Fecha: Viernes, 23 de Abril de 2018 Norma: INEN 856 | | | |
| DESCRIPCIÓN | NOMENC. | U | VALOR |
| Masa del frasco (Picnómetro) | m1 | gr | 154,70 |
| Masa del frasco + agregado sss | m2 | gr | 654,50 |
| Masa del frasco + agregado sss + agua | m3 | gr | 960,30 |
| Masa del agua añadida (m3-m2) | m4 | gr | 305,80 |
| Masa del frasco + 500cc de agua | m5 | gr | 653,00 |
| Masa de 500cc de agua (m5-m1) | m6 | gr | 498,30 |
| Densidad del agua (m6/500cc) | da | gr/cc | 1 |
| Masa del agua desalojada por el agregado (m6-m4) | m7 | gr | 192,50 |
| Masa del agregado (m2-m1) | Msss | gr | 499,80 |
| Volumen de agua desalojada = volumen de agregado añadido (m7/da) | Vsss | cc | 193,16 |
| DENSIDAD REAL DE LA ARENA EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss) | DRA | gr/cc | 2,588 |

Fuente: Egresado Darío Laica

Ensayo N° 5. Densidad Real del Ripio

Tabla N° 18. Densidad Real del Ripio

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|------------------------------|--------------|--------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | |
| DENSIDAD REAL DEL RIPIO | | | |
| Origen: | Mina Alvarado Ortiz | | |
| Ensayado por: | Darío Javier Laica Fernández | | |
| Fecha: | Viernes, 23 de Abril de 2018 | | |
| Norma: | INEN 857 | | |
| DESCRIPCIÓN | NOMENC. | U | VALOR |
| Masa de la canastilla en el aire | m1 | gr | 1487 |
| Masa de la canastilla + agregado sss en el aire | m2 | gr | 8600 |
| Masa del agregado sss en en el aire (m2-m1) | Msss | gr | 7113 |
| Masa canastilla +agregado sss en el agua | m3 | gr | 5756 |
| Masa de la canastilla en el agua | m4 | gr | 1296 |
| Masa del agregado en el agua (m3-m4) | Ma | gr | 4460 |
| Volumen del agregado (Msss-Ma en el agua) /da agua | Vsss | cc | 2653 |
| DENSIDAD REAL RIPIO EN $\text{kg/dm}^3 = (\text{Msss}/\text{Vsss})$ | DRR | gr/cc | 2,681 |

Fuente: Egresado Darío Laica

Ensayo N° 6. Densidad Real del Cemento



Tabla N° 19. Densidad Real del Cemento

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|------------------------------|--------------|--------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | |
| DENSIDAD REAL DEL CEMENTO | | | |
| Origen: | Holcim Cemento Rocafuerte GU | | |
| Ensayado por: | Darío Javier Laica Fernández | | |
| Fecha: | Viernes, 24 de Abril de 2018 | | |
| Norma: | INEN 156 | | |
| DESCRIPCIÓN | NOMENC. | U | VALOR |
| Masa del frasco (Picnómetro) | m1 | gr | 154 |
| Masa del frasco + Cemento | m2 | gr | 254 |
| Masa del frasco + Cemento + Gasolina | m3 | gr | 597 |
| Masa de gasolina añadida (m3-m2) | m4 | gr | 343 |
| Masa del frasco + 500cc de gasolina | m5 | gr | 523 |
| Masa de 500cc de gasolina (m5-m1) | m6 | gr | 369 |
| Densidad de la gasolina (m6/500cc) | dg | gr/cc | 1 |
| Masa de la gasolina desalojada por el cemento (m6-m4) | m7 | gr | 26 |
| Masa del cemento (m2-m1) | Msss | gr | 100 |
| Volumen de la gasolina desalojada = volumen de cemento añadido (m7/dg) | Vsss | cc | 35 |
| DENSIDAD REAL DEL CEMENTO $\text{kg/dm}^3 = (\text{Msss}/\text{Vsss})$ | DRA | gr/cc | 2,838 |

Fuente: Egresado Darío Laica

Ensayo N° 7. Densidad Real de la Escoria

Tabla N° 20. Densidad Real de la Escoria

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|-----------------------------------|--------------|--------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | |
| DENSIDAD REAL DE LA ESCORIA SIDERÚRGICA | | | |
| Origen: | Industria Siderúrgica de Machachi | | |
| Ensayado por: | Darío Javier Laica Fernández | | |
| Fecha: | Viernes, 24 de Abril de 2018 | | |
| Norma: | INEN 856 | | |
| DESCRIPCIÓN | NOMENC. | U | VALOR |
| Masa del frasco (Picnómetro) | m1 | gr | 154,70 |
| Masa del frasco + escoria sss | m2 | gr | 654,50 |
| Masa del frasco + escoria sss + agua | m3 | gr | 1021,10 |
| Masa del agua añadida (m3-m2) | m4 | gr | 366,60 |
| Masa del frasco + 500cc de agua | m5 | gr | 652,90 |
| Masa de 500cc de agua (m5-m1) | m6 | gr | 498,20 |
| Densidad del agua (m6/500cc) | da | gr/cc | 1 |
| Masa del agua desalojada por la escoria (m6-m4) | m7 | gr | 131,60 |
| Masa de la escoria (m2-m1) | Msss | gr | 499,80 |
| Volumen de agua desalojada = volumen de escoria añadida (m7/da) | Vsss | cc | 132,08 |
| DENSIDAD REAL DE LA ESCORIA EN kg/dm³ = (Msss/Vsss) | DRA | gr/cc | 3,784 |

Fuente: Egresado Darío Laica

Ensayo N° 8. Capacidad de Absorción de los Agregados

Tabla N° 21. Capacidad de Absorción de los Agregados

| DESCRIPCIÓN | | NOMENC. | ARENA | | RIPIO | | ESCORIA | |
|--|-----------|------------------------|-------------|--------|-------------|---------|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Masa del recipiente (gr) | | m1 | 30,80 | 31,30 | 254,00 | 256,00 | 30,10 | 31,90 |
| Masa del recipiente + agregado sss (gr) | | m2 | 166,33 | 187,78 | 1674,00 | 1802,00 | 187,49 | 181,11 |
| Masa del recipiente + agregado seco (gr) | | m3 | 165,72 | 187,21 | 1646,10 | 1773,20 | 186,47 | 180,07 |
| Masa del agregado sss (gr) | | Msss (m2-m1) | 135,53 | 156,48 | 1420,00 | 1546,00 | 157,39 | 149,21 |
| Masa del agregado seco (gr) | | Mseca (m3-m1) | 134,92 | 155,91 | 1392,10 | 1517,20 | 156,37 | 148,17 |
| Capacidad de Absorción (%) | | (Msss- Mseca)/Mseca | 0,45 | 0,37 | 2,00 | 1,90 | 0,65 | 0,70 |
| CAPACIDAD ABSORCIÓN (%) | DE | CA% | 0,41 | | 1,95 | | 0,68 | |

Fuente: Egresado Darío Laica

4.1.2 Dosificación del Hormigón

Método de la Densidad Óptima de la Universidad Central del Ecuador

Una vez realizados los ensayos a los agregados que van a ser utilizados en la elaboración del hormigón, se puede concluir que estos materiales cumplen con los requisitos descritos en las Normas NTE INEN o ASTM para elaboración del mismo, por lo cual se procede a realizar la dosificación del hormigón para obtener una resistencia a compresión de 240 kg/cm^2 ($f'c=240 \text{ kg/cm}^2$) a los 28 días de edad, mediante el método de la Densidad Óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador, para lo cual se utilizarán los datos obtenidos de los agregados anteriormente ensayados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Para los cálculos se necesitan los siguientes datos:

Tabla N° 22. Datos para Dosificación

| DESCRIPCIÓN | NOMENC. | VALOR | UNIDAD |
|---------------------------------------|---------|-------|------------------|
| Densidad Real del Cemento | DRC | 2.838 | Kg/dm^3 |
| Densidad Real de la Arena | DRA | 2.588 | Kg/dm^3 |
| Densidad Real del Ripio | DRR | 2.681 | Kg/dm^3 |
| Porcentaje Óptimo del Ripio | POR | 54 | % |
| Porcentaje Óptimo de la Arena | POA | 46 | % |
| Densidad Óptima de Mezcla de Agregado | DOM | 1.868 | Kg/dm^3 |
| Densidad Aparente Suelta de la Arena | DAA | 1.594 | Kg/dm^3 |
| Densidad Aparente Suelta del Ripio | DAR | 1.407 | Kg/dm^3 |

Fuente: Egresado Darío Laica

A continuación, se establece la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a compresión a ser diseñará.

Tabla N° 23. Resistencia a Compresión de acuerdo con la Relación agua/cemento

| Resistencia a Compresión a los 28 días en Mpa (f'c) | Relación agua/cemento (w/c) |
|--|------------------------------------|
| 45 | 0.37 |
| 42 | 0.40 |
| 40 | 0.42 |
| 35 | 0.46 |
| 32 | 0.50 |
| 30 | 0.51 |
| 28 | 0.52 |
| 25 | 0.55 |
| 24 | 0.56 |
| 21 | 0.58 |
| 18 | 0.60 |

Fuente: Ing. Santiago Medina, Folleto Ensayo de Materiales II.

PROCEDIMIENTO:

1.- Densidad Real de la Mezcla (DRM)

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

$$DRM = \frac{2.588 * 46 + 2.681 * 54}{100}$$

$$DRM = 2.638 \frac{kg}{dm^3}$$

2.- Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$
$$POV = \frac{2.638 - 1.868}{2.638} * 100$$
$$POV = 29.195 \%$$

3.- Cantidad de Pasta en %

Para definir la cantidad de Pasta se la realiza de acuerdo al asentamiento requerido especificado en la Tabla N° 22, el cuál para cubrir los vacíos dejados por los agregados se le añade una cantidad extra equivalente al 2% de Pasta.

Tabla N° 24. Cantidad de Pasta en función del Asentamiento

| Asentamiento (cm) | Cantidad de Pasta (%) |
|-------------------|-----------------------|
| 0 – 3 | POV + 2% + 3% (POV) |
| 3 – 6 | POV + 2% + 6% (POV) |
| 6 – 9 | POV + 2% + 8% (POV) |
| 9 – 12 | POV + 2% + 11% (POV) |
| 12 – 15 | POV + 2% + 13% (POV) |

Fuente: Ing. Santiago Medina, Folleto Ensayo de Materiales II.

$$CP = POV + 2\% + 6\%(POV)$$

$$CP = 29.195 + 2\% + 6\%(29.195\%)$$

$$CP = 32.946\%$$

$$CP = \frac{CP\%}{100} * 1000 \text{ dm}^3$$

$$CP = \frac{32.946 \text{ \%}}{100} * 1000 \text{ dm}^3$$

$$CP = 329.46 \text{ dm}^3$$

4.- Relación Agua/cemento (w/c)

La relación agua/cemento fue tomada de la Tabla N° 21.

| Resistencia a Compresión a los 28 días en Mpa ($f'c$) | Relación agua/cemento (w/c) |
|---|-----------------------------|
| 24 | 0.56 |

5.- Cantidad de Cemento (c)

$$c = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

$$c = \frac{329.46 \text{ dm}^3}{0.56 + \frac{1}{2.838 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}}$$

$$c = 361.111 \text{ kg}$$

6.- Cantidad de Agua (w)

$$w = \frac{w}{c} * c$$

$$w = 0.56 * 361.111 \text{ kg}$$

$$w = 202.222 \text{ kg}$$

7.- Cantidad de Arena (A)

$$A = (VH - CP) * DRA * POA$$

$$A = (1000\text{dm}^3 - 329.46\text{dm}^3) * 2.588 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * 46\%$$

$$A = 798.260 \text{ kg}$$

8.- Cantidad de Ripio (R)

$$R = (VH - CP) * DRR * POR$$

$$R = (1000dm^3 - 329.46dm^3) * 2.681 \frac{kg}{dm^3} * 54\%$$

$$R = 970.762 \text{ kg}$$

9.- Dosificación al Peso

La dosificación al peso se la realiza para determinar la cantidad de material en peso para cualquier volumen de hormigón.

$$\text{Dosificación al Peso} = \frac{\text{Cantidad de Material}}{\text{Cantidad de Cemento}}$$

$$c = \frac{361.111}{361.111}$$

$$c = 1$$

$$w = \frac{202.222}{361.111}$$

$$w = 0.56$$

$$A = \frac{798.260}{361.111}$$

$$A = 2.211$$

$$R = \frac{970.762}{361.111}$$

$$R = 2.688$$

10.- Dosificación para 6 probetas Cilíndricas

Se procederá a tomar las medidas de las probetas cilíndricas para confirmar su Diámetro y Altura. Se realizará la dosificación para 6 probetas cilíndricas de hormigón de determinadas dimensiones y obtener resultados mucho más representativos y valederos.

Gráfico N° 11. Dimensiones de los cilindros



Fuente: Egresado Darío Laica

Datos:

Diámetro: 100 mm

Altura: 200 mm

Número de cilindros: 6

VOLUMEN DE 6 PROBETAS CILÍNDRICAS

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * h * \#cilindros$$

$$V = \pi * \frac{(0.1m)^2}{4} * 0.2m * 6 cilindros$$

$$V = 0.0094 \text{ m}^3$$

Para:

1m³ de Hormigón → 361.111 kg de cemento

0.0094 m³ de Hormigón → **3.40 kg de cemento**

Para determinar la cantidad de agua (w), arena (A) y ripio (R), se multiplica la cantidad de cemento calculada para tal volumen por el factor de cada material, y así obtendremos las cantidades necesarias para cubrir el volumen de 0.0094 m³.

Tabla N° 25. Dosificación para 6 probetas cilíndricas

| Material | Cantidad para 1m ³ | Dosificación al Peso | Volumen de 6 probetas cilíndricas (m ³) | Cantidad |
|----------|-------------------------------|----------------------|---|----------|
| c | 361.11 kg | 1 | 0.0094 | 3.40 kg |
| w | 202.22 lt | 0.56 | | 1.91 lt |
| A | 798.26 kg | 2.21 | | 7.52 kg |
| R | 970.76 kg | 2.69 | | 9.15 kg |

Fuente: Egresado Darío Laica

La cantidad de material está calculada para 6 probetas cilíndricas de 100mm de diámetro x 200mm de altura, el material a ser reemplazado es la arena en porcentajes del 10%, 20% y 30% para edades de 14, 28 y 60 días respectivamente. Para nuestro caso se debe tener en cuenta la diferencia de densidades que existe entre arena por la escoria, ya que la arena presenta una densidad real de 2.588 kg/dm³ y la escoria de 3.784 kg/dm³ por lo que es adecuado sustituir al volumen la arena por la escoria, ya que la escoria representa mayor peso que la arena.

Tabla N° 26. Dosificación para 6 probetas cilíndricas en reemplazo de arena por escoria siderúrgica

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | |  | | | |
|--|----|---|------|------|------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDERÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | |
| DOSIFICACIÓN INCLUYENDO EL % DE ESCORIA | | | | | |
| Método: | | Densidad Óptima de la Universidad Central del Ecuador | | | |
| Elaborado por: | | Darío Laica | | | |
| Cantidad de material para 6 probetas cilíndricas | | | | | |
| Material | | Porcentaje de Escoria | | | |
| | | 0% | 10% | 20% | 30% |
| cemento (c) | kg | 3,40 | 3,40 | 3,40 | 3,40 |
| agua (w) | lt | 1,91 | 1,91 | 1,91 | 1,91 |
| arena (A) | kg | 7,52 | 6,77 | 6,02 | 5,27 |
| escoria (e) | kg | 0 | 0,75 | 1,50 | 2,26 |
| ripio (R) | kg | 9,15 | 9,15 | 9,15 | 9,15 |

Fuente: Egresado Darío Laica

4.1.3 Elaboración del Hormigón ($f'c=240 \text{ kg/cm}^2$)

Con la dosificación realizada tenemos las cantidades necesarias para realizar hormigón con una resistencia a compresión de 240 kg/cm^2 a los 28 días de edad y sus respectivas sustituciones de escoria siderúrgica por arena.

Se inicia tomando los pesos de los materiales como el ripio, la arena, el cemento y agua según la dosificación realizada.

Colocar en la bandeja el material previamente pesado como la arena y el cemento, mezclarlos adecuadamente hasta obtener una mezcla homogénea, luego añadir el agregado grueso y repetir el mezclado para homogenizar.

Agregar la porción de agua calculada y mezclar hasta obtener homogeneidad del hormigón en estado fresco.

Posteriormente se determina el asentamiento del hormigón en estado fresco para comprobar si se encuentra dentro de los límites establecidos según el diseño de la mezcla. Este ensayo se realizó según la Norma INEN NTE 1578.

Se debe utilizar una bandeja metálica rígida con una superficie uniforme, humedecer el cono de Abrams y colocarlo sobre la bandeja metálica, tenerlo apisonado de las aletas para evitar el movimiento del cono, llenarlo en tres capas uniformes cada capa debe ser compactada con 25 golpes en espiral con una varilla metálica de punta redonda sin penetrar más de 2 cm la capa anterior.

Enrasar el exceso de masa, retirar el cono de manera vertical halando las agarraderas posteriormente colocar el molde retirado junto la masa de hormigón fresco y medir el asentamiento con la ayuda de un flexómetro através de la diferencia de altura.

El ensayo de asentamiento debe realizarse en un tiempo máximo de 2.5 minutos.

Posteriormente se procede a llenar los moldes cilíndricos con la mezcla de hormigón realizada como establece la Norma INEN NTE 1576. Se debe utilizar el método de compactación y el número de capas respectivas dependiendo el diámetro del molde a utilizar.

El molde cilíndrico a utilizar es de 100mm x 200mm, para llenar este molde se lo debe realizar en 2 capas, con 25 golpes por capa con la varilla de compactación adecuada de punta redondeada y con el martillo de goma golpear alrededor de cada capa con un máximo de 15 golpes para eliminar las burbujas de aire y exceso de vacíos en la masa.

Por último se debe enrasar el exceso de masa y dejar fraguar por un lapso de 24 ± 8 horas para su desencofrado y ser llevado a la cámara de curado para evitar la pérdida de humedad del hormigón endurecido.

Gráfico N° 12. Mezcla de Materiales



Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 13. Agua añadida a la mezcla.



Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 14. Masa de Hormigón



Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 15. Cono de Abrams



Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 16. Medición del asentamiento



Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 17. Llenado de moldes



Fuente: Egresado Darío Laica

Tabla N° 27. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 14 Días de edad.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Elaborado por: Egresado Darío Laica

| NORMA: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | Altura del cilindro: | | 0,2 | | | m |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|---------------------------|
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA DE ELABORACIÓN | DIÁMETRO (cm) | MASA DEL RECIPIENTE VACIO (kg) | MASA RECIPIENTE+HORMIGÓN (kg) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | VOLUMEN DEL MOLDE (m³) | ASENTAMIENTO (cm) | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) |
| 1 | 0 | 2/5/2018 | 10,50 | 4,08 | 8,07 | 3,99 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2304,535 | 2349,610 |
| 2 | | | 10,40 | 4,04 | 8,00 | 3,96 | 0,0017 | | | | 2331,997 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,08 | 8,07 | 4,00 | 0,0017 | | | | 2352,597 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,06 | 4,01 | 0,0017 | | | | 2362,015 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,07 | 8,05 | 3,98 | 0,0017 | | | | 2341,414 | |
| 6 | | | 10,30 | 4,03 | 8,04 | 4,01 | 0,0017 | | | | 2405,101 | |
| 1 | 10 | 3/5/2018 | 10,40 | 4,08 | 8,14 | 4,06 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2392,033 | 2385,441 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,10 | 4,04 | 0,0017 | | | | 2378,495 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,07 | 8,13 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2388,148 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,09 | 4,04 | 0,0017 | | | | 2379,378 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,05 | 8,11 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2387,913 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,03 | 8,09 | 4,05 | 0,0017 | | | | 2386,677 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-------|------|------|------|--------|------|-------|-------|----------|----------|
| 1 | 20 | 8/5/2018 | 10,10 | 4,08 | 8,18 | 4,10 | 0,0016 | 3.30 | BUENA | MEDIA | 2561,207 | 2430,061 |
| 2 | | | 10,20 | 4,04 | 8,14 | 4,10 | 0,0016 | | | | 2508,786 | |
| 3 | | | 10,50 | 4,08 | 8,14 | 4,07 | 0,0017 | | | | 2349,574 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,13 | 4,08 | 0,0017 | | | | 2403,805 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,07 | 8,13 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2389,679 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,03 | 8,06 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2367,312 | |
| 1 | 30 | 14/5/2018 | 10,40 | 4,08 | 8,26 | 4,19 | 0,0017 | 2.80 | BUENA | MEDIA | 2463,252 | 2468,139 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,25 | 4,19 | 0,0017 | | | | 2467,372 | |
| 3 | | | 10,30 | 4,07 | 8,21 | 4,14 | 0,0017 | | | | 2485,511 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,06 | 8,26 | 4,20 | 0,0017 | | | | 2470,315 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,08 | 8,24 | 4,16 | 0,0017 | | | | 2450,303 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,08 | 8,28 | 4,20 | 0,0017 | | | | 2472,081 | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Tabla N° 28. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 28 Días de edad.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |  | | | | | |
|---|--------------|---|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|-------------------|--------------|----------------|------------------|---------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | Altura del cilindro: | | 0,2 | | | m |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA DE ELABORACIÓN | DIÁMETRO (cm) | MASA DEL RECIPIENTE VACIO (kg) | MASA RECIPIENTE+HORMIGÓN (kg) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | VOLUMEN DEL MOLDE (m³) | ASENTAMIENTO (cm) | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) |
| 1 | 0 | 27/4/2018 | 10,40 | 4,05 | 8,02 | 3,97 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2338,47 | 2361,23 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,13 | 4,07 | 0,0017 | | | | 2393,21 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,03 | 8,00 | 3,97 | 0,0017 | | | | 2337,88 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,02 | 8,06 | 4,04 | 0,0017 | | | | 2377,32 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,01 | 3,99 | 0,0017 | | | | 2350,83 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,09 | 8,12 | 4,03 | 0,0017 | | | | 2369,67 | |
| 1 | 10 | 3/5/2018 | 10,40 | 4,07 | 8,12 | 4,05 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2381,20 | 2395,62 |
| 2 | | | 10,40 | 4,03 | 8,12 | 4,08 | 0,0017 | | | | 2402,57 | |
| 3 | | | 10,50 | 4,04 | 8,13 | 4,09 | 0,0017 | | | | 2358,99 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,03 | 8,12 | 4,09 | 0,0017 | | | | 2404,98 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,08 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2390,50 | |
| 6 | | | 10,30 | 4,08 | 8,14 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2435,47 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-------|------|------|------|--------|------|-------|-------|---------|---------|
| 1 | 20 | 8/5/2018 | 10,40 | 4,05 | 8,16 | 4,11 | 0,0017 | 3.30 | BUENA | MEDIA | 2417,93 | 2429,70 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,19 | 4,13 | 0,0017 | | | | 2431,47 | |
| 3 | | | 10,30 | 4,03 | 8,18 | 4,15 | 0,0017 | | | | 2490,31 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,02 | 8,13 | 4,11 | 0,0017 | | | | 2421,46 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,12 | 4,10 | 0,0017 | | | | 2410,87 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,09 | 8,18 | 4,09 | 0,0017 | | | | 2406,16 | |
| 1 | 30 | 14/5/2018 | 10,10 | 4,03 | 8,17 | 4,14 | 0,0016 | 2.80 | BUENA | MEDIA | 2584,92 | 2494,92 |
| 2 | | | 10,20 | 4,00 | 8,16 | 4,17 | 0,0016 | | | | 2550,40 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,03 | 8,17 | 4,14 | 0,0017 | | | | 2436,77 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,03 | 8,22 | 4,19 | 0,0017 | | | | 2465,61 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,09 | 8,27 | 4,18 | 0,0017 | | | | 2458,54 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,06 | 8,26 | 4,20 | 0,0017 | | | | 2473,26 | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Tabla N° 29. Propiedades del Hormigón en Estado Fresco en muestras a ensayarse a los 60 Días de edad.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|---------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | Altura del cilindro: | | 0,2 | | | m |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA DE ELABORACIÓN | DIÁMETRO (cm) | MASA DEL RECIPIENTE VACIO (kg) | MASA RECIPIENTE+HORMIGÓN (kg) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | VOLUMEN DEL MOLDE (m³) | ASENTAMIENTO (cm) | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) |
| 1 | 0 | 2/5/2018 | 10,50 | 4,08 | 8,07 | 3,99 | 0,0017 | 3,60 | BUENA | MEDIA | 2301,648 | 2352,493 |
| 2 | | | 10,40 | 4,04 | 8,02 | 3,98 | 0,0017 | | | | 2340,825 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,08 | 8,06 | 3,98 | 0,0017 | | | | 2342,591 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,07 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2366,723 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,07 | 8,06 | 3,99 | 0,0017 | | | | 2349,066 | |
| 6 | | | 10,30 | 4,03 | 8,06 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2414,103 | |
| 1 | 10 | 7/5/2018 | 10,40 | 4,08 | 8,11 | 4,03 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2372,021 | 2364,075 |
| 2 | | | 10,40 | 4,04 | 8,05 | 4,01 | 0,0017 | | | | 2359,660 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,08 | 8,10 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2368,489 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,06 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2363,192 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,07 | 8,07 | 4,00 | 0,0017 | | | | 2353,186 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,03 | 8,06 | 4,02 | 0,0017 | | | | 2367,901 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-------|------|------|------|--------|------|-------|-------|----------|----------|
| 1 | 20 | 10/5/2018 | 10,10 | 4,08 | 8,12 | 4,04 | 0,0016 | 3.20 | BUENA | MEDIA | 2522,515 | 2434,436 |
| 2 | | | 10,20 | 4,04 | 8,11 | 4,07 | 0,0016 | | | | 2489,817 | |
| 3 | | | 10,50 | 4,08 | 8,17 | 4,09 | 0,0017 | | | | 2362,855 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,05 | 8,14 | 4,09 | 0,0017 | | | | 2409,691 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,07 | 8,21 | 4,14 | 0,0017 | | | | 2435,000 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,03 | 8,09 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2386,736 | |
| 1 | 30 | 15/5/2018 | 10,40 | 4,08 | 8,30 | 4,22 | 0,0017 | 3.00 | BUENA | MEDIA | 2485,030 | 2470,699 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,29 | 4,23 | 0,0017 | | | | 2491,505 | |
| 3 | | | 10,30 | 4,07 | 8,11 | 4,04 | 0,0017 | | | | 2426,704 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,06 | 8,24 | 4,18 | 0,0017 | | | | 2462,664 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,08 | 8,30 | 4,22 | 0,0017 | | | | 2482,676 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,08 | 8,28 | 4,21 | 0,0017 | | | | 2475,613 | |

Fuente: Egresado Darío Laica

Tabla N° 30. Propiedades del Hormigón Fresco en muestras a someterse al ataque de Sulfatos.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|---------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | Altura del cilindro: | | 0,2 | | m | |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA DE ELABORACIÓN | DIÁMETRO (cm) | MASA DEL RECIPIENTE VACIO (kg) | MASA RECIPIENTE+HORMIGÓN (kg) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | VOLUMEN DEL MOLDE (m³) | ASENTAMIENTO (cm) | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) |
| 1 | 0 | 2/5/2018 | 10,40 | 4,05 | 8,02 | 3,97 | 0,0017 | 3,60 | BUENA | MEDIA | 2334,351 | 2354,755 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,09 | 4,03 | 0,0017 | | | | 2372,609 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,03 | 8,01 | 3,98 | 0,0017 | | | | 2342,591 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,02 | 8,07 | 4,05 | 0,0017 | | | | 2382,027 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,01 | 3,99 | 0,0017 | | | | 2349,654 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,09 | 8,08 | 3,99 | 0,0017 | | | | 2347,300 | |
| 1 | 10 | 2/5/2018 | 10,40 | 4,05 | 8,09 | 4,04 | 0,0017 | 3,50 | BUENA | MEDIA | 2379,084 | 2379,869 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,14 | 4,08 | 0,0017 | | | | 2399,685 | |
| 3 | | | 10,50 | 4,03 | 8,09 | 4,06 | 0,0017 | | | | 2342,068 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,02 | 8,06 | 4,04 | 0,0017 | | | | 2377,318 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,07 | 4,05 | 0,0017 | | | | 2385,558 | |
| 6 | | | 10,30 | 4,09 | 8,08 | 3,99 | 0,0017 | | | | 2395,500 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----------|-------|------|------|------|--------|------|-------|-------|----------|----------|
| 1 | 20 | 2/5/2018 | 10,40 | 4,05 | 8,15 | 4,10 | 0,0017 | 3.20 | BUENA | MEDIA | 2413,222 | 2427,123 |
| 2 | | | 10,40 | 4,06 | 8,19 | 4,13 | 0,0017 | | | | 2429,114 | |
| 3 | | | 10,30 | 4,03 | 8,17 | 4,14 | 0,0017 | | | | 2481,911 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,02 | 8,11 | 4,10 | 0,0017 | | | | 2410,868 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,02 | 8,12 | 4,10 | 0,0017 | | | | 2411,456 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,09 | 8,19 | 4,11 | 0,0017 | | | | 2416,165 | |
| 1 | 30 | 2/5/2018 | 10,30 | 4,03 | 8,21 | 4,18 | 0,0017 | 3.00 | BUENA | MEDIA | 2510,115 | 2507,793 |
| 2 | | | 10,20 | 4,00 | 8,25 | 4,25 | 0,0016 | | | | 2602,407 | |
| 3 | | | 10,40 | 4,03 | 8,25 | 4,23 | 0,0017 | | | | 2486,796 | |
| 4 | | | 10,40 | 4,03 | 8,25 | 4,22 | 0,0017 | | | | 2481,499 | |
| 5 | | | 10,40 | 4,09 | 8,31 | 4,22 | 0,0017 | | | | 2483,853 | |
| 6 | | | 10,40 | 4,06 | 8,28 | 4,22 | 0,0017 | | | | 2482,087 | |

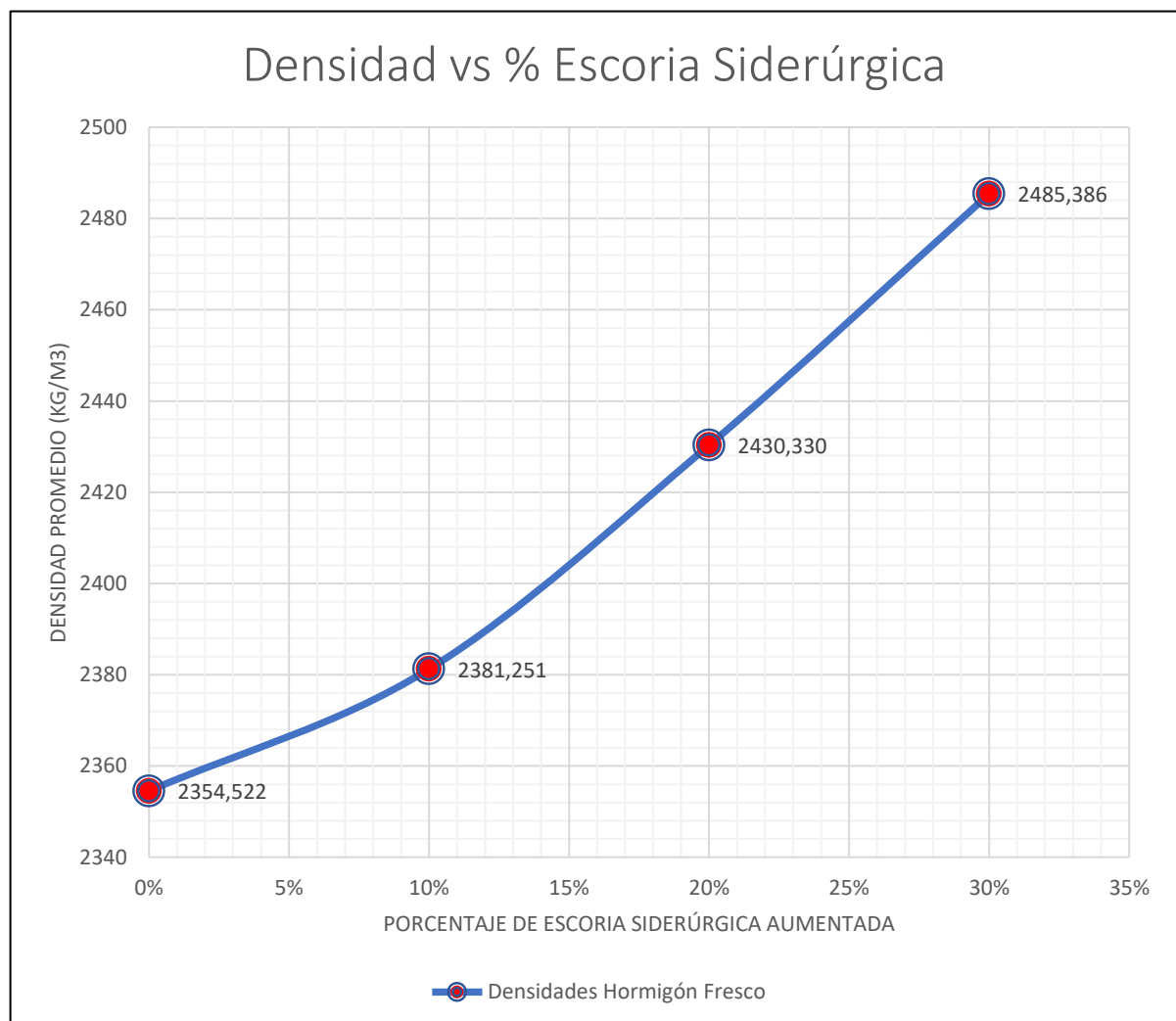
Fuente: Egresado Darío Laica

INTERPRETACIÓN:

Los resultados obtenidos para el hormigón en estado fresco con los diferentes reemplazos parciales de arena por escoria siderúrgica, nos indica que a mayor incremento de escoria la densidad del hormigón en estado fresco incrementa considerablemente, obteniendo densidades de 2354.522 kg/m³ para un hormigón simple, de 2381.251 kg/m³ con un 10% de reemplazo, 2430.330 para 20% de reemplazo y 2485.386 kg/m³ para un 30% de escoria como se indica en el Gráfico N° 18.

Además se puede observar la consistencia del hormigón con valores que van desde 3.6 cm hasta 3.0 cm en los diferentes reemplazos parciales de escoria siderúrgica por arena, esto se puede observar en las tablas N° 25, 26, 27 y 28, encontrándose dentro de los rangos permitidos.

Gráfico N° 18. Curva Densidad vs % Escoria Siderúrgica en el Hormigón Fresco



Fuente: Egresado Darío Laica

4.1.4 Ensayo a Compresión de las Muestras de Hormigón

Una vez colocados las muestras cilíndricas de 100mm x200mm de hormigón en la cámara de curado se debe dejar pasar el tiempo necesario para su respectiva edad de ensayo, llegado el día se procede a retirar las probetas de la cámara de curado y dejar secar por lo menos una hora para retirar el exceso de agua en la superficie de la muestra. Este ensayo se realizó bajo la Norma NTE INEN 1573, la cuál corresponde a aplicar una carga axial de compresión a la muestra a una velocidad determinada hasta que llegue a su falla. El esfuerzo que soporta la muestra es determinado en función de la carga máxima para su sección transversal.

Gráfico N° 19. Ensayo a Compresión



Fuente: Egresado Darío Laica

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante los ensayos a compresión y durabilidad se analizan y representan a continuación, cada uno de acuerdo a los diferentes porcentajes de sustitución establecidos de 0%, 10%, 20% y 30% de escoria siderúrgica por arena en reemplazos parciales. A través de estos resultados se realizan las respectivas observaciones del proyecto.

