



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:

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA
(ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO

AUTOR: DÍAZ LÓPEZ STUART

TUTORA: ING. M.SC. MARITZA UREÑA

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M.Sc. Maritza Ureña certifico que la presente tesis de grado “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO.” realizado por Sr. Stuart Díaz López, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, enero de 2017

Ing. M.Sc. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Stuart Díaz López, con CI. 180412092-9 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: **“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO”** es de mi completa autoría.

Stuart Díaz López

AUTOR

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: " DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO.", del Sr. Egresado Stuart Díaz López, 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. Carlos Navarro
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su 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 Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero de 2017

Autor

Stuart Díaz López

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por permitirme llegar hasta este punto, iluminándome y guiándome en mi camino para cumplir con esta meta planteada.

A mis padres por estar a mi lado en todo momento brindándome todo su apoyo, aconsejándome e inculcándome los valores de esfuerzo y perseverancia.

A mi hermano, que a pesar de la distancia siempre ha estado pendiente de mí con palabras de aliento y motivación.

A mi familia y a todos quienes siempre han estado presentes cuando más los necesitaba apoyándome y aconsejándome.

Stuart Díaz

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme la vida, salud y bendiciones para poder hacer posible este sueño tan anhelado.

Gracias a mis padres, por ser mí guía en todo momento y por haberme enseñado que con esfuerzo, perseverancia y dedicación todo se consigue.

Gracias a mi hermano, por siempre estar pendiente de mí brindándome palabras de motivación, gracias por creer en mí.

Gracias a mi familia, por todo su apoyo incondicional y demostrarme que siempre estoy en sus pensamientos, buscando lo mejor para mi persona.

Gracias a mis compañeros y amigos que han estado a mi lado, con quienes he compartido grandes momentos.

Gracias a la Ing. Maritza Ureña por su paciencia y colaboración, impartíendome sus conocimientos para poder realizar este trabajo de la mejor manera.

Stuart Díaz

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|--|------|
| PORTADA..... | I |
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR..... | II |
| AUTORÍA DEL TRABAJO..... | III |
| APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES..... | IV |
| DERECHOS DE AUTOR..... | V |
| DEDICATORIA..... | VI |
| AGRADECIMIENTO..... | VII |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XII |
| INDICE DE GRÁFICOS..... | XIII |
| INDICE DE FOTOGRAFÍAS..... | XV |
| RESÚMEN EJECUTIVO..... | XVII |

B. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

| | |
|--|---|
| 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 4 |

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

| | |
|--|----|
| 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 5 |
| 2.1.1 Hormigón..... | 5 |
| 2.1.1.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO..... | 5 |
| 2.1.1.2 PROPIEDADES HORMIGÓN ENDURECIDO..... | 8 |
| 2.1.2 MATERIALES CEMENTANTES..... | 9 |
| 2.1.3 ÁRIDOS (AGREGADOS)..... | 11 |
| 2.1.3.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS..... | 12 |
| 2.1.3.2 GRANULOMETRÍA..... | 12 |
| 2.1.3.3 GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO..... | 12 |
| 2.1.3.4 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO..... | 13 |
| 2.1.5 AGUA DE MEZCLADO..... | 15 |
| 2.1.5.1 AGUA DE CURADO..... | 15 |
| 2.1.6 FALLAS DE LOS HORMIGONES ENSAYADOS A COMPRESIÓN..... | 17 |
| 2.1.6.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN..... | 18 |
| 2.1.7 ARCILLA EXPANDIDA..... | 20 |
| 2.1.7.1 FABRICACIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA..... | 21 |
| 2.1.7.2 PROPIEDADES DE LA ARCILLA EXPANDIDA..... | 23 |
| 2.1.7.3 APLICACIONES..... | 24 |
| 2.2 HIPÓTESIS..... | 25 |
| 2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS..... | 25 |
| 2.3.1 Variable Independiente..... | 25 |
| 2.3.2 Variable Dependiente..... | 25 |

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

| | |
|---|----|
| 3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 26 |
| 3.1.1 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO..... | 26 |
| 3.1.1 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO..... | 26 |
| 3.1.3 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA..... | 26 |
| 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 26 |
| 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... | 27 |
| 3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 27 |
| 3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE..... | 28 |
| 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... | 29 |
| 3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS..... | 29 |

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 31 |
| 4.1.1 Granulometría del agregado fino | 31 |
| 4.1.2 Granulometría del agregado grueso..... | 33 |
| 4.1.3 Densidad aparente suelta de los agregados..... | 35 |
| 4.1.4 Densidad aparente compactada de los agregados..... | 36 |
| 4.1.5 Densidad aparente compactada de la mezcla..... | 37 |
| 4.1.6 Densidad real del cemento..... | 39 |
| 4.1.7 Densidad real y capacidad de absorción de la arena..... | 40 |
| 4.1.8 Densidad real y capacidad de absorción del ripio..... | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.1.9 Granulometría de la Arcilla Expandida..... | 42 |
| 4.1.10 Dosificación del Hormigón..... | 45 |
| 4.1.11 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN..... | 55 |
| 4.1.12 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO..... | 57 |
| 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 63 |
| 4.2.1. Análisis de precios Unitarios..... | 77 |
| 4.2.2 Fallas en ensayos realizados a cilindros de hormigón..... | 79 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS..... | 82 |

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---|-----------|
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 83 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 87 |
| A. MATERIALES DE REFERENCIA..... | 88 |
| 1 BIBLIOGRAFÍA..... | 88 |
| 2 ANEXOS..... | 91 |
| 2.1. Fotografías de los ensayos realizados..... | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1. Densidades del hormigón..... | 8 |
| Tabla N° 2. Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso..... | 12 |
| Tabla N° 3. Límites de porcentaje que pasa el agregado fino..... | 13 |
| Tabla N°4. Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón..... | 16 |
| Tabla N°5. Granulometría agregado fino..... | 32 |
| Tabla N°6. Granulometría agregado grueso..... | 33 |
| Tabla N° 7. Densidad aparente suelta de los agregados..... | 35 |
| Tabla N°8. Densidad aparente compactada de los agregados..... | 36 |
| Tabla N°9. Densidad aparente compactada de la mezcla..... | 37 |
| Tabla N°10. Densidad real del cemento..... | 39 |
| Tabla N°11. Densidad real y capacidad de absorción de la arena..... | 40 |
| Tabla N°12. Densidad real y capacidad de absorción del ripio..... | 41 |
| Tabla N°13. Granulometría de la arcilla expandida..... | 43 |
| Tabla N°14. Capacidad de absorción de la arcilla expandida..... | 45 |
| Tabla N°15. Cantidades de pasta de cemento en relación al asentamiento..... | 47 |
| Tabla N°16. Dosificación de Hormigón 210kg..... | 50 |
| Tabla N°17. Dosificación Hormigón con 5% de A.E..... | 51 |
| Tabla N°18. Dosificación Hormigón con 10% de A.E..... | 52 |
| Tabla N°19. Dosificación Hormigón con 20% de A.E..... | 52 |
| Tabla N°20. Dosificación Hormigón con 30% de A.E..... | 53 |
| Tabla N°21. Propiedades del Hormigón fresco sin porcentaje de arcilla expandida..... | 57 |
| Tabla N°22. Propiedades del Hormigón fresco con 5% de arcilla expandida..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabla N°23. Propiedades del Hormigón fresco con 10% de arcilla expandida..... | 59 |
| Tabla N°24. Propiedades del Hormigón fresco con 20% de arcilla expandida..... | 60 |
| Tabla N°25. Propiedades del Hormigón fresco con 30% de arcilla expandida..... | 61 |
| Tabla N°26. Resistencia a la Compresión del Hormigón normal..... | 64 |
| Tabla N°27. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 5% de arcilla expandida..... | 65 |
| Tabla N°28. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 10% de arcilla expandida..... | 66 |
| Tabla N°29. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 20% de arcilla expandida..... | 67 |
| Tabla N°30. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 30% de arcilla expandida..... | 68 |
| Tabla N°31. Análisis de precios unitarios de Hormigón simple $f'c= 210\text{Kg/cm}^2$ | 77 |
| Tabla N°32. Análisis de precios unitarios de Hormigón añadido 5% de arcilla expandida..... | 78 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Método del Cono de Abrams..... | 7 |
| Gráfico 2. Tipos de fallas en probetas de hormigón..... | 17 |
| Gráfico 3 y 4. Parámetros para cilindros de hormigón..... | 19 |
| Gráfico 5. Arcilla expandida..... | 20 |
| Gráfico 6. Proceso de fabricación industrial de la Arcilla Expandida..... | 22 |
| Gráfico 7. Curva granulométrica de la arena..... | 32 |