Tabla N° 31. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 14 días de edad



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Elaborado por: Egresado Darío Laica



NORMA: NTE INEN 1573

| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA ELABORACIÓN | FECHA ENSAYO | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (m³) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) | ÁREA (cm²) | CARGA P MAX (KN) | CARGA P PROMEDIO (KN) | CARGA P (KG) | ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm²) | f'c (kg/cm²) promedio |
|------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------|---------------------------|------------|------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 2/5/2018 | 16/5/2018 | 10,10 | 20,00 | 0,00 | 3,96 | 2472,589 | 2351,520 | 80,12 | 113,00 | 152,17 | 11522,79 | 143,82 | 183,99 |
| 2 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,00 | 3,96 | 2373,297 | | 83,32 | 152,00 | | 15499,69 | 186,02 | |
| 3 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 3,96 | 2329,642 | | 84,95 | 146,00 | | 14887,86 | 175,26 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 3,95 | 2321,991 | | 84,95 | 192,00 | | 19578,55 | 230,48 | |
| 5 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 3,95 | 2326,699 | | 84,95 | 146,00 | | 14887,86 | 175,26 | |
| 6 | | | | 10,50 | 20,00 | 0,00 | 3,96 | 2284,902 | | 86,59 | 164,00 | | 16723,35 | 193,13 | |
| 1 | 10 | 3/5/2018 | 17/5/2018 | 10,40 | 20,20 | 0,00 | 4,02 | 2340,960 | 2352,540 | 84,95 | 122,00 | 125,33 | 12440,54 | 146,45 | 150,45 |
| 2 | | | | 10,40 | 20,20 | 0,00 | 4,02 | 2343,291 | | 84,95 | 118,00 | | 12032,65 | 141,65 | |
| 3 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,02 | 2364,958 | | 84,95 | 128,00 | | 13052,37 | 153,65 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,00 | 2354,363 | | 84,95 | 138,00 | | 14072,08 | 165,65 | |
| 5 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,00 | 2356,129 | | 84,95 | 129,00 | | 13154,34 | 154,85 | |
| 6 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,00 | 2355,540 | | 84,95 | 117,00 | | 11930,68 | 140,45 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-------|-------|------|------|----------|----------|-------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 20 | 8/5/2018 | 22/5/2018 | 10,10 | 19,90 | 0,00 | 4,09 | 2567,178 | 2456,647 | 80,12 | 106,00 | 115,67 | 10808,99 | 134,91 | 140,83 |
| 2 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,00 | 4,13 | 2529,591 | | 81,71 | 138,00 | | 14072,08 | 172,21 | |
| 3 | | | | 10,50 | 20,00 | 0,00 | 4,11 | 2370,939 | | 86,59 | 102,00 | | 10401,11 | 120,12 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,11 | 2419,108 | | 84,95 | 121,00 | | 12338,57 | 145,25 | |
| 5 | | | | 10,40 | 19,90 | 0,00 | 4,09 | 2421,208 | | 84,95 | 112,00 | | 11420,82 | 134,44 | |
| 6 | | | | 10,40 | 19,90 | 0,00 | 4,11 | 2431,856 | | 84,95 | 115,00 | | 11726,74 | 138,04 | |
| 1 | 30 | 14/5/2018 | 28/5/2018 | 10,40 | 20,20 | 0,00 | 4,23 | 2462,757 | 2468,422 | 84,95 | 110,00 | 133,33 | 11216,88 | 132,04 | 160,68 |
| 2 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,20 | 2469,727 | | 84,95 | 121,00 | | 12338,57 | 145,25 | |
| 3 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,00 | 4,18 | 2505,314 | | 83,32 | 160,00 | | 16315,46 | 195,81 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,19 | 2467,372 | | 84,95 | 111,00 | | 11318,85 | 133,24 | |
| 5 | | | | 10,40 | 20,10 | 0,00 | 4,21 | 2463,296 | | 84,95 | 127,00 | | 12950,40 | 152,45 | |
| 6 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,00 | 4,15 | 2442,063 | | 84,95 | 171,00 | | 17437,15 | 205,27 | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Tabla N° 32. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 28 días de edad

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | |  | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------|---|------------|------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|--------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1573 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA ELABORACIÓN | FECHA ENSAYO | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (m³) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | DENSIDAD (kg/m³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) | ÁREA (cm²) | CARGA P MAX (KN) | CARGA P PROMEDIO (KN) | CARGA P (KG) | ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm²) | f'c (kg/cm²) |
| 1 | 0 | 27/4/2018 | 25/5/2018 | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 3,96 | 2519,104 | 2364,566 | 78,54 | 177,00 | 195,50 | 18048,98 | 229,81 | 246,17 |
| 2 | | | | 10,00 | 20,10 | 0,0016 | 3,88 | 2455,262 | | 78,54 | 179,00 | | 18252,92 | 232,40 | |
| 3 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,82 | 2381,473 | | 80,12 | 184,00 | | 18762,78 | 234,19 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 3,90 | 2293,150 | | 84,95 | 214,00 | | 21821,93 | 256,88 | |
| 5 | | | | 10,00 | 20,10 | 0,0016 | 3,79 | 2400,152 | | 78,54 | 212,00 | | 21617,98 | 275,25 | |
| 6 | | | | 10,40 | 20,10 | 0,0017 | 3,65 | 2138,254 | | 84,95 | 207,00 | | 21108,13 | 248,48 | |
| 1 | 10 | 3/5/2018 | 31/5/2018 | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 4,04 | 2424,904 | 2395,549 | 83,32 | 167,00 | 150,33 | 17029,26 | 204,38 | 181,11 |
| 2 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 4,06 | 2389,090 | | 84,95 | 153,00 | | 15601,66 | 183,66 | |
| 3 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 4,03 | 2372,021 | | 84,95 | 127,00 | | 12950,40 | 152,45 | |
| 4 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 4,05 | 2383,793 | | 84,95 | 130,00 | | 13256,31 | 156,05 | |
| 5 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 4,09 | 2409,691 | | 84,95 | 143,00 | | 14581,94 | 171,66 | |
| 6 | | | | 10,40 | 20,00 | 0,0017 | 4,07 | 2393,799 | | 84,95 | 182,00 | | 18558,84 | 218,47 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-------|-------|--------|------|----------|----------|-------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 20 | 8/5/2018 | 5/6/2018 | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,06 | 2486,146 | 2490,931 | 81,71 | 135,00 | 142,50 | 13766,17 | 168,47 | 176,68 |
| 2 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 4,10 | 2459,108 | | 83,32 | 118,00 | | 12032,65 | 144,41 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,14 | 2534,486 | | 81,71 | 164,00 | | 16723,35 | 204,66 | |
| 4 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,11 | 2516,741 | | 81,71 | 129,00 | | 13154,34 | 160,98 | |
| 5 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 4,08 | 2450,107 | | 83,32 | 167,00 | | 17029,26 | 204,38 | |
| 6 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,08 | 2498,996 | | 81,71 | 142,00 | | 14479,97 | 177,21 | |
| 1 | 30 | 14/5/2018 | 11/6/2018 | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 4,20 | 2673,166 | 2585,547 | 78,54 | 164,00 | 164,00 | 16723,35 | 212,93 | 206,60 |
| 2 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 4,18 | 2661,707 | | 78,54 | 146,00 | | 14887,86 | 189,56 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,20 | 2566,917 | | 81,71 | 162,00 | | 16519,40 | 202,16 | |
| 4 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 4,19 | 2511,315 | | 83,32 | 166,00 | | 16927,29 | 203,15 | |
| 5 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,15 | 2540,605 | | 81,71 | 165,00 | | 16825,32 | 205,91 | |
| 6 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 4,18 | 2559,574 | | 81,71 | 181,00 | | 18456,86 | 225,87 | |

Fuente: Egresado Darío Laica




Tabla N. 33. Resistencia a Compresión del Hormigón a los 60 días de edad





|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | |  | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---|-------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|--|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------|---|---------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1573 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA ELABORACIÓN | FECHA ENSAYO | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (m ³) | MASA DE HORMIGÓN (kg) | DENSIDAD (kg/m ³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | ÁREA (cm ²) | CARGA P MAX (KN) | CARGA P PROMEDIO (KN) | CARGA P (KG) | ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²) | f'c (kg/cm ²) |
| 1 | 0 | 27/4/2018 | 26/6/2018 | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 3,881 | 2328,892 | 2386,587 | 83,32 | 223 | 215,33 | 22739,67 | 272,91 | 271,29 |
| 2 | | | | 10,10 | 20,10 | 0,0016 | 3,883 | 2411,230 | | 80,12 | 214 | | 21821,93 | 272,37 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,871 | 2368,661 | | 81,71 | 212 | | 21617,98 | 264,56 | |
| 4 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,875 | 2371,109 | | 81,71 | 231 | | 23555,44 | 288,27 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,10 | 0,0016 | 3,853 | 2392,601 | | 80,12 | 207 | | 21108,13 | 263,46 | |
| 6 | | | | 10,00 | 20,10 | 0,0016 | 3,863 | 2447,027 | | 78,54 | 205 | | 20904,18 | 266,16 | |
| 1 | 10 | 2/5/2018 | 2/7/2018 | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,918 | 2397,420 | 2414,738 | 81,71 | 196,00 | 196,33 | 19986,44 | 244,59 | 247,48 |
| 2 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,909 | 2439,512 | | 80,12 | 180,00 | | 18354,89 | 229,10 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,920 | 2398,644 | | 81,71 | 187,00 | | 19068,69 | 233,36 | |
| 4 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,908 | 2391,301 | | 81,71 | 199,00 | | 20292,35 | 248,34 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,919 | 2445,753 | | 80,12 | 226,00 | | 23045,59 | 287,64 | |
| 6 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,871 | 2415,798 | | 80,12 | 190,00 | | 19374,61 | 241,82 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|----------|-------|-------|--------|-------|----------|----------|-------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 20 | 7/5/2018 | 6/7/2018 | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,050 | 2527,507 | 2537,184 | 80,12 | 145,00 | 164,33 | 14785,89 | 184,55 | 210,55 |
| 2 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,051 | 2528,131 | | 80,12 | 182,00 | | 18558,84 | 231,64 | |
| 3 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 4,070 | 2591,042 | | 78,54 | 164,00 | | 16723,35 | 212,93 | |
| 4 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,957 | 2469,468 | | 80,12 | 160,00 | | 16315,46 | 203,64 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,061 | 2534,372 | | 80,12 | 173,00 | | 17641,09 | 220,19 | |
| 6 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 4,041 | 2572,581 | | 78,54 | 162,00 | | 16519,40 | 210,33 | |
| 1 | 30 | 10/5/2018 | 9/7/2018 | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,209 | 2626,735 | 2627,402 | 80,12 | 215,00 | 218,83 | 21923,90 | 273,64 | 279,40 |
| 2 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,202 | 2622,367 | | 80,12 | 251,00 | | 25594,88 | 319,46 | |
| 3 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,183 | 2610,509 | | 80,12 | 214,00 | | 21821,93 | 272,37 | |
| 4 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,223 | 2635,472 | | 80,12 | 220,00 | | 22433,76 | 280,01 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,210 | 2627,359 | | 80,12 | 207,00 | | 21108,13 | 263,46 | |
| 6 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 4,150 | 2641,972 | | 78,54 | 206,00 | | 21006,15 | 267,46 | |

Fuente: Egresado Darío Laica




Tabla N° 34. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 0% de Escoria





| PROBETAS SIN REEMPLAZO DE ESCORIA (0%) | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------------|------------------|---------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|------------------------|--|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio | | | | MgSO ₄ | | | |
| Temperatura de la Solución | | | | 12°C 10:00 am | | 12°C 18:00 pm | | PH de la Solución | | 8 | |
| 1er CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 26/6/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 27/6/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 27/6/2018 18:00 |
| PROBETA N° | Diámetro(cm) | Altura (cm) | Masa Húmeda (kg) | Masa Seca (Kg) | Probetas después de la culminación del ciclo | | | | | | Registro de Datos |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 4,051 | 3,780 |  | | | | | | <p>En el inicio del primer ciclo no se observa la aparición de ninguna microfisura ni manchas en la superficie de los especímenes.</p> |
| 2 | 10,20 | 19,90 | 4,013 | 3,772 | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,00 | 4,010 | 3,768 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,957 | 3,728 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 19,90 | 4,015 | 3,789 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,966 | 3,745 | | | | | | | |
| 2do CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 28/6/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 29/6/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 29/6/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 3,937 | 3,816 |  | | | | | | <p>Existe un decremento en la masa húmeda y un incremento en la masa seca con respecto al ciclo anterior. Existe la aparición de pequeñas manchas negras y blancas en la parte inferior de los especímenes.</p> |
| 2 | 10,20 | 19,90 | 3,929 | 3,807 | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,00 | 3,917 | 3,805 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,863 | 3,756 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 19,90 | 3,918 | 3,818 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,896 | 3,779 | | | | | | | |
| 3er CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 2/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 3/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 3/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 3,925 | 3,835 |  | | | | | | <p>Existe un descenso en la masa húmeda y un ascenso en la masa seca con respecto al ciclo anterior. En este ciclo no aparece ninguna microfisura pero existe la aparición de manchas blanquecinas en la parte inferior de los especímenes</p> |
| 2 | 10,20 | 19,90 | 3,918 | 3,839 | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,00 | 3,906 | 3,826 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,843 | 3,77 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 19,90 | 3,894 | 3,823 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,884 | 3,804 | | | | | | | |

| 4to CICLO | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-----------------|-------|--|--|--|-----------------|--|------------------------|--|-----------------|
| Hora de Inmersión | | | 4/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 5/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 5/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 3,921 | 3,856 |  | | | | | | | |
| 2 | 10,20 | 19,90 | 3,905 | 3,843 | | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,00 | 3,900 | 3,829 | | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,837 | 3,779 | | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 19,90 | 3,883 | 3,831 | | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,877 | 3,811 | | | | | | | | |
| Hay decremento en la masa húmeda y un incremento en la masa seca con respecto al ciclo anterior. Aparición de pequeñas manchas blanquecinas en la superficie en la parte inferior de los especímenes. No existe ninguna aparición de microfisuras en la superficie. | | | | | | | | | | | | |
| 5to CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 6/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 7/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 7/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 3,903 | 3,833 |  | | | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,00 | 3,898 | 3,827 | | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,00 | 3,883 | 3,812 | | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,819 | 3,760 | | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 20,00 | 3,868 | 3,812 | | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 19,90 | 3,865 | 3,796 | | | | | | | | |
| Existe decremento de la masa húmeda y decremento de la masa seca con respecto al ciclo anterior. Aparición de las primeras microfisuras, ante la cámara no son observables debido a lo pequeñísimas que son, pero en el cilindro #5 y #6 hay un incremento en el diámetro y altura de 1mm. | | | | | | | | | | | | |
| 6to CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 9/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 10/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 10/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,10 | 20,20 | 3,883 | 3,828 |  | | | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 3,878 | 3,819 | | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,10 | 3,862 | 3,807 | | | | | | | | |
| 4 | 10,30 | 20,00 | 3,803 | 3,758 | | | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 3,852 | 3,803 | | | | | | | | |
| 6 | 10,20 | 19,90 | 3,847 | 3,788 | | | | | | | | |
| Decremento de la masa húmeda y seca con respecto al ciclo anterior y Aparición de pequeñísimas microfisuras que por medio de la cámara no son observables pero se puede notar un cambio en la pasta cementicia y un color blanquecino sobre la superficie de los especímenes. Existe un cambio en el volumen de algunos especímenes se puede observar en las dimensiones. | | | | | | | | | | | | |
| 7mo CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 11/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 12/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 12/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,10 | 20,20 | 3,875 | 3,809 |  | | | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 3,842 | 3,790 | | | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,10 | 3,853 | 3,804 | | | | | | | | |
| 4 | 10,30 | 20,00 | 3,797 | 3,751 | | | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 3,843 | 3,719 | | | | | | | | |
| 6 | 10,20 | 19,90 | 3,836 | 3,768 | | | | | | | | |
| Aparición de nuevas microfisuras, desprendimiento de la pasta cementicia en la parte superior de los cilindros. (El cilindro 6 tuvo una caída desde una altura de aproximadamente 40 cm, con un golpe no tan fuerte y llegando a partirse inmediatamente en la mitad). No existe cambios en las dimensiones de los especímenes. | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica




Tabla N° 35. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 10% de Escoria





| PROBETAS CON 10% DE ESCORIA | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|---------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|------------------------|---|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio | | | | MgSO ₄ | | | |
| Temperatura de la Solución | | | | 12°C 10:00 am | | 12°C 18:00 pm | | PH de la Solución | | | |
| 1er CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 2/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 3/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | |
| PROBETA N° | Diámetro(cm) | Altura (cm) | Masa Húmeda (kg) | Masa Seca (Kg) | Probetas después de la culminación del ciclo | | | | | | Registro de Datos |
| 1 | 10,00 | 19,90 | 3,801 | 3,726 |  | | | | | | En el inicio del ciclo no se observa ninguna clase de Fisuramiento ni manchas sobre la superficie de los especímenes. |
| 2 | 9,90 | 20,00 | 3,801 | 3,725 | | | | | | | |
| 3 | 10,00 | 19,90 | 3,762 | 3,692 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,776 | 3,696 | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 19,90 | 3,814 | 3,741 | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 19,90 | 3,790 | 3,706 | | | | | | | |
| 2do CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 4/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 5/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | |
| 1 | 10,00 | 19,90 | 3,782 | 3,730 |  | | | | | | Para el 2do ciclo existe un descenso en la masa húmeda pero un incremento en la masa seca. Existe la aparición de pequenísimas manchas en la parte inferior del espécimen #3 e incremento de manchas oscuras en el espécimen #2 |
| 2 | 9,90 | 20,00 | 3,784 | 3,733 | | | | | | | |
| 3 | 10,00 | 19,90 | 3,745 | 3,698 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,754 | 3,704 | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 19,90 | 3,797 | 3,748 | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 19,90 | 3,773 | 3,714 | | | | | | | |
| 3er CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 6/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 7/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | |
| 1 | 10,00 | 19,90 | 3,776 | 3,739 |  | | | | | | En este ciclo la masa húmeda decrece y la masa seca aumenta, las dimensiones se mantienen estables no hay variación con respecto al primer y segundo ciclo. |
| 2 | 9,90 | 20,00 | 3,777 | 3,739 | | | | | | | |
| 3 | 10,00 | 19,90 | 3,74 | 3,703 | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,749 | 3,709 | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 19,90 | 3,791 | 3,754 | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 19,90 | 3,764 | 3,719 | | | | | | | |

| 4to CICLO | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-----------------|--|-------------------------|--|--|-----------------|--|------------------------|--|
| Hora de Inmersión | | | | 9/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 10/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 10/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 19,90 | 3,767 | 3,729 |  | | | | | | | En este ciclo la masa húmeda decrece y la masa seca también decrece con respecto al ciclo anterior. Además observando los cilindros existe la aparición de unas diminutas microfisuras, en los especímenes se puede observar la aparición de unas manchas blanquecinas en la parte inferior. |
| 2 | 9,90 | 20,00 | 3,761 | 3,729 | | | | | | | | |
| 3 | 10,00 | 19,90 | 3,732 | 3,696 | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,737 | 3,700 | | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 19,90 | 3,783 | 3,749 | | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 19,90 | 3,758 | 3,705 | | | | | | | | |
| 5to CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 11/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 12/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 12/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,00 | 3,768 | 3,731 |  | | | | | | | La masa húmeda y seca presentan un ascenso con respecto a los ciclos anteriores. Para este ciclo existe un incremento en algunas de las dimensiones de los especímenes además de la aparición de nuevas microfisuras. |
| 2 | 10,00 | 20,00 | 3,768 | 3,730 | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 19,90 | 3,733 | 3,700 | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,754 | 3,709 | | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 20,00 | 3,797 | 3,753 | | | | | | | | |
| 6 | 10,20 | 19,90 | 3,769 | 3,723 | | | | | | | | |
| 6to CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 13/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 14/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 14/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,00 | 3,776 | 3,732 |  | | | | | | | En este ciclo no existe variación en las dimensiones de los especímenes, pero un incremento tanto para la masa húmeda como seca, además de notarse desintegración de la pasta cementicia en ciertas partes de los especímenes. |
| 2 | 10,00 | 20,00 | 3,777 | 3,736 | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 19,90 | 3,740 | 3,699 | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,760 | 3,715 | | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 20,00 | 3,803 | 3,755 | | | | | | | | |
| 6 | 10,20 | 19,90 | 3,775 | 3,721 | | | | | | | | |
| 7mo CICLO | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 16/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 17/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 17/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,00 | 3,737 | 3,726 |  | | | | | | | Para este ciclo existe un incremento de microfisuras saliendo de los poros que existe en los especímenes además de existir desintegración de la pasta de cemento, no hay variación en las dimensiones para este ciclo. |
| 2 | 10,00 | 20,00 | 3,741 | 3,726 | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 19,90 | 3,728 | 3,688 | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 3,735 | 3,689 | | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 20,00 | 3,775 | 3,733 | | | | | | | | |
| 6 | 10,20 | 19,90 | 3,750 | 3,699 | | | | | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica




Tabla N° 36. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 20% de Escoria





| PROBETAS CON 20% DE ESCORIA | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|---------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|------------------------|--|-----------------|--|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio | | | | MgSO ₄ | | | | | |
| Temperatura de la Solución | | | | 12°C 10:00 am | | 12°C 18:00 pm | | PH de la Solución | | | | | |
| 1er CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 6/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 7/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 7/7/2018 18:00 | |
| PROBETA N° | Diámetro(cm) | Altura (cm) | Masa Húmeda (kg) | Masa Seca (Kg) | Probetas después de la culminación del ciclo | | | | | | Registro de Datos | | |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 4,101 | 4,069 |  | | | | | | <p>En el inicio del ciclo no se observa ninguna clase de Fisuramiento ni manchas sobre la superficie de los especímenes.</p> | | |
| 2 | 10,10 | 20,00 | 4,133 | 4,105 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,129 | 4,117 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,10 | 19,90 | 4,061 | 4,047 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,055 | 4,013 | | | | | | | | | |
| 6 | 9,90 | 19,90 | 4,101 | 4,071 | | | | | | | | | |
| 2do CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 9/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 10/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 10/7/2018 18:00 | |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 4,089 | 4,009 |  | | | | | | <p>Al finalizar este ciclo se puede notar através de las fotografías que aparece muy tempranamente manchas blancas sobre los especímenes #2, #3,#4 y #5, pero no hay variación en las dimensiones de las muestras. También se nota un decremento en la masa seca y húmeda</p> | | |
| 2 | 10,10 | 20,00 | 4,127 | 3,979 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,121 | 4,024 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,10 | 19,90 | 4,057 | 4,005 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,043 | 4,001 | | | | | | | | | |
| 6 | 9,90 | 19,90 | 4,095 | 4,051 | | | | | | | | | |
| 3er CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 11/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 12/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 12/7/2018 18:00 | |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 4,078 | 4,01 |  | | | | | | <p>Al final de este ciclo no presenta variación en las dimensiones de las muestras, pero sí un descenso en la masa seca y húmeda de los especímenes. Además de seguir apareciendo manchas blancas en la parte inferior de las muestras. No existe la aparición de ninguna microfisura.</p> | | |
| 2 | 10,10 | 20,00 | 4,051 | 3,972 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,092 | 4,001 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,10 | 19,90 | 4,052 | 3,94 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,098 | 4,005 | | | | | | | | | |
| 6 | 9,90 | 19,90 | 4,057 | 3,957 | | | | | | | | | |

| 4to CICLO | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-----------------|-------|--|---|--|-----------------|--|------------------------|-----------------|
| Hora de Inmersión | | | 13/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 14/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 14/7/2018 18:00 |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 4,079 | 3,982 |  | <p>Para este ciclo algunas dimensiones tienen a incrementar en su diámetro y altura, además de seguir decreciendo en su masa tanto seca como húmeda. También para este ciclo se nota la presencia de diminutas microfisuras en algunas partes de los especímenes, además sigue apareciendo manchas blanquecinas en la superficie de las muestras.</p> | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,00 | 4,047 | 3,976 | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,10 | 4,08 | 3,998 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 4,005 | 3,932 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,069 | 3,982 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 4,009 | 3,934 | | | | | | | |
| 5to CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 16/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 17/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 17/7/2018 18:00 |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 4,012 | 3,955 |  | <p>No existe variación en las dimensiones de las muestras para este ciclo, la masa seca y húmeda siguen en su curso de decrecimiento. Existe la aparición de nuevas microfisuras y desaparición de las manchas blancas de algunas muestras, además de existir desintegración de la pasta cementicia en algunas zonas de las muestras.</p> | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,00 | 4,004 | 3,960 | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,10 | 4,037 | 3,980 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 19,90 | 3,962 | 3,903 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,029 | 3,966 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,954 | 3,903 | | | | | | | |
| 6to CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 18/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 19/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 19/7/2018 18:00 |
| 1 | 9,90 | 20,20 | 3,993 | 3,925 |  | <p>Para el final de este ciclo se puede decir que algunas muestras varían en su altura más no en el diámetro. Además de seguir decreciendo la masa húmeda y seca. Existe pequeños desprendimientos en la parte superior e inferior de las muestras debido a la desintegración de la pasta de cemento. También se puede decir que las manchas blancas desaparecieron pero aparecen microfisuras saliendo de los poros de las muestras.</p> | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 3,985 | 3,912 | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,10 | 4,023 | 3,942 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 20,00 | 3,952 | 3,814 | | | | | | | |
| 5 | 10,00 | 20,00 | 4,011 | 3,872 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 19,90 | 3,941 | 3,840 | | | | | | | |
| 7mo CICLO | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 20/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | | 21/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 21/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,00 | 20,20 | 3,981 | 3,910 |  | <p>Existe un leve incremento en las dimensiones de las muestras tanto en su diámetro como altura, además de seguir decreciendo en su masa seca y húmeda. Se puede notar que sigue desintegrándose la pasta de cemento en los especímenes y apareciendo más microfisuras en la superficie de los especímenes saliendo de los poros de las mismas.</p> | | | | | |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 3,977 | 3,891 | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,10 | 4,008 | 3,921 | | | | | | | |
| 4 | 10,20 | 20,00 | 3,931 | 3,801 | | | | | | | |
| 5 | 10,10 | 20,00 | 3,996 | 3,857 | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 20,00 | 3,921 | 3,824 | | | | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica



Tabla N° 37. Hormigón sometido al ataque de sulfatos con 30% de Escoria

| PROBETAS CON 30% DE ESCORIA | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|---------------------|--|-------------------------|--|-------------------|--|------------------------|---|-----------------|--|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio | | | | MgSO ₄ | | | | | |
| Temperatura de la Solución | | | | 12°C 10:00 am | | 13°C 18:00 pm | | PH de la Solución | | | | | |
| 1er CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 9/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 10/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 10/7/2018 18:00 | |
| PROBETA N° | Diámetro(cm) | Altura (cm) | Masa Húmeda (kg) | Masa Seca (Kg) | Probetas después de la culminación del ciclo | | | | | | Registro de Datos | | |
| 1 | 10,10 | 20,00 | 4,257 | 4,087 |  | | | | | | Para el final de este ciclo no existe ningún cambio en las dimensiones de las muestras, ni la aparición de microfisuras en la superficie de los especímenes. | | |
| 2 | 10,10 | 20,00 | 4,238 | 4,098 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,241 | 4,071 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 4,230 | 4,095 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,245 | 4,110 | | | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 20,00 | 4,238 | 4,124 | | | | | | | | | |
| 2do CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 11/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 12/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 12/7/2018 18:00 | |
| 1 | 10,10 | 20,00 | 4,183 | 4,095 |  | | | | | | al finalizar este ciclo aparecieron diminutas manchas blanquecinas en las muestras #1, #2, #4, #5. Además se nota un descenso en la masa Húmeda y un incremento para la masa seca. No existe cambio en las dimensiones de los especímenes. | | |
| 2 | 10,10 | 20,00 | 4,190 | 4,105 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,172 | 4,080 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 4,236 | 4,112 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,234 | 4,116 | | | | | | | | | |
| 6 | 10,00 | 20,00 | 4,252 | 4,141 | | | | | | | | | |
| 3er CICLO | | | | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | | 13/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 14/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | | 14/7/2018 18:00 | |
| 1 | 10,20 | 20,00 | 4,170 | 4,106 |  | | | | | | Par este ciclo se puede decir que inicia a desintegrarse en diminuta cantidad la pasta de cemento en algunas zonas de los cilindros. También se incrementó las dimensiones de los cilindros #1, #2, #6. Además de seguir apareciendo manchas blancas en los especímenes. En relación a la masa húmeda disminuye pero la masa seca aumenta con respecto al ciclo anterior. | | |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 4,176 | 4,085 | | | | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,158 | 4,089 | | | | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 4,198 | 4,122 | | | | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,191 | 4,109 | | | | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 20,10 | 4,217 | 4,127 | | | | | | | | | |

| 4to CICLO | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-----------------|-------|--|--|-----------------|--|------------------------|---|
| Hora de Inmersión | | | 15/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 16/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 16/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,20 | 20,00 | 4,144 | 4,074 |  | | | | | al finalizar este ciclo las dimensiones no cambian, pero la masa húmeda sigue disminuyendo, aquí hay un cambio en la masa seca ya que disminuye con respecto al ciclo anterior, existe la aparición de nuevas manchas blancas las mismas que a su vez inician con la desintegración de la pasta de cemento. |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 4,096 | 4,065 | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,125 | 4,082 | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 4,153 | 4,083 | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,138 | 4,084 | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 20,10 | 4,172 | 4,114 | | | | | | |
| 5to CICLO | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 17/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 18/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 18/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,20 | 20,00 | 4,121 | 4,042 |  | | | | | Las dimensiones de los especímenes no varían al finalizar este ciclo. La masa húmeda sigue decreciendo y la masa seca también decrece. Además de seguir prolongándose las manchas blancas alrededor de los especímenes y apareciendo diminutas microfisuras en algunas zonas de las muestras. La pasta de cemento sigue desintegrándose cayendo en polvo de algunas partes de los especímenes. |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 4,084 | 4,018 | | | | | | |
| 3 | 10,10 | 20,00 | 4,102 | 4,050 | | | | | | |
| 4 | 10,00 | 20,00 | 4,138 | 4,050 | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,122 | 4,063 | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 20,10 | 4,158 | 4,078 | | | | | | |
| 6to CICLO | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 19/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 20/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 20/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,20 | 20,10 | 4,105 | 4,032 |  | | | | | Para este ciclo hay un incremento en las dimensiones de los especímenes #3, #4. La masa seca y húmeda siguen decreciendo con respecto al ciclo anterior, se puede notar que las manchas desaparecen pero sigue existiendo desintegración de la pasta de cemento. Existe la aparición de pequeñas microfisuras saliendo de los poros que hay en los especímenes. |
| 2 | 10,20 | 20,10 | 4,051 | 4,004 | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,10 | 4,095 | 4,033 | | | | | | |
| 4 | 10,10 | 20,00 | 4,118 | 4,029 | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,00 | 4,107 | 4,041 | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 20,10 | 4,141 | 4,057 | | | | | | |
| 7mo CICLO | | | | | | | | | | |
| Hora de Inmersión | | | 21/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Horno | | 22/7/2018 10:00 | | Hora de Secado al Aire | 22/7/2018 18:00 |
| 1 | 10,30 | 20,10 | 4,093 | 4,021 |  | | | | | Al finalizar este último ciclo hay una variación en las dimensiones de los especímenes #1, #2, #5. La masa seca y húmeda siguen decreciendo a, además de aumentar de tamaño los poros al finalizar este ciclo debido a la desintegración que hay en la pasta de cemento. También se pudo notar que aumentó el número de microfisuras en la superficie de las muestras. (La muestra #1 sufrió una caída por lo cual le llevo a una rotura en sentido horizontal de inmediato). |
| 2 | 10,20 | 20,20 | 4,039 | 3,987 | | | | | | |
| 3 | 10,20 | 20,10 | 4,073 | 4,011 | | | | | | |
| 4 | 10,10 | 20,00 | 4,098 | 4,007 | | | | | | |
| 5 | 10,20 | 20,10 | 4,091 | 4,023 | | | | | | |
| 6 | 10,10 | 20,10 | 4,129 | 4,039 | | | | | | |

Fuente: Egresado Darío Laica

Tabla N° 38. Resistencia a Compresión del Hormigón sometido al Ataque de Sulfatos

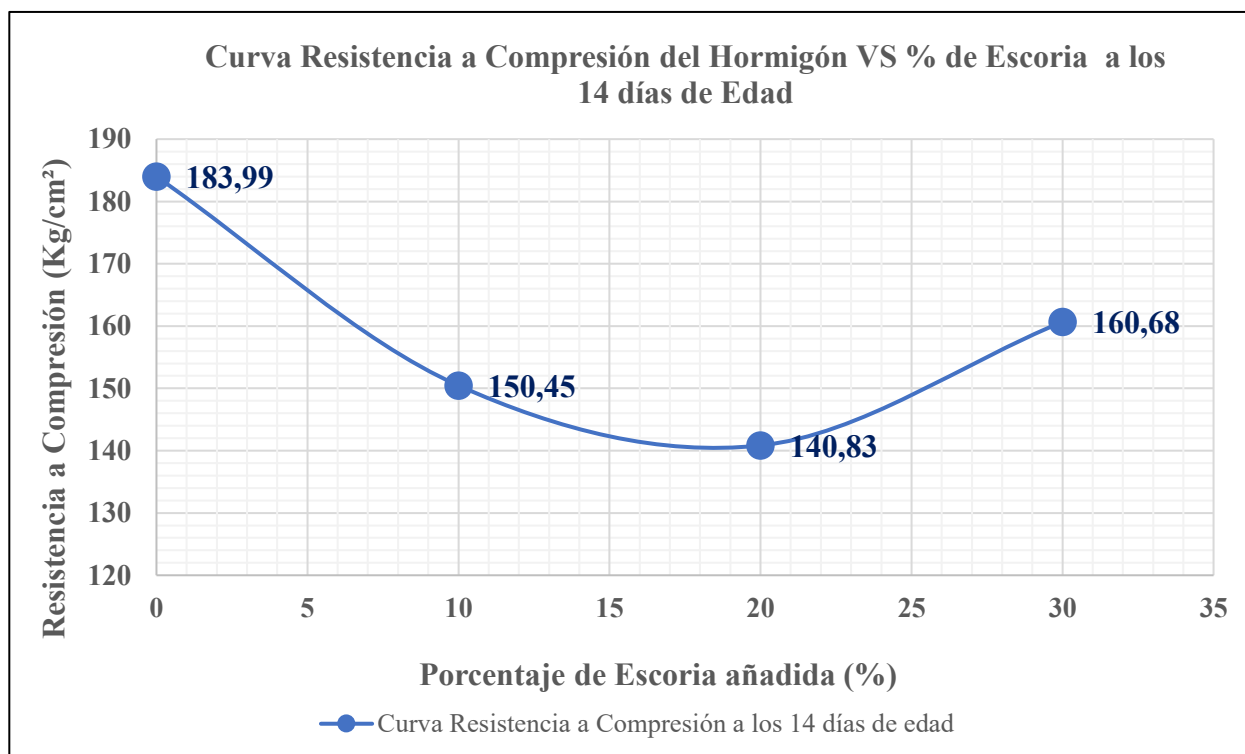
|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | |  | | | | | | |
|---|--------------|---|-------------------|---------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|-------------------------|--------------|---------------------|--------------|---|---------------------------|
| ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL REEMPLAZAR PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR ESCORIA SIDÚRGICA DE HORNO ELÉCTRICO | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FINALIZADO LOS CICLOS DE INMERSIÓN, SECADO Y ENFRIAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Egresado Darío Laica | | | | | | | | | | | | | | | |
| NORMA: NTE INEN 1573 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ESCORIA | FECHA INICIAL CICLO | FECHA FINAL CICLO | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (m ³) | MASA SECADE HORMIGÓN (kg) | DENSIDAD (kg/m ³) | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | ÁREA (cm ²) | CARGA P (KN) | CARGA P MÁXIMA (KN) | CARGA P (KG) | ESFUERZO COMPRESIÓN (kg/cm ²) | f'c (kg/cm ²) |
| 1 | 0 | 26/6/2018 | 12/7/2018 | 10,10 | 20,20 | 0,0016 | 3,809 | 2353,569 | 2303,495 | 80,12 | 184 | 207,50 | 18762,78 | 234,19 | 258,85 |
| 2 | | | | 10,20 | 20,10 | 0,0016 | 3,790 | 2307,560 | | 81,71 | 223 | | 22739,67 | 278,29 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,10 | 0,0016 | 3,804 | 2316,084 | | 81,71 | 214 | | 21821,93 | 267,06 | |
| 4 | | | | 10,30 | 20,00 | 0,0017 | 3,751 | 2250,882 | | 83,32 | 212 | | 21617,98 | 259,45 | |
| 5 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,719 | 2275,653 | | 81,71 | 207 | | 21108,13 | 258,32 | |
| 6 | | | | 10,20 | 19,90 | 0,0016 | 3,768 | 2317,222 | | 81,71 | 205 | | 20904,18 | 255,82 | |
| 1 | 10 | 2/7/2018 | 18/7/2018 | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 3,726 | 2372,045 | 2335,034 | 78,54 | 209 | 174,17 | 21312,07 | 271,35 | 223,27 |
| 2 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 3,726 | 2372,045 | | 78,54 | 224 | | 22841,64 | 290,83 | |
| 3 | | | | 10,10 | 19,90 | 0,0016 | 3,688 | 2313,158 | | 80,12 | 100 | | 10197,16 | 127,28 | |
| 4 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 3,689 | 2348,490 | | 78,54 | 116 | | 11828,71 | 150,61 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,733 | 2329,675 | | 80,12 | 217 | | 22127,84 | 276,19 | |
| 6 | | | | 10,20 | 19,90 | 0,0016 | 3,699 | 2274,789 | | 81,71 | 179 | | 18252,92 | 223,38 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----------|-----------|-------|-------|--------|-------|----------|----------|-------|-----|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 20 | 6/5/2018 | 21/7/2018 | 10,00 | 20,20 | 0,0016 | 3,910 | 2464,538 | 2405,957 | 78,54 | 155 | 162,50 | 15805,60 | 201,24 | 207,01 |
| 2 | | | | 10,20 | 20,10 | 0,0016 | 3,891 | 2369,054 | | 81,71 | 169 | | 17233,20 | 210,90 | |
| 3 | | | | 10,10 | 20,10 | 0,0016 | 3,921 | 2434,827 | | 80,12 | 160 | | 16315,46 | 203,64 | |
| 4 | | | | 10,20 | 20,00 | 0,0016 | 3,801 | 2325,828 | | 81,71 | 143 | | 14581,94 | 178,45 | |
| 5 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 3,857 | 2407,061 | | 80,12 | 157 | | 16009,54 | 199,82 | |
| 6 | | | | 10,00 | 20,00 | 0,0016 | 3,824 | 2434,434 | | 78,54 | 191 | | 19476,58 | 247,98 | |
| 1 | 30 | 9/5/2018 | 23/7/2018 | 10,30 | 20,10 | 0,0017 | 4,021 | 2400,898 | 2452,783 | 83,32 | 216 | 191,83 | 22025,87 | 264,34 | 240,09 |
| 2 | | | | 10,20 | 20,20 | 0,0017 | 3,987 | 2415,487 | | 81,71 | 174 | | 17743,06 | 217,14 | |
| 3 | | | | 10,20 | 20,10 | 0,0016 | 4,011 | 2442,117 | | 81,71 | 197 | | 20088,41 | 245,84 | |
| 4 | | | | 10,10 | 20,00 | 0,0016 | 4,007 | 2500,672 | | 80,12 | 188 | | 19170,66 | 239,28 | |
| 5 | | | | 10,20 | 20,10 | 0,0016 | 4,023 | 2449,423 | | 81,71 | 186 | | 18966,72 | 232,11 | |
| 6 | | | | 10,10 | 20,10 | 0,0016 | 4,039 | 2508,102 | | 80,12 | 190 | | 19374,61 | 241,82 | |