| | |
|--|----|
| Gráfico 8. Curva granulométrica del ripio..... | 34 |
| Gráfico 9. Densidad Óptima de los agregados..... | 38 |
| Gráfico 10. Arcilla expandida tamizada..... | 42 |
| Gráfico 11. Tamizado de arcilla expandida..... | 42 |
| Gráfico 12. Número de tamices..... | 42 |
| Gráfico 13. Curva granulométrica de la arcilla expandida. | 44 |
| Gráfico 14. Muestra de arcilla expandida al volumen..... | 54 |
| Gráfico 15. Muestra de ripio al volumen..... | 54 |
| Gráfico 16. Mezcla del materiales..... | 54 |
| Gráfico 17. Elaboración de la mezcla de hormigón..... | 56 |
| Gráfico 18. Medición asentamiento cono de Abrams..... | 56 |
| Gráfico 19. Elaboración de cilindros de hormigón..... | 56 |
| Gráfico 20. Desencofrado de cilindros de hormigón..... | 56 |
| Gráfico 21. Curva Densidad vs. Porcentaje de arcilla expandida del Hormigón fresco..... | 62 |
| Gráfico 22. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 7 días de edad..... | 69 |
| Gráfico 23. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 14 días de edad..... | 70 |
| Gráfico 24. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 28 días de edad..... | 71 |
| Gráfico 25. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 7, 14 y 28 días de edad..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 26. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Tiempo..... | 73 |
| Gráfico 27. Diagrama de barras Esfuerzo del Hormigón vs. Tiempo..... | 74 |
| Gráfico 28. Curva Densidad vs. Porcentaje de arcilla expandida del Hormigón endurecido..... | 75 |
| Gráfico 29. Comparación de diagramas de barras esfuerzo vs. tiempo y densidad vs. tiempo..... | 76 |
| Gráfico 30. Ensayo a compresión a los 28 días con 0 % de arcilla expandida..... | 79 |
| Gráfico 31. Ensayo a compresión a los 28 días con 5 % de arcilla expandida..... | 79 |
| Gráfico 32. Ensayo a compresión a los 28 días con 10 % de arcilla expandida..... | 80 |
| Gráfico 33. Ensayo a compresión a los 28 días con 20 % de arcilla expandida..... | 80 |
| Gráfico 34. Ensayo a compresión a los 28 días con 30 % de arcilla expandida..... | 81 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|----|
| Fotografía 1. Tamizado de los agregados fino y grueso..... | 91 |
| Fotografía 2. Ensayo densidad aparente compacta del agregado grueso..... | 91 |
| Fotografía 3. Ensayo densidad aparente compacta del agregado fino..... | 92 |
| Fotografía 4. Ensayo densidad óptima de los agregados..... | 92 |
| Fotografía 5. Ensayo densidad real del cemento..... | 93 |
| Fotografía 6. Ensayo densidad real del agregado fino..... | 93 |
| Fotografía 7. Ensayo densidad real del agregado grueso..... | 94 |
| Fotografía 8. Ensayo capacidad de absorción de los agregados..... | 94 |
| Fotografía 9. Elaboración de cilindros de hormigón normal..... | 95 |
| Fotografía 10. Ensayo del cono de Abrams..... | 95 |

| | |
|--|----|
| Fotografía 11. Medición de asentamiento del hormigón..... | 96 |
| Fotografía 12. Elaboración de cilindros de hormigón con arcilla expandida..... | 96 |
| Fotografía 13. Enrasamiento y fraguado de cilindros de hormigón..... | 97 |
| Fotografía 14. Desencofrado de cilindros de hormigón..... | 97 |
| Fotografía 15. Curado de cilindros de hormigón..... | 98 |
| Fotografía 16. Ensayos a compresión de muestras de hormigón..... | 98 |
| Fotografía 17. Ensayos a compresión de muestras de hormigón..... | 99 |
| Fotografía 18. Tipos de fallas en muestras de hormigón..... | 99 |

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO”

AUTOR: Stuart Díaz López

TUTORA: Ing. Mg. Maritza Ureña

El presente trabajo experimental tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos mediante ensayos a compresión realizados en cilindros de hormigón simple adicionando árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso.

Como primera etapa se realizó los ensayos de materiales como son análisis granulométrico, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico y capacidad de absorción del ripio, arena y arcilla expandida en cumplimiento con las normas NTE INEN 857, INEN 696 y verificando que los mismos se encuentren dentro de los estados límite establecidos por la norma ASTM C33.

Posteriormente se procedió al cálculo de la dosificación adecuada para un hormigón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante el Método de la Densidad Máxima de esta manera se elaboró muestras de hormigón simple mezclando el árido de arcilla expandida en proporciones de 5%, 10%, 20% y 30% en remplazo del ripio en una sustitución al volumen, tomando 3 muestras por cada proporción.

Como última etapa se realizó los ensayos a compresión de las muestras de hormigón a los 7, 14 y 28 días de edad, obteniendo información vital sobre el comportamiento a compresión del hormigón y sus diferentes resistencias, de esta manera se estableció porcentajes óptimos con los cuales se mantuvo y aumentó la resistencia requerida, disminuyendo además el peso específico del hormigón debido a que la arcilla expandida posee propiedades de ligereza, además de ser una alternativa natural y ecológica en beneficio del medio ambiente.

ABSTRACT

TOPIC: “RESISTANCE DETERMINATION OF COMPRESSION FROM CONCRETE ADDING LIGHT EXPANDED CLAY AGGREGATE (LECA) IN PARTIAL SUBSTITUTION OF COARSE AGGREGATE”

AUTHOR: Stuart Díaz López

ADVISOR: Ing. Mg. Maritza Ureña

The objective of the current experimental work is to analyze the results obtained by compression tests performed on simple concrete cylinders added light expanded clay aggregate in partial replacement of the coarse aggregate.

As a first step, we execute the materials test like granulometric analysis, loose unit weight, compacted unit weight, specific weight and absorption capacity of the gravel, sand and expanded clay were carried out in compliance with the standards NTE INEN 857, INEN 696 and verifying that they are in the limit states established by ASTM C33.

Later we proceeded to the calculation of the adequate dosing for a concrete of $f'c = 210$ kg/cm² by means of the method of the Maximum Density hereby there were elaborated samples of simple concrete, mixing the arid one of clay expanded in proportions of 5 %, 10 %, 20 % and 30 % in replace of gravel, also in a substitution to the volume, taking 3 samples for every proportion.

As last stage we realized the tests compression of the samples of concrete from 7, 14 and 28 days of age, obtaining vital information about the performance of the concrete and its different resistances, hereby there were established ideal percentages in which it was kept and increased the needed resistance, diminishing the specific weight of the concrete, due to the fact that the expanded clay possesses properties of lightness, besides of being a natural and ecological alternative in benefit of the environment.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO

1.2 ANTECEDENTES

En nuestros tiempos el hormigón ha sido un material de construcción por excelencia, hoy en día este se encuentra casi siempre presente en la construcción o en alguna parte de la misma; desde tuberías, traviesas de ferrocarril, pavimentos de carreteras, etc., hasta las grandes obras de la ingeniería civil como puentes, túneles o presas.

Sin embargo, la innovación ha permitido la creación de nuevos hormigones ante una exigencia cada vez mayor del uso del mismo en nuevos retos tecnológicos. Esto implica aplicarse ciertas modificaciones en su elaboración, a través de la incorporación de otros materiales que permitan mejorar las propiedades del hormigón, un ejemplo es la aplicación de materiales ligeros para la obtención de hormigones alivianados. Esto es cada vez más habitual en determinadas aplicaciones siendo una tendencia de futuro para obtener un material más competitivo. [1]

Debido a los grandes avances que ha ido teniendo la tecnología se han experimentado con nuevos tipos de agregados livianos como son las arcillas, escorias y pizarras expandidas procedentes de plantas industriales, también con productos artificiales tales como el poliestireno y la cascarilla de arroz.

Se sitúa el descubrimiento de la arcilla expandida hacia el año 1885 pero para el año 1917, Stephen J. Hayde en Kansas City, desarrolló, por medio de un horno tubular rotatorio, un proceso para expandir arcillas y pizarras, obteniendo un agregado de baja densidad. [2]

La arcilla expandida se ha utilizado desde hace muchos años en forma de granulados ligeros, en las actividades de la construcción y de las obras públicas, principalmente para el aligeramiento de los hormigones. Este material ofrece numerosas ventajas: es natural, sólido, aislante, regular, incombustible, fácil de trabajar, estable, químicamente inerte, imputrescible y económico. [3] Debido a estas ventajas se lo puede emplear de forma extendida en otros campos como jardinería, aislamiento térmico, la decoración, como cultivo hidropónico, el paisajismo, el compostaje, la acuarofilia, la descontaminación, etc.

El uso de la arcilla expandida (Arlita) como árido de hormigón puede permitir reducciones de peso de hasta un 35%, el comportamiento térmico puede mejorar junto con la resistencia frente al fuego. Dada su baja conductividad de menos de un 50% frente a un hormigón convencional, se los consideran ideales en la protección de estructuras a altas y bajas temperaturas.

En el mercado ecuatoriano en la actualidad existen varios productos que poseen propiedades de alivianamiento entre ellos se encuentra el ya mencionado poliestireno expandido que es un material plástico y espumado uno de los usos más comunes en nuestro país son para las losas de bovedillas y para paneles los cuales son empleados en reemplazo de bloques de mampostería en paredes. Otro producto existente es la piedra pómez la cual se encuentra en los llamados bloques de pómez, también los desechos vegetales, la fibra de coco y la cascarilla de arroz, estos últimos no son de gran aplicación en el Ecuador.

Existen documentaciones y referencias favorables que demuestran a la arcilla expandida como un material prometedor constituyente para la elaboración de hormigón.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con el gran desarrollo que ha tenido la industria de la construcción, hoy en día existe en el mercado una gran variedad de hormigones destinados a mejorar la calidad, productividad y disminuir costos en las obras construidas con este material. Es frecuente el uso de materiales como la piedra pómez, el poliestireno, las escorias y arcillas expandidas para obtener hormigones livianos de alta resistencia ya que en el campo de las obras civiles el peso de las estructuras ha sido siempre un factor muy influyente tanto en el diseño como en la construcción. [4]

Debido a que la arcilla expandida es un agregado duro, redondeado de alta porosidad, con pesos específicos que pueden variar entre 270 y 600 kg/m³. [5] al utilizarlo en sustitución parcial del agregado grueso pueden alivianar al hormigón y darle mejores comportamientos térmicos, encaminándonos a obtener iguales o mejores resistencias que un hormigón convencional, que garanticen adecuadas propiedades mecánicas y, sobre todo, seguridad. Pudiendo cumplir con las resistencias mínimas a la compresión a los 28 días de edad según especificaciones ACI-318 [6]

En Ecuador debido a la falta de investigación e información se ha producido de forma industrial el hormigón liviano en obras civiles. [4] Al utilizar este hormigón elaborado con agregados de arcilla expandida y debido a sus propiedades se espera reducir su densidad para poder considerarlo como un hormigón con características de liviano, haciendo de este una alternativa interesante como material de construcción.

Esta investigación tiene como propósito estudiar el uso de este material en el hormigón, y sus características que pueden ser ideales para la aplicabilidad en la construcción, originando así información de vital importancia tanto para estudiantes como a profesionales ya que en la actualidad en nuestro país existe escasa información acerca de este material.

Finalmente, el desarrollo del proyecto es factible ya que existen fuentes bibliográficas y herramientas necesarias para sus respectivos análisis con lo que se conseguirá datos experimentales confiables.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la variación de la resistencia del hormigón con la adición de diferentes porcentajes de arcilla expandida.
- Determinar la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad del hormigón elaborado con arcilla expandida.
- Comparar la variación de los resultados ensayados del hormigón de resistencia a compresión 210kg/cm^2 , con la incorporación de diferentes porcentajes de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para desarrollar este tema requerimos conceptos acerca del hormigón, componentes, propiedades y conceptos sobre arcilla expandida con sus respectivas características.

2.1.1 Hormigón

El hormigón o concreto es el material que resulta de la mezcla de cemento u otro conglomerante con áridos ya sean grava, gravilla y arena además de agua.

El hormigón y sus propiedades dependen en general de la calidad y de las proporciones de los componentes que van en la mezcla, como también de las condiciones de humedad y temperatura durante el proceso de fabricación y fraguado.

Para conseguir propiedades especiales del hormigón como mejor trabajabilidad, mayor resistencia, baja densidad etc. se pueden añadir otros componentes como aditivos químicos, micro sílice, limallas de hierro, etc., o se pueden reemplazar sus componentes básicos por componentes con características especiales como agregados livianos, agregados pesados, cementos de fraguado lento, etc. [7]

El hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado. [7]

2.1.1.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

Se denomina hormigón fresco al que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en

que abandona la amasadora u hormigonera y aquel en que se inicia el fraguado del cemento, esta vida es variable en función del tipo de cemento que se va a emplear, de la dosificación del agua, temperatura, empleo de aditivos, etc.

Sus principales propiedades son:

Consistencia

Es la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones, siendo por tanto, una propiedad física inherente al propio hormigón. La consistencia depende fundamentalmente de:

Agua de amasado.

Tamaño máximo del árido.

Granulometría.

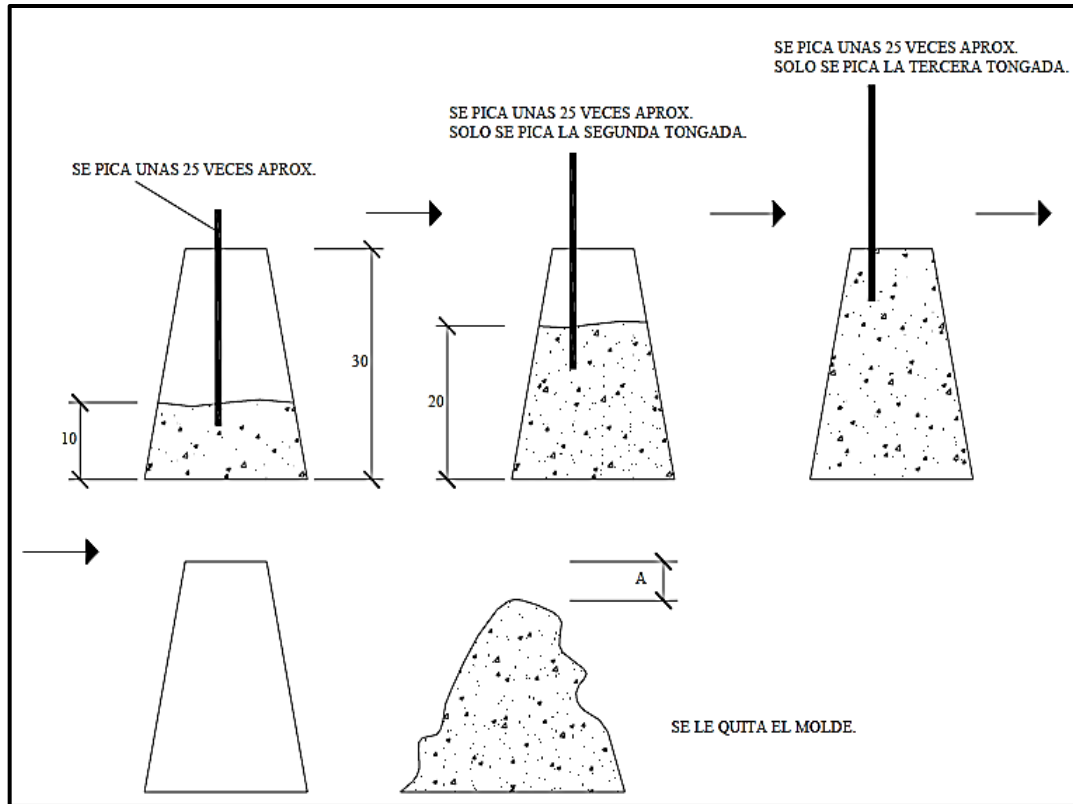
Forma de los áridos

La medida de la consistencia de un hormigón fresco puede realizarse por diversos métodos, siendo el más universal el empleo del cono de Abrams. Es un molde troncocónico metálico de 30 cm de altura y de 10 y 20 cm de diámetro inferior y superior respectivamente. Se llena de hormigón, se compacta con una barra de acero de 16, se enraza superiormente y se retira el molde, midiendo el descenso de la superficie superior del hormigón. [8]

Según el descenso o asiento se obtiene las siguientes consistencias.

| <i>Asentamiento (cm)</i> | <i>Consistencia</i> |
|---------------------------------|----------------------------|
| 0-2 | Seca |
| 3-5 | Plástica |
| 6-9 | Blanda |
| 10-15 | Fluida |

Gráfico 1. Metodo del Cono de Abrams



Fuente: [www.construmatica.com /construpedia/Cono_de_Abrams](http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams)

Densidad

La densidad es un factor muy importante que se debe tener en cuenta para la uniformidad del hormigón, debido a que el peso varía según la granulometría, la humedad, el agua de amasado y modificaciones del asentamiento.