Fuente: Egresado Darío Laica

Gráfico N° 20. Curva Resistencia a Compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 14 días de edad.

Para las Tablas N° 39, N° 40, N° 41 y N° 42, el Nombre representa al promedio de resultados obtenidos del grupo de probetas elaboradas (6), de acuerdo con el porcentaje de adición de escoria.



Fuente: Egresado Darío Laica

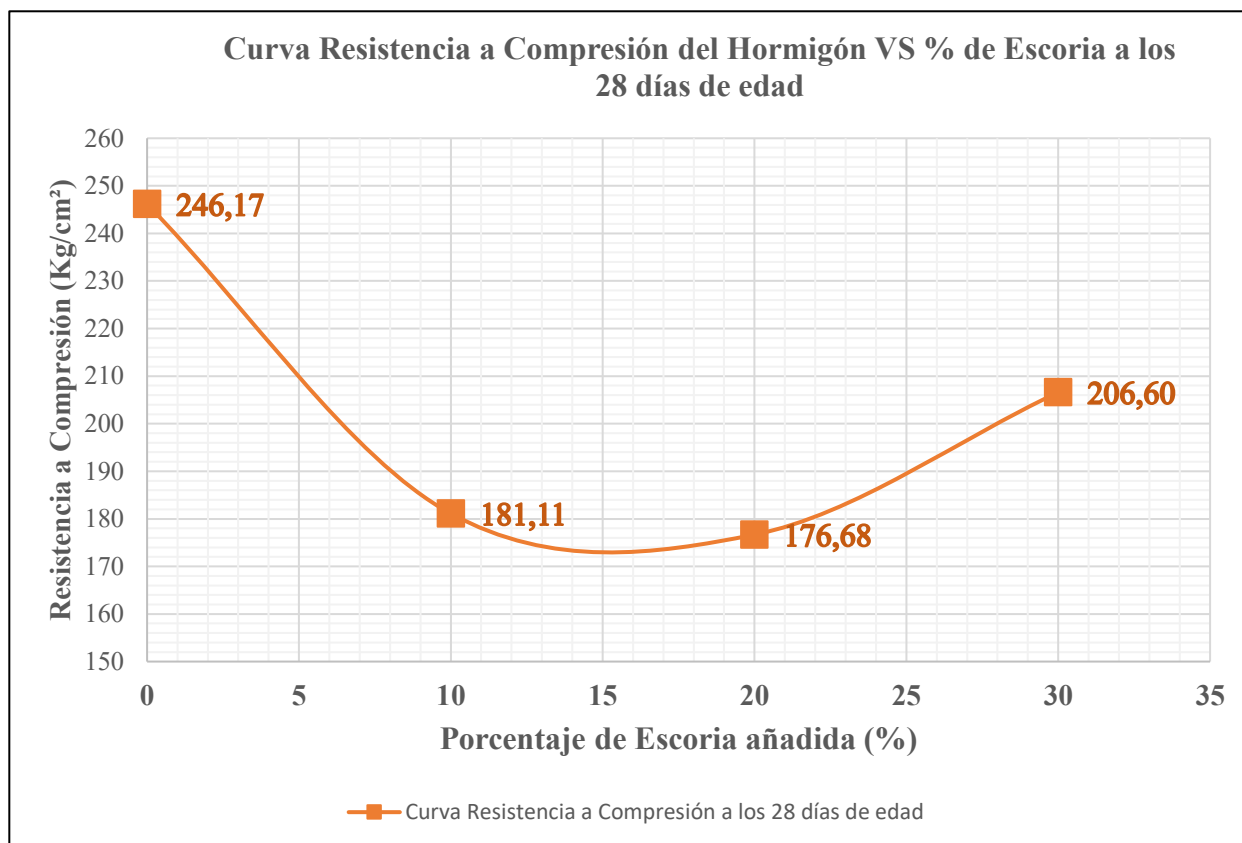
Tabla N° 39. Resumen del Hormigón en Estado Endurecido a los 14 Días de Edad

| NOMBRE | ADICIÓN ESCORIA % | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | Carga Máxima Promedio (KN) | F'c promedio (kg/cm ²) | Decremento % |
|--------|-------------------|--|----------------------------|------------------------------------|--------------|
| 1-14 | 0 | 2351,520 | 152,17 | 183,99 | - |
| 2-14 | 10 | 2352,540 | 125,33 | 150,45 | 22,29 |
| 3-14 | 20 | 2456,647 | 115,67 | 140,83 | 30,65 |
| 4-14 | 30 | 2468,422 | 133,33 | 160,68 | 14,51 |

Interpretación:

Mostrado los datos obtenidos de los especímenes ensayados a los 14 días de edad se puede decir que la resistencia máxima se da para el hormigón simple sin reemplazo de escoria por arena con un valor de 183.99 kg/cm², al reemplazar un 10% de escoria por arena tenemos un decremento de resistencia a compresión con un valor de 150.45 kg/cm² correspondiente al 22.29%, para un 20% sigue disminuyendo la resistencia a compresión con un valor de 140.83 kg/cm² llegando a decrecer un 30.65% de su resistencia patrón y para un 30% de reemplazo tenemos un decremento menor del 14.51% en su resistencia con un valor de 160.68 kg/cm².

Gráfico N° 21. Curva Resistencia a la compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 28 días de edad.



Fuente: Egresado Darío Laica

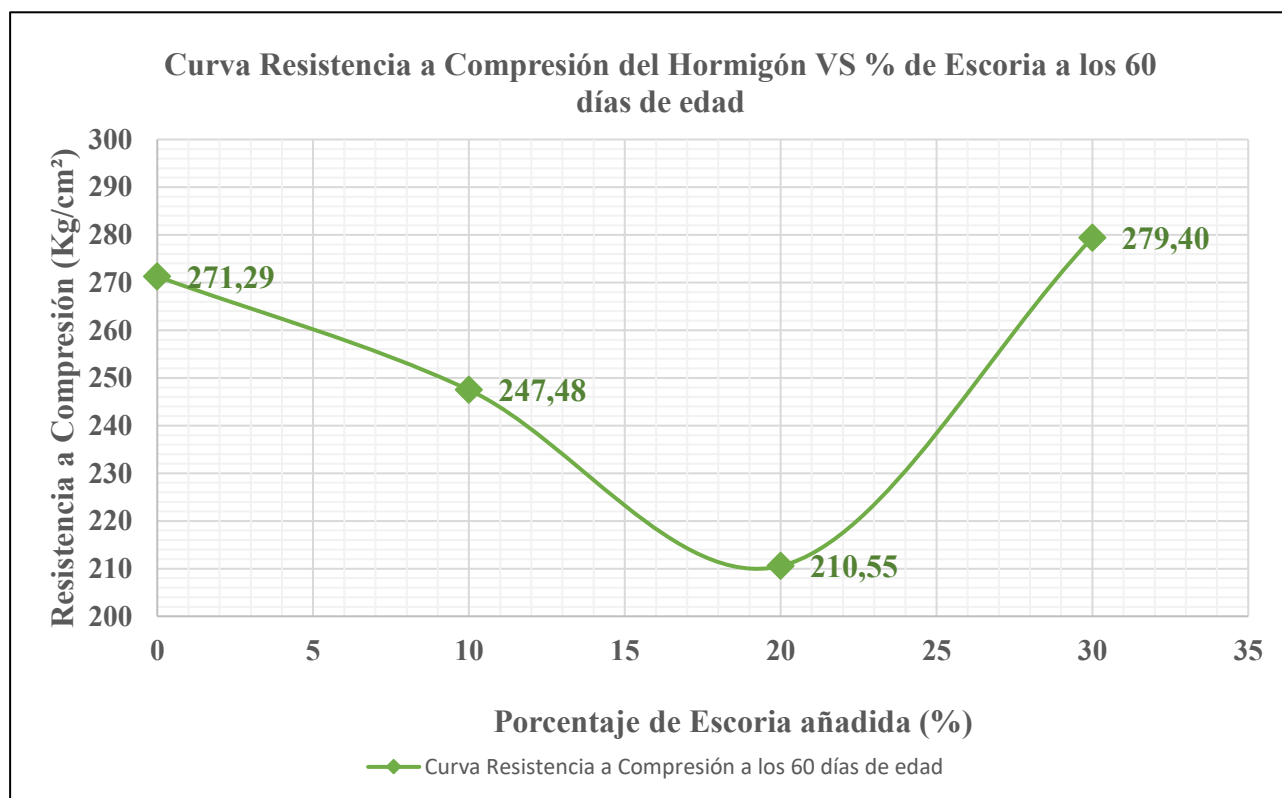
Tabla N° 40. Resumen del Hormigón Endurecido a los 28 Días de Edad

| NOMBRE | ADICIÓN ESCORIA % | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m³) | Carga Máxima Promedio (KN) | F'c promedio (kg/cm²) | Decremento % |
|--------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|
| 1-28 | 0 | 2364,565 | 195,50 | 246,17 | - |
| 2-28 | 10 | 2395,549 | 150,33 | 181,11 | 35,92 |
| 3-28 | 20 | 2490,930 | 142,50 | 176,68 | 39,33 |
| 4-28 | 30 | 2585,547 | 164,00 | 206,60 | 19,15 |

Interpretación:

Mostrado los datos obtenidos de los especímenes ensayados a los 28 días de edad se puede decir que la resistencia máxima se da para el hormigón simple sin reemplazo de escoria por arena con un valor de 246.17 kg/cm², al reemplazar un 10% de escoria por arena tenemos un decremento de resistencia a compresión con un valor de 181.11 kg/cm² correspondiente al 35.92%, para un 20% sigue disminuyendo la resistencia a compresión con un valor de 176.68 kg/cm² llegando a decrecer un 39.33% de su resistencia patrón y para un 30% de reemplazo tenemos un decremento menor del 19.15% en su resistencia con un valor de 206.60 kg/cm².

Gráfico N° 22. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 60 días de edad.



Fuente: Egresado Darío Laica

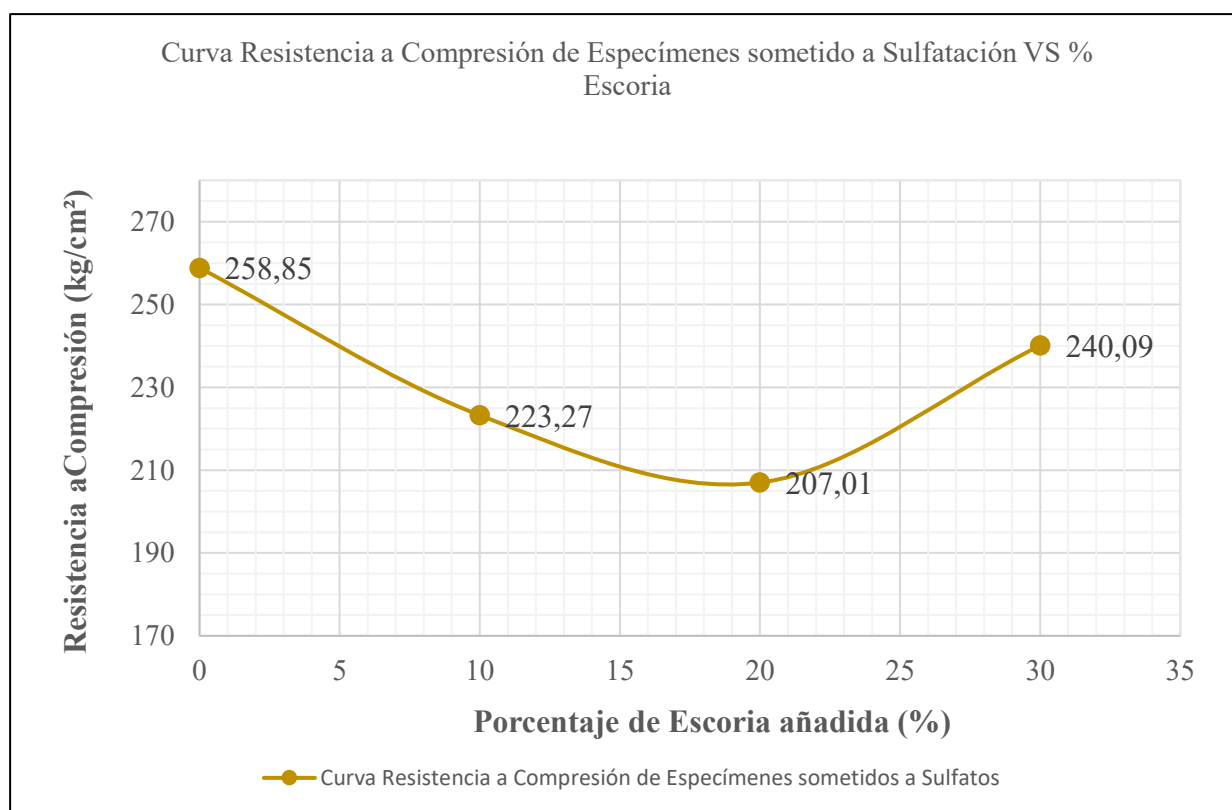
Tabla N° 41. Resumen del Hormigón Endurecido a los 60 Días de Edad

| NOMBRE | ADICIÓN ESCORIA % | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | Carga Máxima Promedio (KN) | F'c promedio (kg/cm ²) | Decremento % |
|--------|-------------------|--|----------------------------|------------------------------------|--------------|
| 1-60 | 0 | 2386,587 | 215,33 | 271,29 | - |
| 2-60 | 10 | 2414,738 | 196,33 | 247,48 | 9,62 |
| 3-60 | 20 | 2537,184 | 164,33 | 210,55 | 28,85 |
| 4-60 | 30 | 2627,402 | 218,83 | 279,40 | + 2,99 |

Interpretación:

Mostrado los datos obtenidos de los especímenes ensayados a los 60 días de edad se puede decir que para el hormigón simple sin reemplazo de escoria por arena se da un valor de 271.29 kg/cm² a los 60 días de edad, al reemplazar un 10% de escoria por arena tenemos un decremento de resistencia a compresión con un valor de 247.48 kg/cm² correspondiente al 9.62%, para un 20% sigue disminuyendo la resistencia a compresión con un valor de 210.55 kg/cm² llegando a decrecer un 28.85% de su resistencia patrón y para un 30% de reemplazo tenemos un incremento de resistencia a compresión del 2.99% llegando a un valor de 279.40 kg/cm².

Gráfico N° 23. Curva Resistencia a compresión de Especímenes sometidos a Sulfatos vs % de Escoria.