Homogeneidad

Es la capacidad que tienen los componentes del hormigón para ser distribuidos regularmente en la masa, es decir tendrá una homogeneidad buena cuando los componentes se encuentren perfectamente distribuidos y en proporciones iguales a lo largo de la masa, se lo puede determinar de una manera visual.

Trabajabilidad

Es la facilidad que tiene la mezcla para poder mezclarse, manejarse, transportarse y compactarse con la mínima pérdida de homogeneidad, a mayor facilidad mejor será la trabajabilidad, se puede determinar mediante el proceso de elaboración de la mezcla de hormigón.

2.1.1.2 PROPIEDADES HORMIGÓN ENDURECIDO

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de las características y proporciones de los materiales que lo componen y de las condiciones ambientales a las que se encuentre expuesto.

Entre estas propiedades tenemos:

Densidad

Es la cantidad de peso por la unidad de volumen:

$$\text{Densidad} = \text{Peso} / \text{Volumen}$$

Tabla 1. Densidades del hormigón

| Tipos de Hormigón | | Densidades |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Hormigones ligeros</i> | | De 200 a 1500 kg/m ³ |
| <i>Hormigón ordinario:</i> | <i>Apisonados</i> | De 2000 a 2200 kg/m ³ |
| | <i>Vibrados</i> | De 2300 a 2400 kg/m ³ |
| | <i>Centrifugados</i> | De 2400 a 2500 kg/m ³ |
| | <i>Proyectados</i> | De 2500 a 2600 kg/m ³ |
| <i>Hormigones pesados</i> | | Hasta 4000 kg/m ³ |

Fuente: www.construmatica.com

Resistencia Mecánica

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas solicitadas sin romperse o agrietarse. Varían según el tipo de esfuerzos a los que este sometido, la resistencia a la compresión habitualmente es diez veces mayor que su resistencia a la tracción. Debido a

su baja resistencia a la tracción se incorporan barras de hierro o acero al hormigón para conformar el hormigón armado.

Para la resistencia a compresión en el presente estudio se tomará como patrón la resistencia a la edad de 28 días.

Porosidad

La porosidad es considerada de acuerdo a la proporción de huecos respecto a la masa total, esto influye en la resistencia, densidad y permeabilidad del hormigón.

2.1.2 MATERIALES CEMENTANTES

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas. [9]

También como materiales cementantes se encuentran los empleados con menos frecuencia como son la cal, los asfaltos y los alquitranes.

Para fabricar hormigón estructural se utilizan únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Entre los diferentes cementos hidráulicos destaca, por su uso extendido, el cemento Portland, existiendo además los cementos naturales y los cementos con altos contenidos de alúmina. [9]

El cemento Portland es un polvo muy fino, de color grisáceo, que se compone principalmente de silicatos de calcio y de aluminio, que provienen de la combinación de calizas, arcillas o pizarras, y yeso, mediante procesos especiales. El color parecido a las piedras de la región de Portland, en Inglaterra, dio origen a su nombre. [9]

El proceso de manufactura del cemento consiste, esencialmente, en la trituración de los materiales crudos (calizas y arcillas); su mezcla en proporciones apropiadas; y su

calcinación a una temperatura aproximada de 1400°C, dentro de un cilindro rotativo, lo que provoca una fusión parcial del material, conformándose bolas del producto llamadas clinker. El clinker es enfriado y luego es molido junto con el yeso hasta convertirlo en un polvo fino llamado cemento Portland. [9]

Los tipos de cemento Portland son:

- **Tipo I:** Se lo conoce como cemento Portland ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Se lo utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, y si en el suelo o en el agua del subsuelo. Dentro de este tipo se tiene al cemento Tipo IA con aditivo incorporador de aire, Tipo IE que contiene alrededor del 20% de puzolana, y el Tipo IP con un 40% de puzolana. [10]
- **Tipo II:** Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc. [10]
- **Tipo III:** Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción. [10]
- **Tipo IV:** Son los cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado. [10]

- **Tipo V:** Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto. [10]

En el presente trabajo se empleó el hormigón Tipo I debido a que es el cemento Portland ordinario de uso general, el cual se lo utiliza en la elaboración de hormigones que estarán expuestos al suelo o al aguaje.

2.1.3 ÁRIDOS (AGREGADOS)

Los áridos o agregados son materiales granulares como: arena, grava, piedra triturada o escoria, que se usa con un cementante para elaborar hormigón, generalmente ocupan unas tres cuartas partes del volumen total de los hormigones estructurales, el volumen restante esta compuesto por la pasta de cemento, agua y burbujas de aire.

Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de esos tamaños de grano) de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los áridos sean adecuadas y que los áridos estén libres de impurezas. [7]

Los áridos naturales se clasifican en finos y gruesos.

Árido fino

Los áridos finos denominados como arenas son aquellos que pasan por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μ m (No. 200).

Árido grueso

Los áridos gruesos conocidos como grava son aquellos en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o también definido como las partículas mayores de 4.75mm.

Los áridos gruesos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los áridos con superficie redondeada tienen menor adherencia). [7]

2.1.3.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Entre las principales propiedades que deben cumplir los agregados están:

Granulometría.

Tamaño Nominal Máximo (TNM) del agregado grueso.

Módulo de Finura (MF) del agregado fino.

Densidad aparente suelta y compacta de los agregados

Densidad real y capacidad de absorción y humedad de los agregados.

2.1.3.2 GRANULOMETRÍA

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La norma NTE INEN 696 establece el procedimiento para su determinación mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. NTE INEN 1762. [11]

2.1.3.3 GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

Tabla 2. Límites de porcentaje que pasa el agregado grueso

| Tamaño de la malla | | Límites ASTM que pasa |
|--------------------|------|-----------------------|
| Nº de tamiz | [mm] | [%] |
| 2" | 50.8 | 100 |
| 1 1/2" | 38.1 | 95 - 100 |
| 1" | 25.4 | - |
| 3/4" | 19.1 | 35 - 70 |
| 1/2" | 12.7 | - |
| 3/8" | 9.52 | 10 - 30 |
| #4 | 4.76 | 0 - 5 |
| Bandeja | - | - |

Fuente: ASTM E-11

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO AGREGADO GRUESO

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm. [12]

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- 1/5 de la dimensión mas pequeña del miembro de concreto.
- 3/4 del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 1/3 del peralte de las losas.

2.1.3.4 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

Tabla 3. Límites de porcentaje que pasa el agregado fino

| Tamaño de la malla | | Límites ASTM que pasa |
|--------------------|-------|-----------------------|
| Nº de tamiz | [mm] | [%] |
| 3/8" | 9,5 | 100 |
| #4 | 4,76 | 95 - 100 |
| #8 | 2,36 | 80 - 100 |
| #16 | 1,18 | 50 - 85 |
| #30 | 0,6 | 25 - 60 |
| #50 | 0,3 | 10 - 30 |
| #100 | 0,15 | 2 - 10 |
| #200 | 0,074 | - |
| Bandeja | - | - |

Fuente: ASTM E-11

MÓDULO DE FINURA AGREGADO FINO

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado.

Con el módulo de finura del agregado fino se pueden valorar las proporciones en las mezclas de hormigón de los agregados finos y gruesos.

DENSIDAD DE LOS AGREGADOS

Densidad Absoluta

La densidad absoluta de los agregados es la relación entre el peso de la masa del material con el volumen que ocupa solamente la masa sólida, ósea que se excluye los poros saturables como no saturables.

Densidad Nominal

La densidad nominal es la relación entre el peso de la masa del material con el volumen que ocupa las partículas del material, incluido los poros no saturables.

Densidad Aparente

La densidad aparente es la relación entre el peso de la masa del material con el volumen que ocupa las partículas del material, incluido los poros saturables y no saturables. Cuando la masa del agregado se determina con el material seco entonces se tiene una densidad aparente seca, en cambio si la masa del agregado se determina con el material saturado y superficialmente seco, se tiene una densidad aparente saturada.

2.1.4 ABSORCIÓN Y HUMEDAD

La absorción en los agregados es el incremento de la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como seco cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente

tiempo para remover toda el agua no combinada. Se denomina humedad al agua que impregna un cuerpo o al vapor presente en la atmosfera. La estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros o huecos los cuales pueden contener agua o no. [13] Generalmente las condiciones de humedad en que se pueda encontrar un agregado serán:

Seco:

Ningún poro con agua.

Húmedo no saturado:

Algunos de los poros permeables con agua.

Saturado y superficialmente seco (S.S.S.):

Todos los poros permeables llenos de agua y el material seco en la superficie.

Saturado y superficialmente húmedo (S.S.H.):

Todos los poros contienen agua y además superficialmente húmedo.

2.1.5 AGUA DE MEZCLADO

El agua a ser utilizada debe ser en lo posible potable o libre de impurezas, no debe utilizarse agua de mar debido a que por su sanidad afecta al acero en el hormigón armado y preesforzado.

El agua de mezclado es el agua que se agrega para la elaboración del hormigón la que tiene como función reaccionar con el cemento produciendo su hidratación, actuar como un lubricante contribuyendo a la trabajabilidad y asegurar el espacio necesario en la pasta para el desarrollo de los productos de hidratación.

2.1.5.1 AGUA DE CURADO

El agua de curado es el agua adicional que necesita el concreto una vez que esta endurecido con el fin de que alcance los niveles de resistencia solicitados del hormigón.

2.1.5.2 RELACIÓN AGUA CEMENTO

La relación agua/cemento también conocida como a/c, es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del hormigón, es la proporción que se utiliza para obtener diferentes mezclas ya sea para morteros u hormigones.

Mientras mayor sea la dosis de agua el concreto será más trabajable, pero esto disminuye su resistencia y durabilidad.

Mientras menor sea la dosis de agua conduce a la mayor resistencia y durabilidad, pero esto puede hacer la mezcla más difícil de manejar.

La relación agua/cemento expresa la relación del peso del agua y el peso del cemento utilizado en una mezcla de hormigón.

Tabla N°4. Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón

| f`c a los 28 días de edad (kg/cm²) | A/C |
|--|------------|
| 450 | 0.37 |
| 420 | 0.40 |
| 400 | 0.42 |
| 350 | 0.47 |
| 320 | 0.51 |
| 300 | 0.52 |
| 280 | 0.53 |
| 250 | 0.56 |
| 240 | 0.57 |
| 210 | 0.58 |
| 180 | 0.62 |
| 150 | 0.70 |

Fuente: S. Medina. Ensayo de Materiales II. Ambato, Ecuador

CURADO

Es la acción adoptada para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementante recién colocada, permitiendo así la hidratación del cemento hidráulico y las reacciones puzolánicas que se produzcan de manera que puedan desarrollarse las propiedades potenciales de la mezcla.

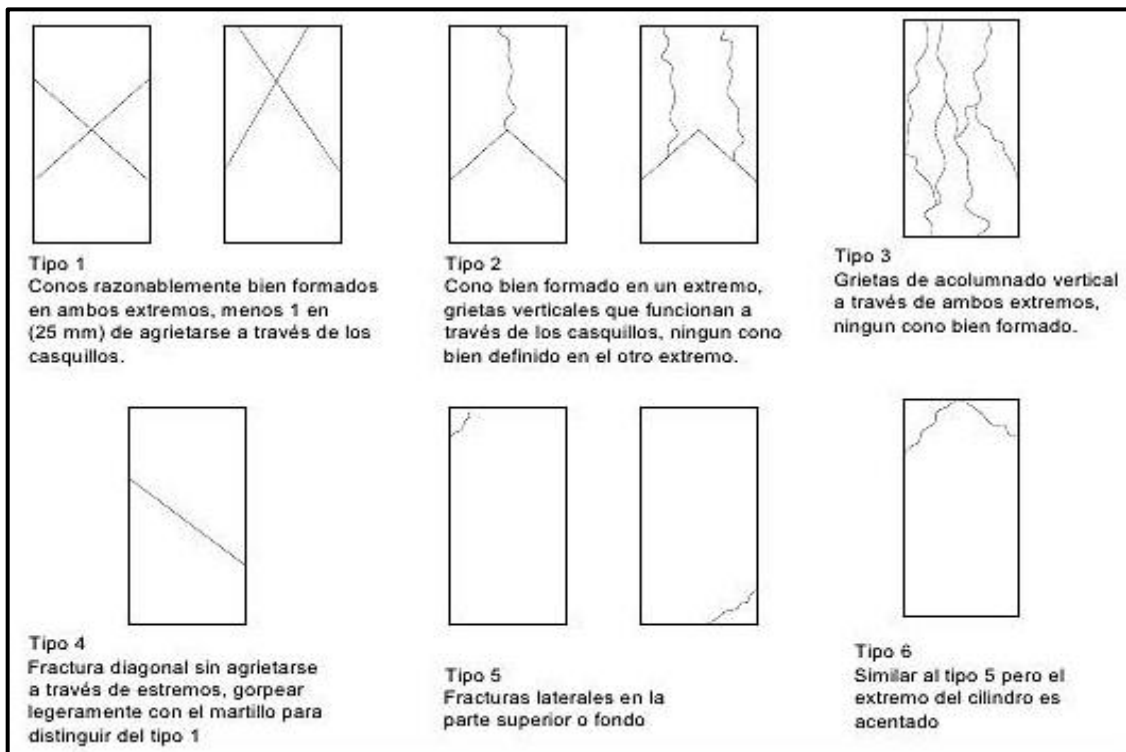
FRAGUADO

Es el momento en que la pasta, que es una suspensión visco elástica - plástica con una pequeña resistencia al corte, pasa a ser un sólido visco elástico - plástico con una mayor resistencia al corte; es decir, es el momento en que la mezcla deja de ser trabajable. El fin de fraguado corresponde al momento en que comienza el endurecimiento, el final del fraguado ocurrirá algo antes de que se produzca el máximo en la velocidad de desprendimiento de calor. [14]

2.1.6 FALLAS DE LOS HORMIGONES ENSAYADOS A COMPRESIÓN

Los tipos de Fallas en los hormigones generalmente dependen de varias cosas como la mala adherencia entre los materiales, la mala compactación, la segregación por compactación, el manejo poco cuidadoso, o por los vacíos internos.

Gráfico 2. Tipos de fallas en probetas de hormigón



Fuente: NTE INEN 1573

2.1.6.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión del hormigón es la medida de desempeño que se emplea para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a compresión se mide probando con probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos, esta resistencia se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga, y se obtiene en mega pascales MPa, en unidades del Sistema Internacional. Los límites para la resistencia del hormigón de aplicación general debe tener una resistencia mínima de 17MPa, para pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales se especifica resistencias mínimas de 21MPa y máximas de 35MPa.[15] ACI 318 14.

Con los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se determinará que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$ del proyecto.

Para los ensayos de aceptación y control de calidad, los cilindros se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos, en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 [16] “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”. Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayos de acuerdo a la norma ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”. [17]

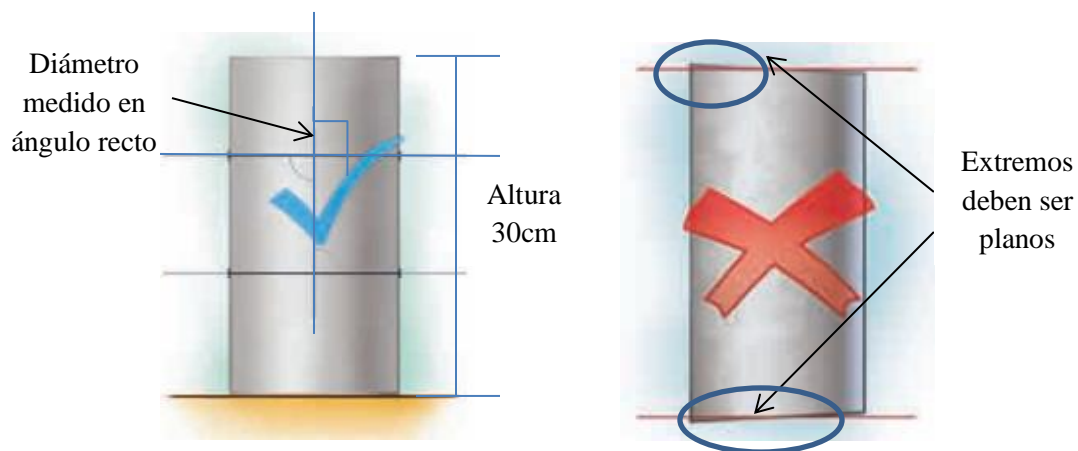
Los resultados de prueba son el promedio de mínimo dos pruebas de resistencia, las cuales serán curadas de manera estándar o convencional, elaboradas con la misma muestra de concreto, y sometidas a ensayos a la misma edad. Los ensayos a compresión en la mayoría de los casos se realizan a los 28 días de edad.