Fuente: Egresado Darío Laica

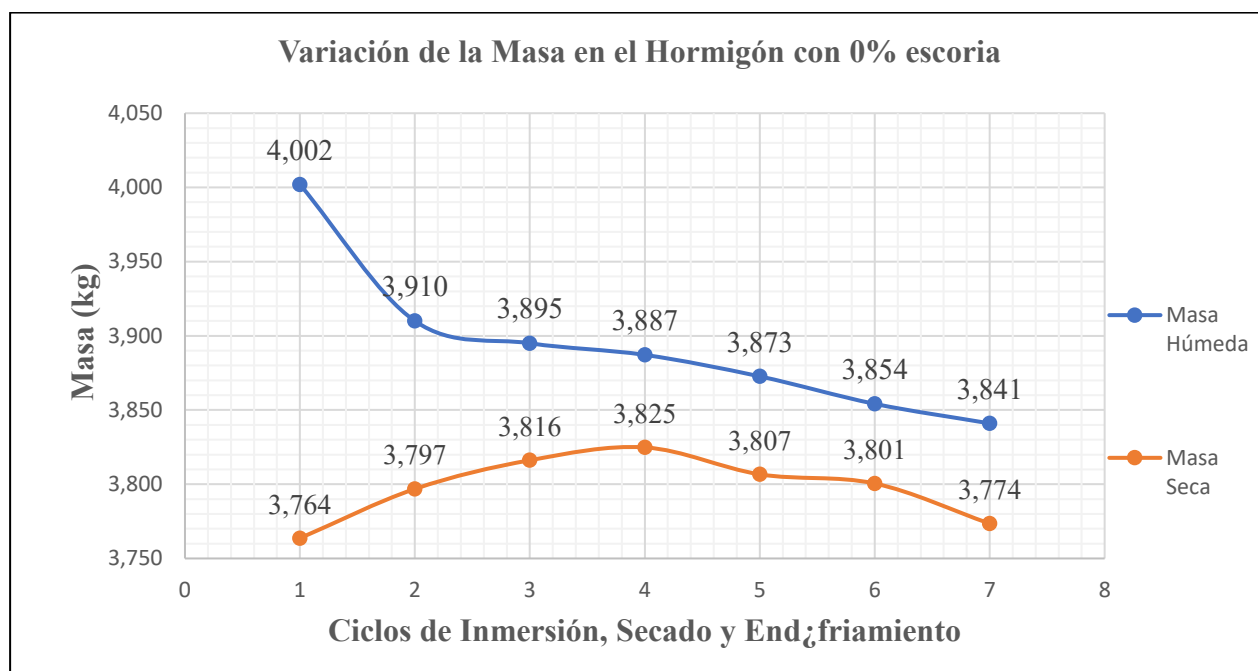
Tabla N° 42. Resumen del Hormigón Sometido a Sulfatación

| NOMBRE | ADICIÓN ESCORIA % | DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³) | Carga Máxima Promedio (KN) | F'c promedio (kg/cm ²) | Decremento % |
|--------|-------------------|--|----------------------------|------------------------------------|--------------|
| S1-60 | 0 | 2303,495 | 207,50 | 258,85 | - |
| S2-60 | 10 | 2335,034 | 174,17 | 223,27 | 15,94 |
| S3-60 | 20 | 2405,957 | 162,50 | 207,01 | 25,04 |
| S4-60 | 30 | 2452,782 | 191,83 | 240,09 | 7,81 |

Interpretación:

Mostrado los datos obtenidos de los especímenes ensayados a compresión después de haber sido sometido a sulfatación se puede decir que para el hormigón simple sin reemplazo de escoria por arena se da un valor de 258.85 kg/cm², para un 10% de escoria por arena tenemos un decremento de resistencia a compresión con un valor de 223.27 kg/cm² correspondiente al 15.94%, para un 20% existe una disminución en la resistencia a compresión con un valor de 207.01 kg/cm² llegando a decrecer un 25.04% de su resistencia patrón y para un 30% de reemplazo tenemos un descenso de resistencia a compresión del 7.81% llegando a un valor de 240.09 kg/cm².

Gráfico N° 24. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 0% de escoria sometido al ataque de sulfatos.



Fuente: Egresado Darío Laica

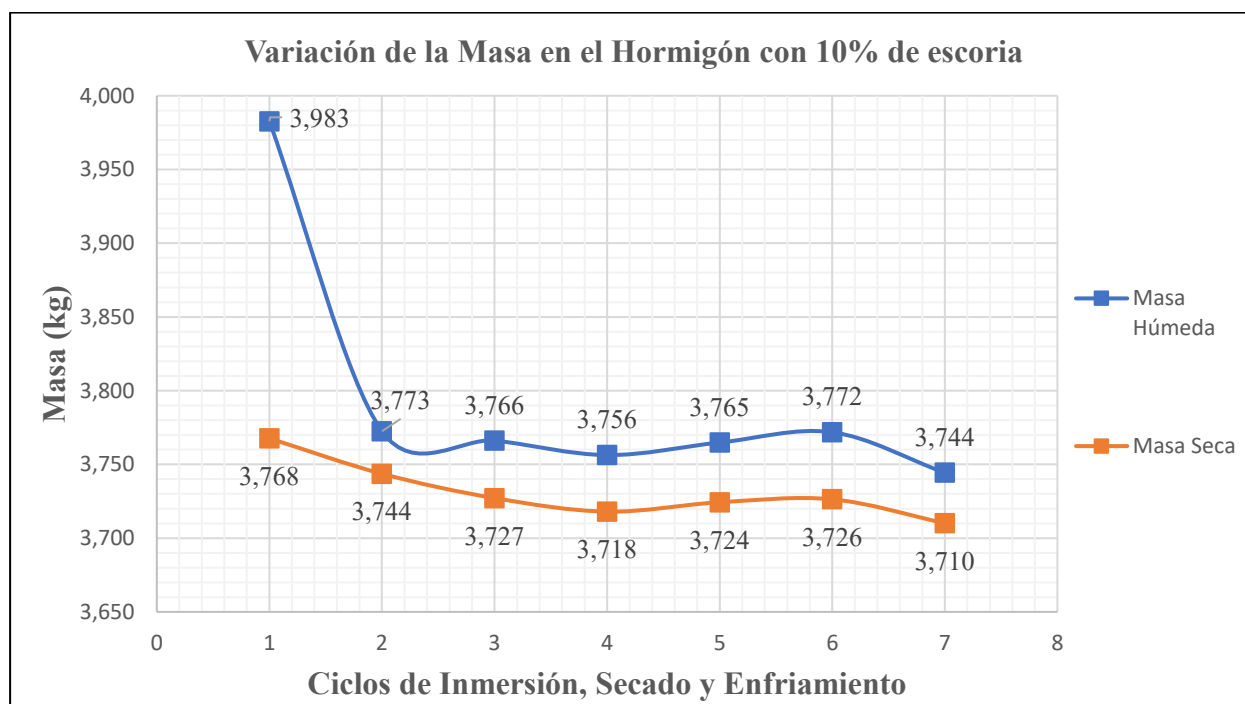
Tabla N° 43. Resumen del Hormigón con 0% a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación

| PROBETAS SIN REEMPLAZO DE ESCORIA (0%) | | | | | |
|--|------------------|----|--|-------------------------|------------------------------------|
| Solución Acuosa | | | Sulfato de Magnesio (MgSO ₄) | | |
| CICLOS | TEMPERATURA (°C) | PH | PROMEDIO MASA HÚMEDA (kg) | PROMEDIO MASA SECA (kg) | PROMEDIO VOLUMEN (m ³) |
| 1ER | 12 | 8 | 4,002 | 3,764 | 0,00160 |
| 2DO | 12 | 8 | 3,910 | 3,797 | 0,00160 |
| 3ER | 12 | 8 | 3,895 | 3,816 | 0,00160 |
| 4TO | 12 | 8 | 3,887 | 3,825 | 0,00160 |
| 5TO | 12 | 8 | 3,873 | 3,807 | 0,00161 |
| 6TO | 12 | 8 | 3,854 | 3,801 | 0,00164 |
| 7MO | 12 | 8 | 3,841 | 3,774 | 0,00164 |

Interpretación:

Mostrados los datos obtenidos del ensayo de sulfatación a muestras con 60 días de edad y 0% de reemplazo se puede decir que la temperatura se mantuvo constante y el PH nos indica que trata de una solución alcalina (básica) encontrándose dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C1012. También existe un cambio de variación tanto en la masa húmeda como masa seca, Por cada ciclo realizado se nota un descenso directo en la masa húmeda, mientras que en la masa seca se puede observar en la gráfica N° 23 como va incrementando la masa hasta el ciclo # 4, posteriormente a este ciclo empieza a decrecer su masa. Además se puede notar un incremento en el volumen del 2.50% con respecto al inicio del ciclo cuando ha terminado el séptimo ciclo.

Gráfico N° 25. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 10% de escoria sometido al ataque de sulfatos.



Fuente: Egresado Darío Laica

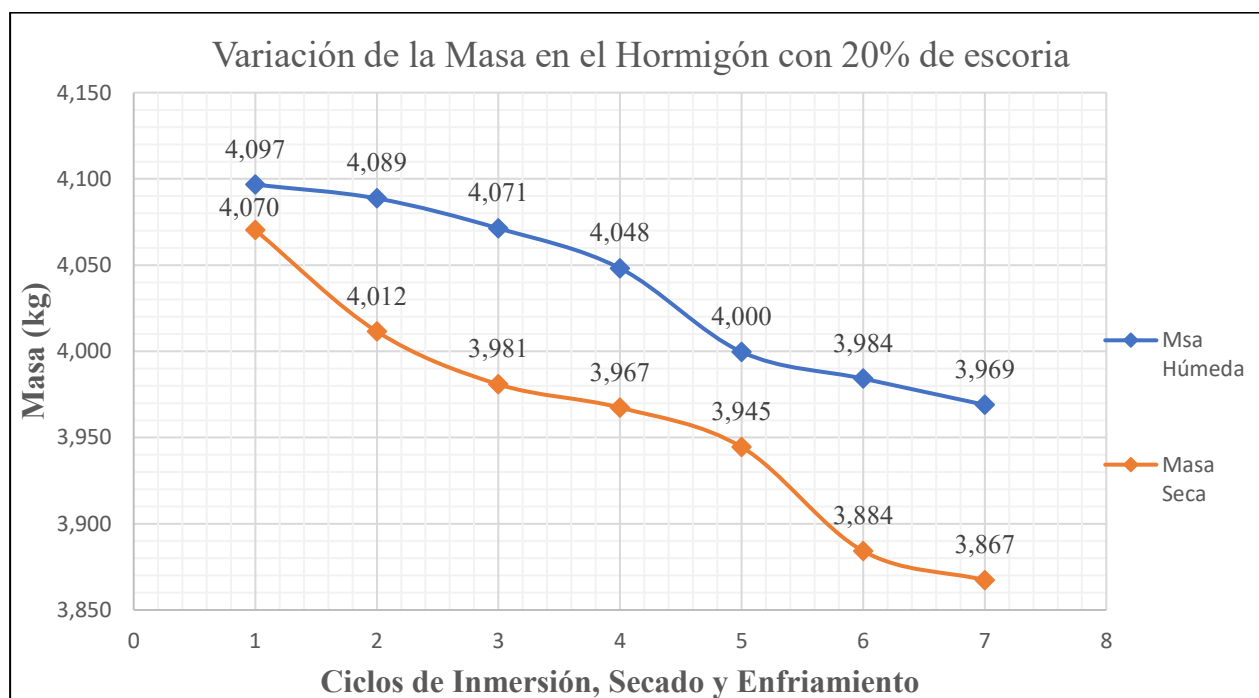
Tabla N° 44. Resumen del Hormigón con 10% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación

| PROBETAS CON 10% DE ESCORIA | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----|---------------------------|--|------------------------------------|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio (MgSO ₄) | |
| CICLOS | TEMPERATURA (°C) | PH | PROMEDIO MASA HÚMEDA (kg) | PROMEDIO MASA SECA (kg) | PROMEDIO VOLUMEN (m ³) |
| 1ER | 12 | 8 | 3,983 | 3,768 | 0,00157 |
| 2DO | 12 | 8 | 3,773 | 3,744 | 0,00157 |
| 3ER | 12 | 8 | 3,766 | 3,727 | 0,00157 |
| 4TO | 12 | 8 | 3,756 | 3,718 | 0,00157 |
| 5TO | 12 | 8 | 3,765 | 3,724 | 0,00159 |
| 6TO | 12 | 8 | 3,772 | 3,726 | 0,00159 |
| 7MO | 12 | 8 | 3,744 | 3,710 | 0,00159 |

Interpretación:

Mostrados los datos obtenidos del ensayo de sulfatación a muestras con 60 días de edad y 10% de reemplazo de escoria por arena se puede decir que la temperatura se mantuvo constante y el PH nos indica que trata de una solución alcalina (básica) encontrándose dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C1012. También existe un cambio de variación tanto en la masa húmeda como masa seca, Por cada ciclo realizado se nota un descenso directo en la masa húmeda, y en la masa seca hasta el ciclo #4, posteriormente en los ciclos #4 y #5 tienden a incrementar su masa pero al culminar el 7mo ciclo presentan un descenso. Además se puede notar un incremento en el volumen del 1.27% al finalizar el último ciclo.

Gráfico N° 26. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 20% de escoria sometido al ataque de sulfatos.



Fuente: Egresado Darío Laica

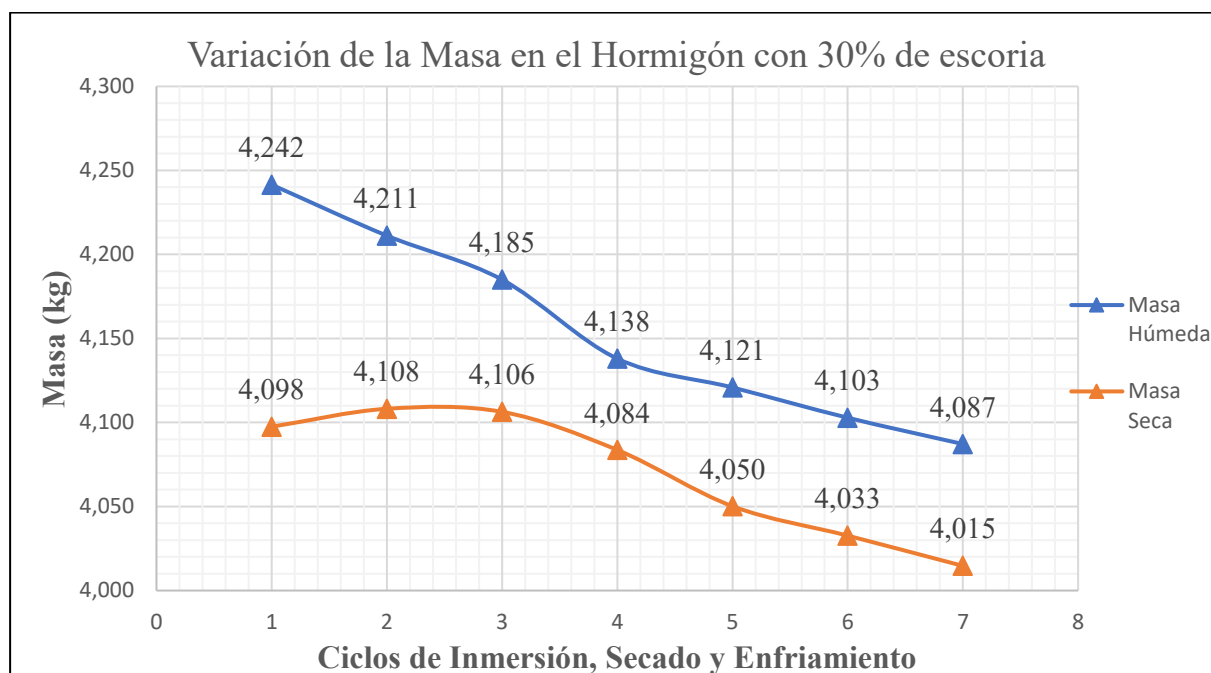
Tabla N° 45. Resumen del Hormigón con 20% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación

| PROBETAS CON 20% DE ESCORIA | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----|---------------------------|--|------------------------------------|
| Solución Acuosa | | | | Sulfato de Magnesio (MgSO ₄) | |
| CICLOS | TEMPERATURA (°C) | PH | PROMEDIO MASA HÚMEDA (kg) | PROMEDIO MASA SECA (kg) | PROMEDIO VOLUMEN (m ³) |
| 1ER | 12 | 8 | 4,097 | 4,070 | 0,00158 |
| 2DO | 12 | 8 | 4,089 | 4,012 | 0,00158 |
| 3ER | 12 | 8 | 4,071 | 3,981 | 0,00158 |
| 4TO | 12 | 8 | 4,048 | 3,967 | 0,00159 |
| 5TO | 12 | 8 | 4,000 | 3,945 | 0,00159 |
| 6TO | 12 | 8 | 3,984 | 3,884 | 0,00160 |
| 7MO | 12 | 8 | 3,969 | 3,867 | 0,00161 |

Interpretación:

Mostrados los datos obtenidos del ensayo de sulfatación a muestras con 60 días de edad y 20% de reemplazo de escoria por arena se puede decir que la temperatura se mantuvo constante y el PH nos indica que trata de una solución alcalina (básica) encontrándose dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C1012. También se puede notar un cambio de variación en la masa húmeda como masa seca, por cada ciclo realizado se nota un descenso directo en la masa húmeda, y en la masa seca durante todos los ciclos. Además se puede notar un incremento en el volumen del 1.90% al finalizar el último ciclo del ensayo de sulfatación.

Gráfico N° 27. Curva Variación de la Masa en el hormigón con 30% de escoria sometido al ataque de sulfatos.