PARÁMETROS PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO

- Como requisito los cilindros de hormigón para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas es decir (150mm x 300 mm).

- El diámetro del cilindro a utilizar debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso empleado para el concreto.
- Se recomienda tomar el diámetro del cilindro en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta como se muestra en el gráfico 3.
- Los extremos de las probetas no deben presentar desviaciones con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más de un 0.5% y los extremos deben estar planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas (0.05 mm). [15] Gráfico 4.

Gráfico 3 y 4. Parametros para cilindros de hormigón



Fuente: www.imcyc.com

- Los cilindros deben estar centrados en la máquina de ensayo de compresión y estos ser cargados hasta que se complete la ruptura.
- La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta de hormigón para producir la fractura entre el área promedio de la sección. Norma ASTM C 39. [17]
- El rango entre los cilindros del mismo conjunto ensayados a la misma edad deberán ser en promedio aproximadamente de 2 a 3% de la resistencia promedio.
- Se recomienda que los técnicos del laboratorio que participen en los ensayos del concreto sean certificados. Norma ASTM C 1077. [18]

2.1.7 ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)

La Arcilla expandida producida por empresa Weber se llama Arlita Leca (que son las siglas inglesas de Light Expanded Clay Aggregate) y como el símbolo ® indica, es una marca registrada. La amplia experiencia internacional en la producción de arcilla expandida, ha permitido que Arlita Leca sea la marca de referencia en el sector de la construcción, gracias a la calidad del producto e innovación en nuevas aplicaciones.

Gráfico 5. Arcilla expandida



Fuente: Stuart Díaz López

La arcilla expandida, es un material de origen cerámico con una estructura altamente porosa, obtenida a través de su expansión a altas temperaturas de arcillas naturales especiales, con una granulometría que oscila entre los 5mm y 20mm.

Aporta una gran ligereza debido al gran número de poros que se encuentran en el interior, pueden obtener una ligereza de hasta 300 kg/m^3 ; además de un poder aislante $\lambda=0,09 \text{ W/mK}$. La arcilla expandida logra altas resistencias de hasta 12 N/mm gracias a su corteza rígida clinquerizada a 1200°C que envuelve los granos de arcilla, optimizando la relación entre el peso y la resistencia. La arcilla expandida no contiene materia orgánica o alguno de sus derivados, por lo que es incombustible, resistente al fuego y segura en caso de incendios. [19]

Debido a que no la atacan parásitos como hongos, terminas, etc. es imputrescible, además de que no se degrada con el paso del tiempo. Es indeformable y tiene una buena

resistencia a los ácidos, bases y disolventes, conservando su carácter hasta en ambientes agresivos. No se transgrede en exposición al hielo, y mantiene sus propiedades aislantes durante todo el tiempo. El origen natural del producto y su proceso de fabricación cuidadoso con el medio ambiente. [19]

2.1.7.1 FABRICACION DE LA ARCILLA EXPANDIDA

La fabricación de la arcilla expandida empieza a partir de arcilla pura extraída de canteras, la cual se expande a temperaturas de aproximadamente 1200°C, por medio de un desprendimiento gaseoso en medio de la masa arcillosa plástica, la cual provoca unas micro burbujas de gas. Los gránulos de arcilla expandida obtenidos a partir de este proceso, tienen una cubierta vitrificada, haciéndolos muy duros y muy ligeros a la vez, con una masa volumétrica de entre aproximadamente 300 a 630 kg/m³. [3]

Desde que aparecieron los primeros hornos para cocción y expansión, la técnica para expandir no ha cambiado muy significativamente, debido a que su fabricación actualmente se lo realiza por medio del calentamiento a altas temperaturas en hornos rotativos. La energía calorífica requerida se obtiene por medio de la combustión ya sea de fuel o gas. [3]

Weber proveedor y distribuidor de arcilla expandida. Proceso de fabricación:

La empresa Weber se encarga de varios procesos de fabricación para la obtención de los gránulos ligeros de arcilla expandida entre los cuales están:

1. Preparación de desbaste de la arcilla pura en condiciones técnicas precisas y controladas (trituration, laminado, humidificación) con objeto de confeccionar gránulos.
2. Proceso de secado y almacenamiento de los gránulos.
3. Cocción de los gránulos dentro de un primer horno rotativo.
4. Transferencia de los gránulos de arcilla cocidos dentro de un segundo horno rotativo llevado a 1200°C y cuidadosamente regulado, en medio de la masa arcillosa que se habrá vuelto plástica por la alta temperatura, un desprendimiento gaseoso provoca el alveolado, y por consiguiente la expansión de los gránulos arcillosos, logrando alcanzar hasta 5 veces su tamaño original.

5. Por último se realiza el proceso enfriamiento transfiriéndolos a un túnel de enfriamiento.

Gráfico 6. Proceso de fabricación industrial de la Arcilla Expandida



Fuente: WEBER, Proveedor de arcilla expandida.

Estos gránulos que obtienen una forma ligeramente esférica, son cribados para posteriormente ser distribuidos en cajas de almacenamiento, con el fin de evitar suciedades o mezclas de diferentes especificaciones.

Debido al proceso de expansión de la arcilla, se produce una elevación de la misma a altas temperaturas, lo que provoca desprendimientos gaseosos haciendo que aparezcan poros milimétricos en el interior.

Los desprendimientos gaseosos producen reacciones químicas como:

- Descomposición de minerales (sulfatos, sulfuros, etc.)
- Combustión de materias orgánicas (carbono, añadidos hidrocarbonados, etc.)
- Reacciones de óxido.
- Reducción entre estas materias orgánicas y los óxidos de hierro. [3]

2.1.7.2 PROPIEDADES DE LA ARCILLA EXPANDIDA

Ligereza

- La arcilla expandida posee ligereza por ser un material inerte, ligero con una estructura interna de celdas y su cubierta dura, lo que optimiza la relación peso resistencia.

Resistencia mecánica

- La arcilla expandida tiene una excelente resistencia mecánica debido a una cubierta exterior compacta e indeformable.

Aislamiento térmico

- La arcilla expandida es aislante y no se deteriora con el tiempo, puede ser empleado para aplicaciones de aislamiento térmico, debido a su bajo valor de conductividad térmica λ que va desde 0,09 W/mK. [20]

Incombustibilidad

- La arcilla expandida es un producto mineral incombustible, con clasificación Euroclase A1 de reacción al fuego. Esta no genera gases ni humos tóxicos gracias a que se clinkeriza a 1200 ° C. Puede ser utilizada como materia prima para materiales resistentes al fuego y refractarios. [20]

Absorción Acústica

- Posee esta propiedad gracias a su estructura celular y porosa, la cual garantiza una buena absorción de ruidos. Con la arcilla expandida se fabrican paneles fonoaislantes y fonoabsorbentes. [20]

Inalterabilidad y durabilidad

- Debido a que la arcilla expandida no contiene materiales orgánicos ni sus derivados, es imputrescible y no se degrada con el tiempo, incluso en malas condiciones de temperatura o humedad. Es resistente a los materiales básicos, ácidos,

y disolventes manteniendo inalterables sus características. Ante las acciones del hielo no se rompe ni se empapa.

Natural y Ecológico

- La arcilla expandida es libre de contener o emitir sílice, materiales fibrosos, gas radón u otros productos nocivos lo que lo convierte en un producto natural y ecológico certificado por el Instituto de Bioarquitectura Anab-Icea. [20]

2.1.7.3 APLICACIONES

Las arcillas expandidas pueden aplicarse en diferentes ámbitos:

- Son muy utilizados para la jardinería, en cultivos hidropónicos, debido a sus poros y la capacidad que tiene de almacenar agua. En el Ecuador este es el único uso que se le da a la arcilla expandida.

- Debido a su ligereza pueden ser utilizados para el relleno de suelos sobre estructuras subterráneas, como relleno para instalaciones de tuberías, reduciendo las presiones y la carga sobre las mismas.

- En la construcción puede ser aplicado para la elaboración de bloques prefabricados alivianados, debido a que tienen una menor densidad, reduciendo su peso, además de tener propiedades aislantes térmicas y acústicas.

- Pueden ser utilizados en dispersiones para evitar el hielo en carreteras (alternativa ecológica al salado)

- Por su porosidad se puede aplicar para el tratamiento de aguas.

- Aplicable para la elaboración de hormigones debido a su resistencia y ligereza pudiendo reducir la carga sobre las estructuras, pudiendo aumentar longitudes en elementos estructurales.

2.2. HIPÓTESIS

El hormigón con árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso influye en la resistencia a la compresión.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.3.1. Variable independiente

El hormigón con árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso.

2.3.2. Variable dependiente

Resistencia a la compresión.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Es de laboratorio debido a que la investigación requiere de la utilización del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil, para realizar probetas de hormigón con arcilla expandida en diferentes porcentajes, y posteriormente ser ensayadas, además de la realización de ensayos de los materiales para obtener sus propiedades, y garantizar que estos cumplan con las respectivas especificaciones.

3.1.2 INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Es una investigación exploratoria porque se va a experimentar con un hormigón nuevo utilizando árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso, determinando su influencia en la resistencia del hormigón con los diferentes porcentajes utilizados, con el propósito de obtener información vital la cual será valiosa para futuras investigaciones.

3.1.3 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Es descriptiva ya que por medio de esta investigación se va a analizar los resultados obtenidos, de esta manera se obtendrá una representación sobre los mismos, para posteriormente contar con información que podrá ser utilizada de una manera segura.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Al ser ésta una investigación experimental con la realización de probetas de hormigón simple, no se puede determinar la población existente para la misma.

Para la muestra se va a tomar mínimo 3 probetas de hormigón según la norma ASTM C31 cada una realizada con diferentes porcentajes de arcilla expandida, obteniendo un total de 45 muestras, mismas que serán ensayadas a las edades de 7, 14 y 28 días, lo que permitirá determinar la influencia que tendrán en la resistencia a compresión de las muestras.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

El hormigón con árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso.

| Concepto | Dimensión | Indicador | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|-------------------|-----------------------------|--|--|
| Es un hormigón simple elaborado con agua, cemento, arena, ripio y árido de arcilla expandida en porcentajes de un 5 al 30% con el fin de sustituir al agregado grueso y estudiar la influencia en la resistencia a la compresión | Hormigón | Resistencia a la compresión | ¿Qué puede afectar a la resistencia del hormigón? | Investigación de laboratorio. Investigación bibliográfica. Normas. |
| | Arcilla Expandida | Características | ¿Qué características posee la arcilla expandida y cómo influyen en la resistencia? | Investigación bibliográfica y experimental. |
| | | Cantidad | ¿Qué porcentaje es adecuado para lograr una resistencia óptima en el hormigón? | Investigación de laboratorio. Análisis de resultados. |

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Resistencia a la compresión.

| Concepto | Dimensión | Indicador | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|----------------------|---------------------------------------|---|---|
| La resistencia a la compresión es la medida de desempeño que se emplea para diseñar el hormigón, se mide probando con muestras cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos hasta llegar a su falla o rotura. | Ensayo de materiales | Propiedades físicas de los materiales | ¿Qué ensayos se deben realizar? | Investigación de laboratorio. Investigación bibliográfica. Normas |
| | Ensayo de compresión | Resistencia a compresión | ¿Qué equipo y con qué cargas se deben ensayar las muestras de hormigón? | Investigación de laboratorio. Normas INEN ASTM |

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

| Preguntas Básicas | Explicación |
|--------------------------|--|
| 1. ¿Para qué? | Para analizar la resistencia a compresión del hormigón con la utilización de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso. |
| 2. ¿A qué? | A probetas cilíndricas de hormigón simple. |
| 3. ¿Sobre qué aspectos? | Para determinar la resistencia a la compresión del hormigón común y el hormigón adicionado arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso. |
| 4. ¿Quién? | Stuart Díaz López |
| 5. ¿Cuándo? | Entre Julio 2016 a Diciembre 2016 |
| 6. ¿Dónde? | Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. |
| 7. ¿Cómo? | Mediante normas INEN, ASTM. Pruebas y ensayos de laboratorio. |

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

- Determinar la granulometría del agregado fino y grueso para comprobar si se encuentra dentro de los límites permisibles por la norma.

- Determinar el peso unitario suelto, peso unitario compactado y peso específico de los agregados a utilizar.
- Determinar la densidad real de los agregados y capacidad de absorción para verificar si son materiales aptos para la elaboración del hormigón.
- Con sus densidades determinar la dosificación con la q se va a realizar las probetas de hormigón.
- Determinar la cantidad de agua según la resistencia con la que se va a trabajar.
- Verificar que la dosificación sea la adecuada para realizar los cilindros o probetas.
- Realizar las probetas de hormigón con los diferentes porcentajes de arcilla expandida e identificar cada una de ellas.
- Dejar reposar en el cuarto de curado durante 7, 14 y 28 días de edad para realizar los respectivos ensayos a compresión.
- Retirar las probetas de hormigón de la cámara de curado en los días especificados, se recomienda retirar una hora antes para realizar sus ensayos.
- Realizar los ensayos de la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón normal y hormigón con sus diferentes porcentajes de arcilla expandida a los 7, 14 y 28 días de edad.
- Recolectar los datos obtenidos.
- Representar la información obtenida en tablas para su análisis posterior.
- Analizar y elaborar un cuadro de resultados con las respectivas representaciones gráficas.
- Verificar la hipótesis mediante estudios estadísticos de los resultados.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Realizar los ensayos de laboratorio del cemento, arena, ripio procedentes de la cantera Alvarado, con el fin de verificar si los materiales son los adecuados y cumplen con los requerimientos según las normas para la realización de este estudio.



Ensayos de los Agregados

1. Granulometría del agregado fino.
2. Granulometría del agregado grueso.
3. Granulometría de la arcilla expandida.
4. Densidad aparente suelta de los agregados.
5. Densidad aparente compactada de los agregados.
6. Densidad aparente compactada de la mezcla.
7. Densidad real del cemento.
8. Densidad real y capacidad de absorción de los agregados.

4.1.1 Granulometría del agregado fino

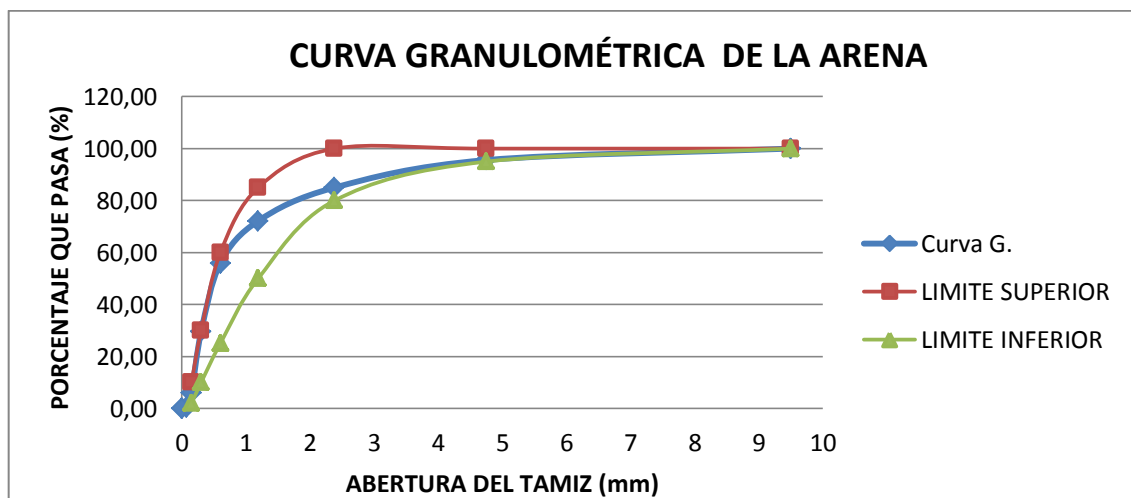
Se procede a realizar el análisis granulométrico de la arena pasándola por medio de los tamices especificados por la norma INEN 696 [21], para verificar que la misma esté comprendida dentro de los límites ASTM C33. [22]