Fuente: Egresado Darío Laica

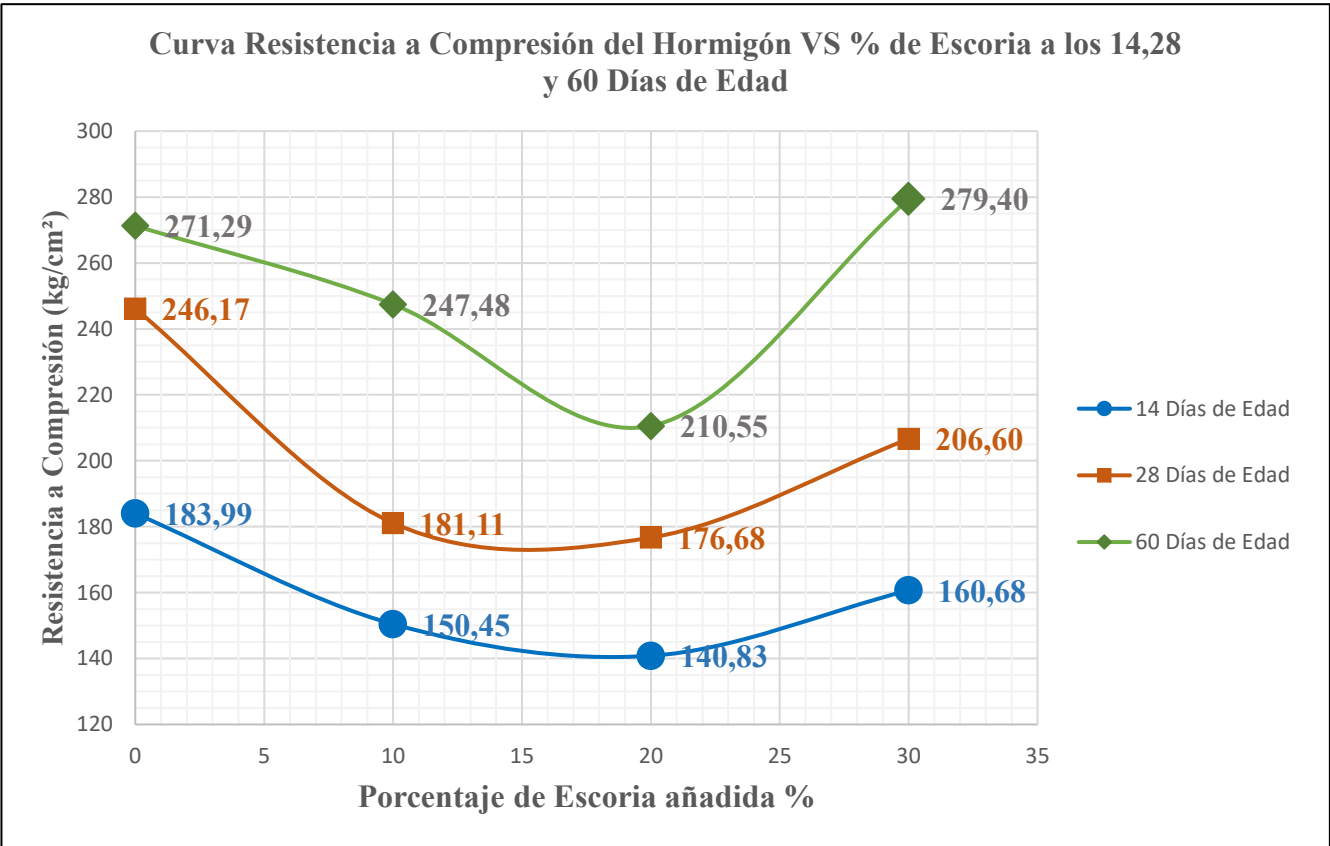
Tabla N° 46. Resumen del Hormigón con 20% de escoria a los 60 Días de Edad Sometido a Sulfatación.

| PROBETAS CON 30% DE ESCORIA | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----|--|-------------------------|------------------------------------|
| Solución Acuosa | | | Sulfato de Magnesio (MgSO ₄) | | |
| CICLOS | TEMPERATURA (°C) | PH | PROMEDIO MASA HÚMEDA (kg) | PROMEDIO MASA SECA (kg) | PROMEDIO VOLUMEN (m ³) |
| 1ER | 12 | 8 | 4,242 | 4,098 | 0,00160 |
| 2DO | 12 | 8 | 4,211 | 4,108 | 0,00160 |
| 3ER | 12 | 8 | 4,185 | 4,106 | 0,00162 |
| 4TO | 12 | 8 | 4,138 | 4,084 | 0,00162 |
| 5TO | 12 | 8 | 4,121 | 4,050 | 0,00162 |
| 6TO | 12 | 8 | 4,103 | 4,033 | 0,00163 |
| 7MO | 12 | 8 | 4,087 | 4,015 | 0,00164 |

Interpretación:

Mostrados los datos obtenidos del ensayo de sulfatación a muestras con 60 días de edad y 30% de reemplazo de escoria por arena se puede decir que la temperatura se mantuvo constante y el PH nos indica que trata de una solución alcalina (básica) encontrándose dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C1012. También se puede notar como la masa húmeda empieza a disminuir, decreciendo en un 3.79% de su masa inicial al finalizar el séptimo ciclo, mientras que su masa seca durante los ciclos #2, #3 aumentan, pero posteriores a este empiezan a decrecer en un 2.06% con respecto al inicio del ciclo. Además se puede notar un incremento en su volumen del 2.50% al finalizar los ciclos de Inmersión, Secado y Enfriamiento.

Gráfico N° 28. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs % de Escoria a los 14, 28, 60 días de edad.

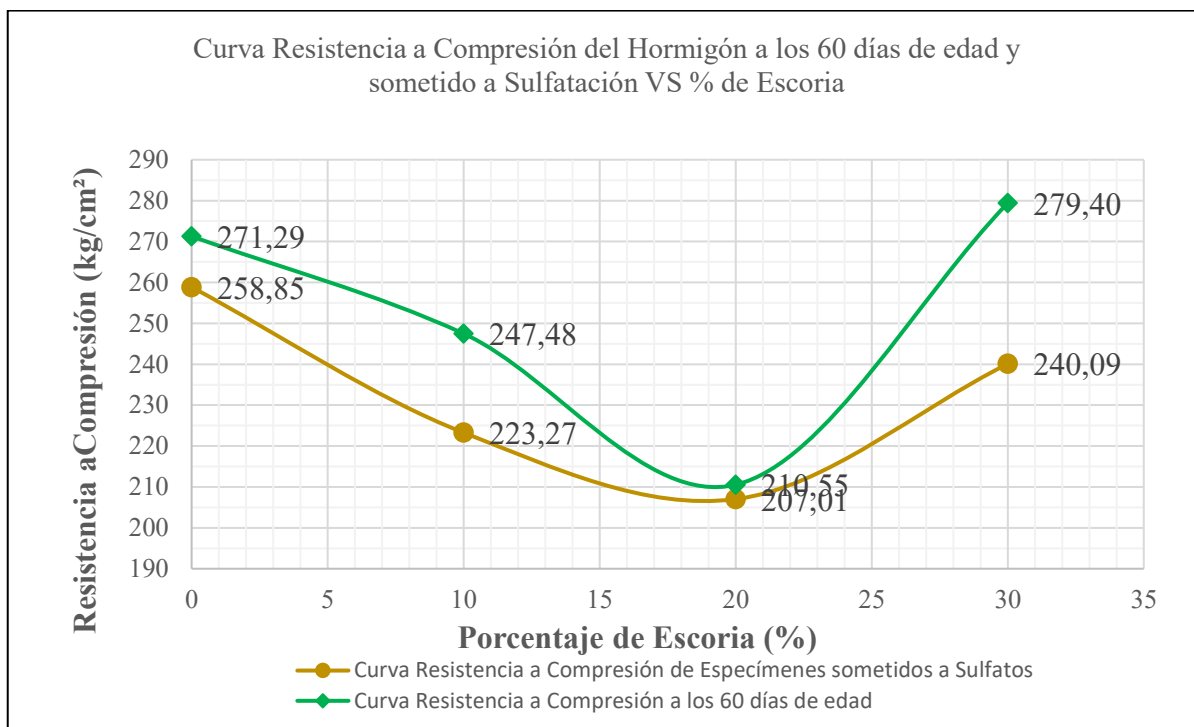


Fuente: Egresado Darío Laica

Interpretación:

En el Gráfico N° 28 podemos observar como el hormigón con reemplazos parciales de arena por escoria tienden a disminuir la resistencia a compresión en los porcentajes de 10 y 20%, pero para un 30% de reemplazo este tiende a incrementar ligeramente la resistencia en comparación a los anteriores porcentajes, pero no sobrepasando al del hormigón simple para edades de 14 y 28 días, por lo contrario el hormigón con 30% de reemplazo y 60 días de edad incrementa en un 2.99% con respecto al hormigón simple.

Gráfico N° 29. Curva Resistencia a compresión del Hormigón a los 60 días de edad y sometido a sulfatación.



Fuente: Egresado Darío Laica

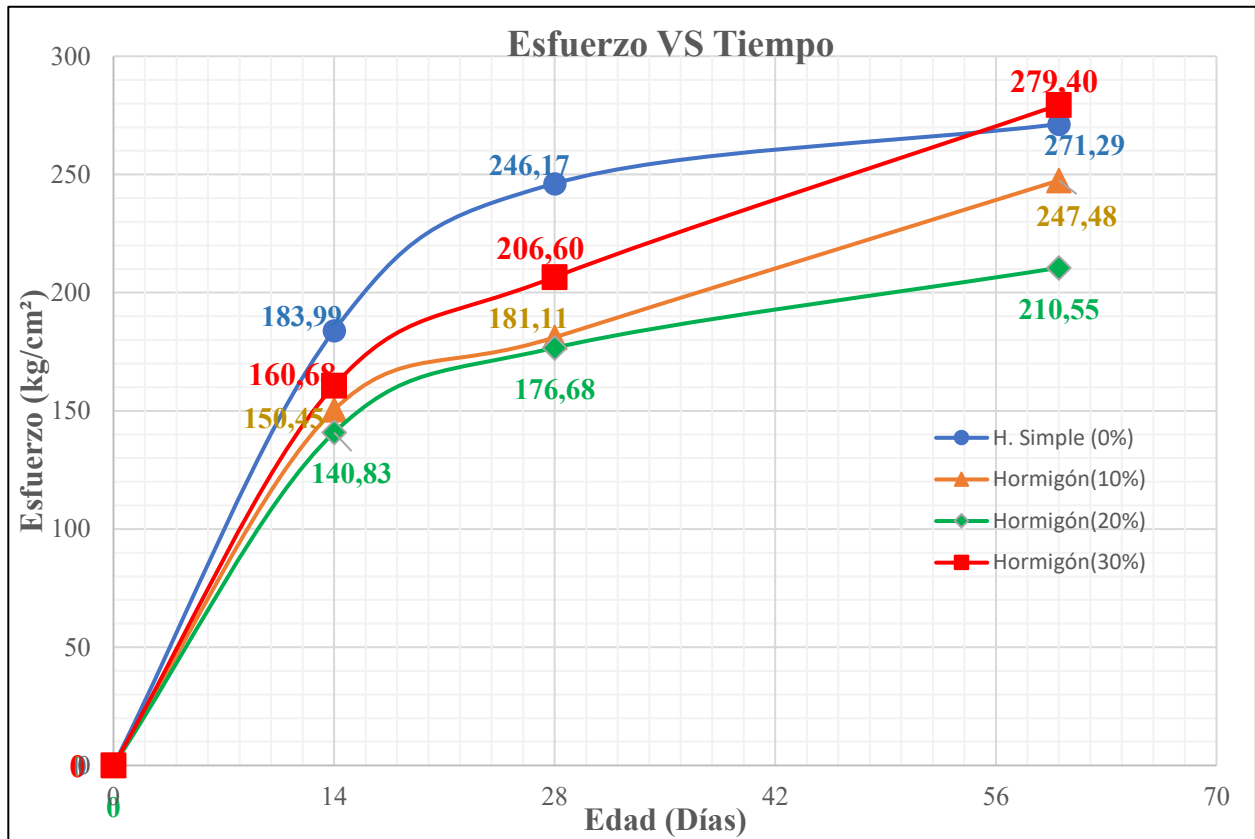
Tabla N° 47. Resumen de la Resistencia a Compresión del Hormigón sometido a sulfatación y muestras no sometidas.

| ADICIÓN ESCORIA % | No Sometido a Sulfatos F'c promedio (kg/cm²) | Sometido a Sulfatos F'c promedio (kg/cm²) | Decremento % |
|-------------------|--|---|--------------|
| 0 | 271,29 | 258,85 | 4,81 |
| 10 | 247,48 | 223,27 | 10,84 |
| 20 | 210,55 | 207,01 | 1,71 |
| 30 | 279,40 | 240,09 | 16,37 |

Interpretación:

En el Gráfico N° 29 se puede observar como el hormigón tiende a perder resistencia cuando se encuentra sometido a sulfatos, para realizar este análisis se realizó 12 muestras por cada porcentaje y se procedió a ensayar 6 muestras a los 60 días de edad para cada porcentaje y otras 6 para someterles a el ensayo acelerado de sulfatos donde se puede comprobar como el hormigón tiende a sufrir cambios en su resistencia a compresión. De aquí se puede decir que el hormigón con 0% de escoria sometido a sulfatos decrece en un 4.81% con respecto al hormigón sin ser sometido a sulfatos. Para el hormigón con 10% de reemplazo existe un decremento de 10.84 % en su resistencia con respecto al no que fue sometido. Para un hormigón con 20% de reemplazo se nota un ligero descenso en su resistencia con el 1.71%, mientras que para el porcentaje que mayor resistencia dio a los 60 días de edad de igual manera presento disminución en su resistencia con un 16.37% presentando el mayor decremento de resistencia.

Gráfico N° 30. Curva Resistencia a compresión del Hormigón vs Tiempo.

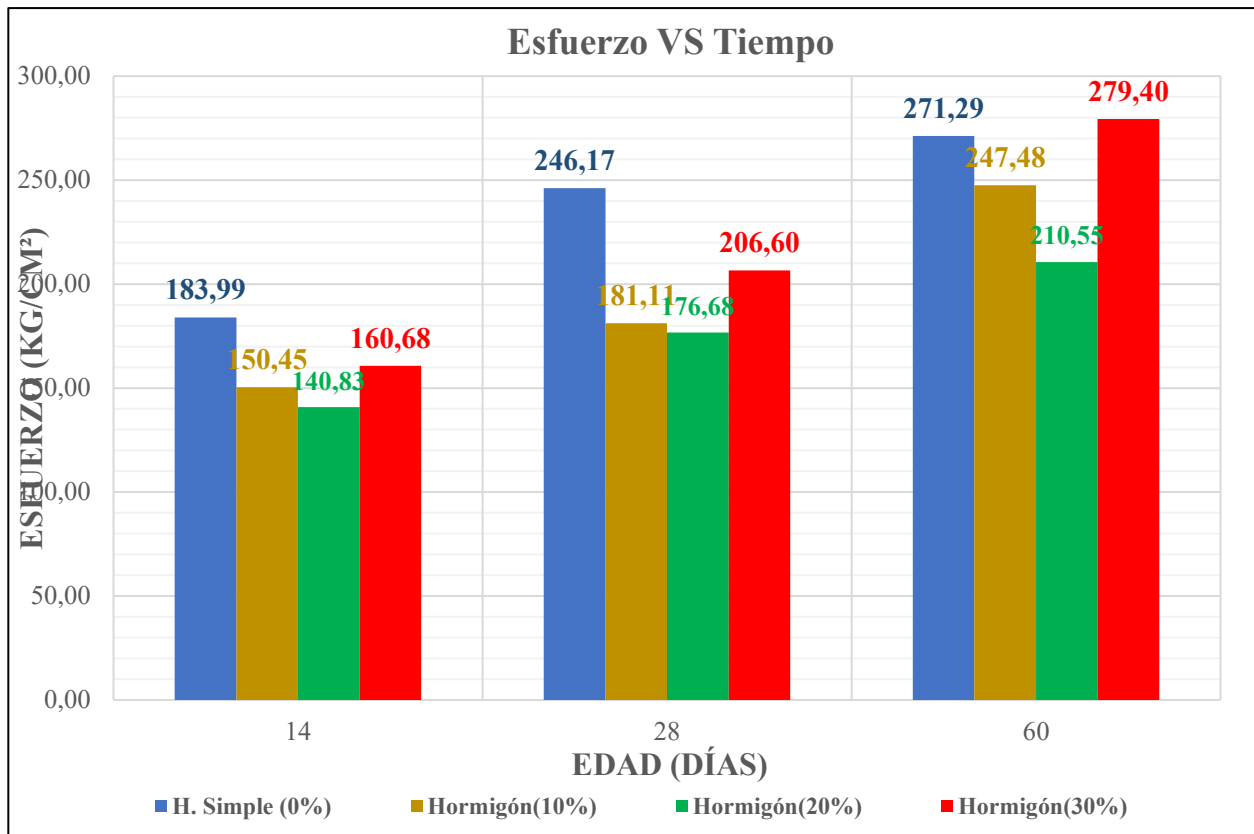


Fuente: Egresado Darío Laica

Interpretación:

Podemos observar en la Gráfica N° 29, el comportamiento de las muestras con los diferentes porcentajes de sustitución del agregado fino por escoria a las diferentes edades de 14, 28 y 60 días de edad. La muestra con 10% de escoria tiene un comportamiento creciente con respecto a la edad, pero con resistencias inferiores que la del Hormigón Simple. Las muestras con un 20% tienen de igual manera un comportamiento creciente pero inferior al del Hormigón simple y por debajo de la curva con un 10% de sustitución. Las muestras con un 30% tienen un comportamiento creciente con respecto a la edad y sobrepasando a las muestras anteriores pero por debajo de las resistencias del hormigón simple hasta los 28 días de edad, pero se nota un incremento de resistencia a los 60 días de edad sobrepasando en un 2.99% a la del Hormigón simple.

Gráfico N° 31. Diagrama de barras Resistencia a Compresión vs Tiempo.



Fuente: Egresado Darío Laica

Interpretación:

En el Gráfico N° 30 se puede observar a través de las barras como al incrementar el porcentaje de sustitución va decreciendo la resistencia a compresión en comparación al del Hormigón simple a los 14 días de edad. Para las muestras a los 28 días de igual manera al incrementar el porcentaje de escoria la resistencia a compresión del hormigón tiende a decrecer, pero con ligero incremento en muestras al 30% de escoria pero con valores inferiores al del Hormigón simple. En muestras a los 60 días de edad, la resistencia a compresión del hormigón tiende a decrecer para muestras con 10% y 20%, pero para muestras con 30% sufre un incremento de resistencia de 2.99% en comparación al del Hormigón simple.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Al analizar los resultados obtenidos tanto del hormigón simple y el hormigón con reemplazos parciales de escoria siderúrgica para una dosificación de 240 kg/cm^2 , se pudo comprobar que al utilizar la escoria siderúrgica en la elaboración del hormigón en sus diferentes porcentajes de sustitución este influyó decreciendo “disminuyendo” la resistencia a compresión del Hormigón a las distantes edades de ensayo, obteniendo como resultado que a mayor porcentaje de sustitución menor es la resistencia a compresión, pero a la edad de 60 días en un 30% de reemplazo se nota un ligero incremento de resistencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al realizar el análisis granulométrico a la escoria siderúrgica, se pudo obtener una curva con una adecuada distribución granulométrica como establece la Norma NTE INEN 696 para la elaboración del Hormigón, donde debe mantener un módulo de finura de 2.3 a 3.2
- La escoria siderúrgica obtuvo un Módulo de Finura (MF) de 3.0 y la arena obtenida de la mina de AyP HORMIGONES obtuvo un Módulo de Finura de 2.88, permitiendo una adecuada combinación para la elaboración del Hormigón.
- Al realizar el ensayo y determinar el peso unitario suelto y peso unitario compactado a la escoria siderúrgica se basó en la Norma NTE INEN 858 en donde se obtuvo valores de 2,040 kg/dm³ y 2,169 kg/dm³, siendo aptos en la elaboración del hormigón.
- Al realizar el ensayo para determinar la densidad real o peso específico de la escoria se pudo notar que este material es más pesado que un agregado fino natural (arena), por lo mismo al incrementar parcialmente los porcentajes del 10%, 20% y 30% en la elaboración del Hormigón, este tiende a incrementar su peso específico en estado fresco y endurecido en comparación al hormigón sin reemplazo de arena por escoria.
- Al realizar el ensayo para determinar la capacidad de absorción de la escoria se pudo observar que este material presenta una mayor capacidad de absorción en un 65.61% mayor que el agregado fino utilizado para la elaboración del hormigón.
- En la elaboración del Hormigón con diferentes porcentajes de sustitución se pudo notar que la trabajabilidad y homogeneidad incrementaban conforme al aumento en porcentaje de escoria, pero manteniéndose dentro de los límites establecidos de acuerdo al diseño de mezcla.

- Realizado el ensayo de compresión a los 14 días de edad a las muestras con 0%, 10%, 20% y 30%, se puede observar cómo influye la escoria en la resistencia a compresión del hormigón en los siguientes resultados, 183.99 kg/cm² para muestras sin reemplazo parcial de arena por escoria (0%), para un reemplazo del 10% la resistencia a compresión sufre un decremento del 22.29% con una resistencia de 150.45 kg/cm², para muestras con un 20% de escoria el hormigón decrece en un 30.65% su resistencia con un valor de 140.83 kg/cm² en muestras con 30% también existe un descenso de resistencia de 160.68 kg/cm² equivalente al 14.51% de decremento, pero superior a los anteriores reemplazos.
- Realizado el ensayo de compresión a los 28 días de edad a las muestras con 0%, 10%, 20% y 30%, se puede observar cómo influye la escoria en la resistencia a compresión del hormigón en los siguientes resultados, 246.17 kg/cm² para muestras sin reemplazo parcial de arena por escoria (0%), para un reemplazo del 10% la resistencia a compresión sufre un decremento del 35.92% con una resistencia de 181.11 kg/cm², para muestras con un 20% de escoria el hormigón decrece en un 39.33% su resistencia con un valor de 176.68 kg/cm² en muestras con 30% también existe un descenso de resistencia de 206.60 kg/cm² equivalente al 19.15% de decremento, pero superior a los anteriores reemplazos.
- Realizado el ensayo de compresión a los 60 días de edad a las muestras con 0%, 10%, 20% y 30%, se puede observar cómo influye la escoria en la resistencia a compresión del hormigón en los siguientes resultados, 271.29 kg/cm² para muestras sin reemplazo parcial de arena por escoria (0%), para un reemplazo del 10% la resistencia a compresión sufre un decremento del 9.62% con una resistencia de 247.48 kg/cm², para muestras con un 20% de escoria el hormigón decrece en un 28.85% su resistencia con un valor de 210.55 kg/cm² en muestras con 30% existe un incremento de resistencia a compresión de 279.40 kg/cm² equivalente al 2.99% de incremento, superando los anteriores porcentajes e incluido al hormigón con 0% de reemplazo.
- De los resultados obtenidos a los 60 días de edad, se concluye que el porcentaje que más se aproxima e incluso tiende a superar la resistencia a compresión de un hormigón simple es de 30% de reemplazo de la arena por escoria siderúrgica, pero para los demás porcentajes la resistencia tiende a disminuir en pequeña proporción con decrementos de 9.62% y 28.85% para el 10 y 20% de reemplazo de arena por escoria.

- Se concluyó que el decremento de resistencia a compresión del hormigón en reemplazos del 10 y 20% a los 14 y 28 días de edad, puede darse debido a la mala adherencia entre las partículas de cemento y la escoria siderúrgica a edades muy tempranas, dejando así algunos vacíos en el interior del hormigón, por ende las resistencias tienden a ser bajas, pero a partir de los 60 días de edad las resistencias incrementan debido a que las partículas de escoria empiezan a reaccionar químicamente con el cemento y empezando a ganar resistencia.
- La elaboración del hormigón con escoria siderúrgica diseñado para un $f'c$ de 240 kg/cm^2 , no podría ser empleado para la elaboración de elementos de la superestructura debido a que el peso específico del concreto a los 60 días de edad con 0% es de 2386.587 kg/m^3 mientras que el peso específico a los 60 días de edad con 30% fue de 2627.402 kg/m^3 , esto implica un aumento del 9.0% en peso del concreto versus un 3% de incremento de su resistencia.
- Se concluye que no es recomendable la utilización de escoria de horno de arco eléctrico para elaboración de hormigón como agregado fino y sobre todo que se encuentre en medios húmedos y en presencia de sulfatos ya que la utilización de este material tiende a variar la masa húmeda y la masa seca cuando existe ciclos de Inmersión, Secado y enfriamiento, criterio que se comparte con investigaciones anteriores de los Investigadores Ricardo Alfredo Cruz Hernández / Carlos Mauricio Pico Cortés / Ludwing Pérez Bustos.
- Se determinó que la utilización de escoria como reemplazo parcial de la arena presenta cambios en la resistencia a compresión del hormigón presentando un decremento mayor del 16.37% para muestras con un 30% de escoria al ser sometidos al ensayo de sulfatación acelerado.
- La utilización de escoria como agregado fino en la elaboración del Hormigón presentó desintegración en la pasta de cementicia debido a la expansión del concreto, e incremento de tamaño en los poros, además de presentar microfisuras alrededor de las muestras para los dos últimos ciclos de Inmersión, secado y enfriamiento.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se deben emplear agregados que presenten las mismas condiciones de humedad durante todo el proceso de elaboración del hormigón, así podemos garantizar resultados que pueden ser comparados al finalizar el período de ensayo de cada muestra.
- Al momento de manipular la escoria utilizar un protector para la nariz ya que la misma genera gran cantidad de polvo y podría causar daños a la persona de lo está utilizando debido a que este material posee diferentes minerales dentro de su composición química.
- Se deben realizar los ensayos de granulometría y densidad de los agregados a utilizarse en la elaboración del hormigón con mucha precaución, ya que estos pueden influenciar al momento de realizar el diseño de mezcla.
- Realizar el correcto ajuste de los moldes y engrasar adecuadamente con una mínima cantidad de aceite, ya que al colocar en exceso podría verse afectado en la resistencia a compresión de los especímenes.
- Realizar el llenado, varillado y compactación de acuerdo como establece la Norma NTE INEN 1579, la cuál menciona como debe realizarse para muestras de 100mm de diámetro y 200mm de altura, así conseguir especímenes bien elaborados y evitando porosidad en los mismos.
- Desencofrar con mucha precaución los especímenes, ya que estos podrían romperse con mucha facilidad debido a lo frágiles que pueden ser al momento de sacarles de los moldes.
- Dar un adecuado curado a los especímenes de hormigón, procurando mantener una temperatura entre los 10°C y 30 °C, ya que esto favorece en la resistencia del hormigón y evitando pérdida de humedad.
- Transportar los especímenes con mucho cuidado, evitando cualquier tipo de golpe ya que 'podría fisurarse y llevar a una pérdida de resistencia en los especímenes.
- Antes de ensayar los especímenes se recomienda sacarlos de la cámara de curado por lo menos un día antes del ensayo para que el agua que se encuentre en la superficie se escurra y evitar falla anticipadas de los especímenes.

- El presente estudio se realizó con un reemplazo de la arena por escoria hasta en un 30%, se podría realizar estudios posteriores sobrepasando este porcentaje y observar de que manera influye en las resistencias del hormigón.
- Este tipo de concreto puede ser utilizado para la elaboración de veredas, bordillos y asfaltos con proporciones del 30% de escoria ya que este fue el porcentaje óptimo para la elaboración del hormigón con escoria.

MATERIALES DE REFERENCIA

1.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. G. Pérez, *Diseño de Hormigones dirigidos a la aplicación*, Catalunya, 2004.
- [2] P. D. J. CALLEJA, «ESCORIAS Y CEMENTOS SIDERÚRGICOS,» *España-Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, pp. 11-12, 1982.
- [3] C. D. E. Y. E. D. O. PÚBLICAS, *ESCORIAS DE ACERÍA DE ARCO ELÉCTRICO*, MADRID-ESPAÑA, DICIEMBRE 2011.
- [4] S. V. N. GRANJA, *UTILIZACIÓN DE ESCORIAS Y POLVOS DE ACERÍA EN LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES Y ADOQUINES*, QUITO- ECUADOR, 2008.
- [5] M. B. E. VÁZQUES RAMONICH, *Reactividad y expansión de las escorias de acería de horno de arco eléctrico en relación con sus aplicaciones en la construcción*, España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.
- [6] E. C. L. L. P. Amado Cruz-Cresp, «Reciclado de las escorias de cubilote,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos93/reciclado-escorias-cubilote/reciclado-escorias-cubilote.shtml>. [Último acceso: Viernes 01 Diciembre 2017].
- [7] D. M. F. D. L. P. B. Ricardo Alfredo Cruz Hernández, «Durabilidad y acústica del concreto con escoria de cubilote como reemplazo de agregado fino,» *INGE CUC*, vol. Vol. 219, nº N 43, pp. pp 37-51, Enero- Marzo de 2015.
- [8] C. M. C. L. P. B. Ricardo Alfredo Cruz Hernández, «Reemplazo del agregado fino Fino por Escoria de Horno de Cubilote para la fabricación de Concreto,» *INGE CUC*, vol. VOL. 10, nº No 1, pp. PP. 83-88, 2014.
- [9] I. N. D. PREINVERSIÓN, *ESTUDIO BÁSICO DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA EN ECUADOR*, Ecuador, 2013.
- [10] A. A. S. P. B. N. M. S. Pao Ter Teo, *Characterization of EAF Steel Slag Waste: The Potential Green Resource for Ceramic Tile Production*, aStructural Materials Niche Area, School of Materials and Mineral Resources Engineering, Engineering Campus, Universiti Sains Malaysia, bR&D Department, Southern Steel Berhad, 2723, Lorong Perusahaan 12, Prai Industrial Estate, 13600 Prai, Penang, Malaysia, 2015.
- [11] A. S. V. GUAYASAMIN, *HORMIGONES CON ESCORIA DE ACERO DE HORNO ELÉCTRICO: PRESTACIONES MECÁNICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS*, CUENCA- ECUADOR, 2013.

- [12] A. M. PIÑA, *PROYECTO SOBRE RESÍDUOS: UTILIZACIÓN DE ESCORÍAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS*, ESPAÑA, 2011.
- [13] J. C. Griman, «Concepto y Tipos de hormigon,» Sábado 27 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://elhormigoncivil.blogspot.com/2012/10/concepto-y-tipos-de-hormigon.html>. [Último acceso: Martes 06 Febrero 2018].
- [14] T. C. Melendez, «TECNOLOGÍA DEL CONCRETO,» 2015. [En línea]. Available: <http://tecnologia17118.blogspot.com/2015/03/pagina-principal.html>. [Último acceso: 27 02 2018].
- [15] A. C. 143, *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de concreto de Cemento Hidráulico*, United States, Noviembre de 2012.
- [16] E. h, «Notas de Hormigón Armado,» 14 Abril 2011. [En línea]. Available: <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/homogeneidad-del-hormigon-fresco.html>. [Último acceso: 27 Febrero 2018].
- [17] N. I. 1579, *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)*, QUITO- ECUADOR, 2013.
- [18] CONSTRUMÁTICA, «CONSTRUMÁTICA,» [En línea]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia/Hormigón:_Propiedades. [Último acceso: 27 FEBRERO 2018].
- [19] J. D. C. S. J. A. P. M. Raúl García de Arriba, *Determinación de la porosidad y permeabilidad del hormigón endurecido*, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 1994.
- [20] GUASAMAYA, «FISURAS EN EL HORMIGÓN,» 13 MARZO 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/341756181/Fisuras-en-El-Hormigon>. [Último acceso: 27 FEBRERO 2018].
- [21] D. SILVA, «HORMIGÓN PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS,» 10 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://elhormigonysuspropiedades.blogspot.com/p/propiedades-del-hormigon-endurecido.html>. [Último acceso: 28 FEBRERO 2018].
- [22] N. I. 1573, *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*, Quito-Ecuador, 2010.
- [23] G. A. R. L., «RESISTENCIA DEL CONCRETO,» de *CONCRETO SIMPLE*, CAPITULO 6 , pp. 131-132.
- [24] C. A. 3. ". C. Institute", «Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI318SUS-14),» Segunda impresión, Enero de 2015, 2014.
- [25] S. A. Y. J. LECHUGA, *Permeabilidad del hormigón a los gases y líquidos. Nuevo método de determinación*, España, Julio-Agosto 1984.

- [26] F. B. Vasquez, «Monografias.com,» Jueves 06 Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/docs110/monografia-del-cemento/monografia-del-cemento.shtml>. [Último acceso: 16 Febrero 2018].
- [27] I. ". E. D. NORMALIZACIÓN", «CEMENTO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS RELACIONADOS,» NTR INEN 151:2005, QUITO-ECUADOR.
- [28] T. T. S. Vizcardo Otero, *Agregados para la construcción "Piedra y Arena"*, Lima, 2014.
- [29] S. Medina, *Ensayo de Materiales II*, Ambato-Ecuador, 2013.
- [30] E. d. I. e. Construcción-UCV, *Los aditivos*.
- [31] A. C. 33-03, *Especificación Estándar para Agregados para Concreto*, Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04-02, 10 de Junio de 2003.
- [32] A. C125, « Standard Terminology Relating to concrete and Concrete Aggregates,» United States, 2010.
- [33] A. C. 128-01, *Método de Ensayo Normalizado para Determinar Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y la Absorción de los Aridos Finos*, United States, 2001.
- [34] A. C. 127, *Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso*, United States, Octubre 2001.
- [35] N. I. 858, *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*, Quito-Ecuador, 2010.
- [36] A. ". A. C. I. 201.2R-01, *Guía para la Durabilidad del Hormigón*, United States, 2000.
- [37] P. U. W. o. S. V. L. M. Benítez Andrade, "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO BAJO CRITERIOS DE DURABILIDAD, SOMETIDAS A ENSAYOS ACELERADOS POR ATAQUE DE SULFATOS.", El Salvador, Octubre 2015.
- [38] R. S. Malanca, *Diseño de un Ensayo Acelerado para la Determinación del Ataque por Acción de los Sulfatos a Estructuras de Hormigón y Alternativa propuesta para el diseño de un Contenedor*, BUENOS AIRES- ARGENTINA, 2003.
- [39] F. J. T. PARADA, *VULNERABILIDAD DE LOS HORMIGONES MASIVOS FRENTE AL FENÓMENO EXPANSIVO POR FORMACIÓN DE ETRINGITA TARDÁ, EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE PUZOLANA EN CEMENTOS NACIONALES*, SANTIAGO DE CHILE, 2015.
- [40] E. L. Gómez, «BLOG 360 EN CONCRETO,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://blog.360gradosenconcreto.com/lo-que-debes-saber-sobre-el-ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>. [Último acceso: 23 FEBRERO 2018].
- [41] J. C. Gallart, *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE HORMIGONES CON ÁRIDOS SIDE'RURGICOS DE HORNO ELÉCTRICO*, CATALUÑA-ESPAÑA, 2012.

- [42] B. N. y. K. Santamaría, *DISEÑO DE HORMIGÓN RÍGIDO DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO ESCORIA DE ACERO PARA LA APLICACIÓN EN PAVIMENTO DE CONCRETO*, QUITO, 2017.
- [43] G. N. y. A. M. L. Herrera, *Tutoría de la Investigación Científica*, Quito: Diemerino Editores, 2004.

2.- ANEXOS

2.1 FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Granulometría del agregado grueso



Fotografía 2. Granulometría del agregado fino



Fotografía 3. Determinación de la densidad aparente suelta



Fotografía 4. Determinación de la densidad aparente Compactada



Fotografía 5. Determinación de la densidad real de la arena.



Fotografía 6. Toma de datos



Fotografía 7. Determinación de la densidad real de la escoria



Fotografía 8. Determinación de la densidad real de la arena.



Fotografía 9. Determinación de la densidad real de la grava.



Fotografía 10. Determinación de la densidad real de la grava método de la canastilla.



Fotografía 11. Toma de datos de los moldes metálicos.



Fotografía 12. Mezcla de materiales para $f'c$ 240 kg/cm²



Fotografía 13. Determinación del asentamiento con el cono Abrams



Fotografía 14. Llenado del cono de Abrams



Fotografía 15. Mezcla de materiales para realizar un hormigón con escoria siderúrgica.



Fotografía 16. Mezclado de materiales



Fotografía 17. Llenado de moldes metálicos



Fotografía 18. Compactación al llenado de muestras.



Fotografía 19. Desencofrado de especímenes y colocación en la cámara de curado.



Fotografía 20. Ensayo de compresión a especímenes a sus edades respectivas



Fotografía 21. Tipo de rotura de los especímenes



Fotografía 22. Tipo de rotura a especímenes



Fotografía 23. Materiales para la preparación de la solución acuosa de sulfato de magnesio $MgSO_4$ y la determinación del PH de la misma.



Fotografía 24. Colocación del sulfato de magnesio en 70 lt de agua para el proceso acelerado de sulfatos.



Fotografía 25. Colocación de 5600gr en agua (80gr/lit).



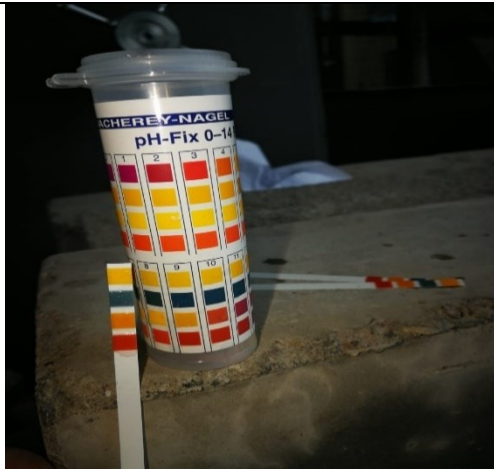
Fotografía 26. Disolviendo el sulfato para una mejor concentración.



Fotografía 27. Colocación de las primeras muestras en la solución.



Fotografía 28. Toma de la temperatura a las 10:00 AM



Fotografía 29. Determinación del PH de la solución.



Fotografía 30. Toma de la temperatura y PH a las 18:00 PM



Fotografía 31. Colocación de los especímenes en el Horno después de ser sometidos a la sulfatación para acelerar el proceso de deterioro en las muestras.



Fotografía 32. Temperatura del horno 105 °C para secar las muestras. Se realiza el mismo proceso para los posteriores ciclos de Inmersión, seca y enfriamiento.