Tabla N°5. Granulometría agregado fino

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | |
|--|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|--------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO | | | | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | | | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | | | | |
| Fecha : | 10 de Agosto de 2016 | | | | | |
| Norma: | INEN 696 | | | | | |
| Masa: | 751,1 kg | | | | | |
| Tamiz | Abertura | Retenido Parcial | Retenido Acumulado | % Retenido Acumulado | % Que pasa | Limites % ASTM C33 |
| pl | mm | gr | gr | | | |
| 3/8" | 9,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 |
| # 4 | 4,75 | 32,80 | 32,80 | 4,40 | 95,60 | 95-100 |
| # 8 | 2,38 | 79,00 | 111,80 | 15,00 | 85,00 | 80-100 |
| # 16 | 1,19 | 95,70 | 207,50 | 27,85 | 72,15 | 50-85 |
| # 30 | 0,6 | 120,80 | 328,30 | 44,06 | 55,94 | 25-60 |
| # 50 | 0,3 | 196,70 | 525,00 | 70,46 | 29,54 | 10-30 |
| # 100 | 0,149 | 175,00 | 700,00 | 93,95 | 6,05 | 2-10 |
| # 200 | 0,075 | 41,60 | 741,60 | 99,53 | 0,47 | - |
| Fuente | | 3,50 | 745,10 | 100,00 | 0,00 | - |
| Módulo de Finura = | | 2,56 | Ok | | | |

Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 7. Curva granulométrica de la arena





Fuente: Stuart Díaz López

4.1.2 Granulometría del agregado grueso

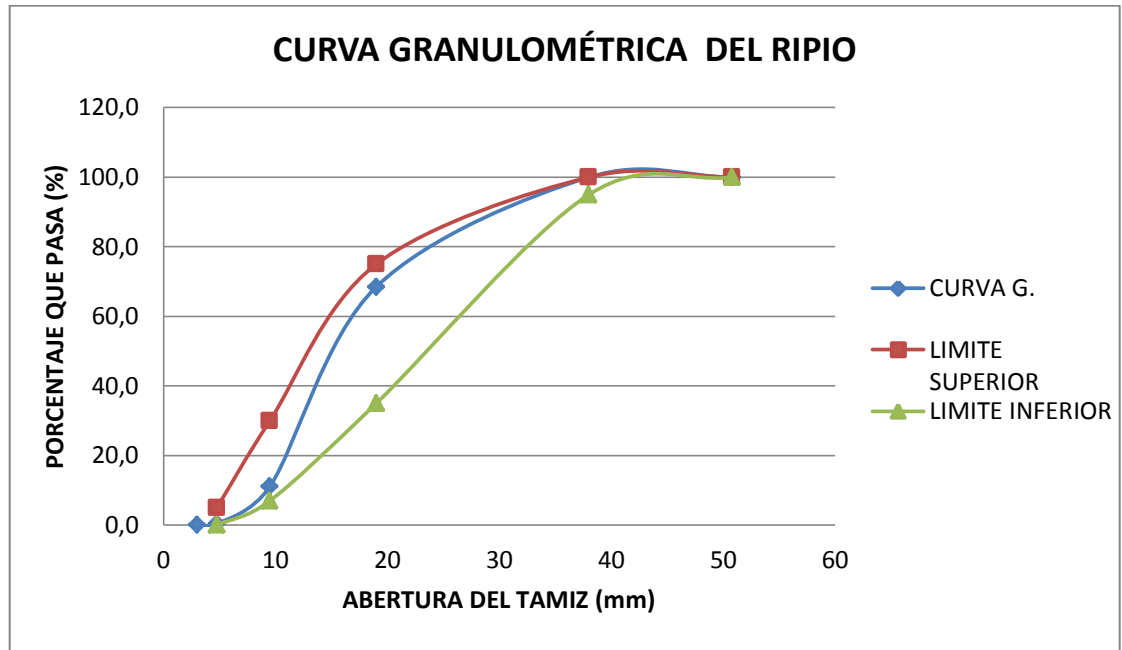
Al igual que el agregado fino, se procede a realizar el análisis granulométrico del ripio pasándolo por medio de los tamices especificados por la norma INEN 696 para verificar que esté comprendido dentro de los límites ASTM C33.

Tabla N°6. Granulometría agregado grueso

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | |
|--|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|--------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| <i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO</i> | | | | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | | | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | | | | |
| Fecha : | 10 de Agosto de 2016 | | | | | |
| Norma: | INEN 696 | | | | | |
| Masa: | 7000 kg | | | | | |
| Tamiz | Abertura | Retenido Parcial | Retenido Acumulado | % Retenido Acumulado | % Que pasa | Limites % ASTM C33 |
| pl | mm | gr | gr | | | |
| 2" | 50,8 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 100,0 | 100 |
| 1 1/2" | 38 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 100,0 | 95-100 |
| 1" | 25,4 | 415,0 | 415,0 | 5,94 | 94,1 | |
| 3/4" | 19 | 1786,0 | 2201,0 | 31,51 | 68,5 | 35-70 |
| 1/2" | 12,5 | 2690,0 | 4891,0 | 70,03 | 30,0 | |
| 3/8" | 9,5 | 1317,0 | 6208,0 | 88,89 | 11,1 | 10-30 |
| # 4 | 4,76 | 750,0 | 6958,0 | 99,63 | 0,4 | 0-5 |
| Fuente | | 26,0 | 6984,0 | 100 | 0,0 | |
| TNM = | | 1" ≤ 1" ≤ 2" | | | | |

Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 8. Curva granulométrica del ripio



Fuente: Stuart Díaz López



Interpretación:

El ensayo granulométrico al agregado grueso de la Cantera Alvarado presenta una curva dentro de los límites dados por la norma ASTM-C33, cuyo tamaño nominal máximo (TNM) corresponde a 1” , estando dentro del rango para ser un material apto para elaboración de hormigón. El tamaño nominal máximo debe estar entre los tamices $1'' \leq \text{TNM} \leq 2''$.

4.1.3 Densidad aparente suelta de los agregados

Se procede a llenar un molde con una masa y volumen determinados, llenar con cada uno de los materiales hasta el borde del molde sin compactar, posteriormente enrasar y pesar para obtener la densidad de los mismos dividiendo la masa para el volumen del molde.

Tabla N° 7. Densidad aparente suelta de los agregados


|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | |
|--|----------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
| DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS | | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | | |
| Fecha : | 17 de Agosto de 2016 | | | |
| Norma: | INEN 858 | | | |
| Masa del recipiente: | 9,8 kg | | | |
| Volumen recipiente: | 20,29 dm ³ | | | |
| AGREGADO | Masa Recipiente + Agregado | Masa del Agregado | Densidad Aparente Suelta | Densidad Aparente Suelta Promedio |
| | (Kg) | (Kg) | (Kg/dm ³) | (Kg/dm ³) |
| Arena | 39,2 | 29,4 | 1,449 | 1,459 |
| | 39,6 | 29,8 | 1,469 | |
| Ripio | 37,8 | 28 | 1,380 | 1,370 |
| | 37,4 | 27,6 | 1,360 | |
| Arcilla Expandida | 19,5 | 9,7 | 0,478 | 0,483 |
| | 19,7 | 9,9 | 0,488 | |

Fuente: Stuart Díaz López

4.1.4 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS

Para la densidad aparente compactada llenar un molde de masa y volumen determinados, llenar en tres capas compactando cada capa con una varilla de punta redonda dando 25 golpes por cada capa, enrasar y pesar. Realizar este proceso con cada uno de los materiales, para posteriormente obtener la densidad de los mismos dividiendo la masa para el volumen.



Tabla N°8. Densidad aparente compactada de los agregados

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | |
|--|----------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
| <i>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS</i> | | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | | |
| Fecha : | 17 de Agosto de 2016 | | | |
| Norma: | INEN 858 | | | |
| Masa del recipiente: | 9,8 kg | | | |
| Volumen recipiente: | 20,29 dm ³ | | | |
| AGREGADO | Masa Recipiente + Agregado | Masa del Agregado | Densidad Aparente Suelta | Densidad Aparente Suelta Promedio |
| | (Kg) | (Kg) | (Kg/dm ³) | (Kg/dm ³) |
| Arena | 43,8 | 34 | 1,676 | 1,673 |
| | 43,7 | 33,9 | 1,671 | |
| Ripio | 40,3 | 30,5 | 1,503 | 1,501 |
| | 40,2 | 30,4 | 1,498 | |
| Arcilla Expandida | 20,7 | 10,9 | 0,537 | 0,535 |
| | 20,6 | 10,8 | 0,532 | |

Fuente: Stuart Díaz López

4.1.5 Densidad aparente compactada de la mezcla

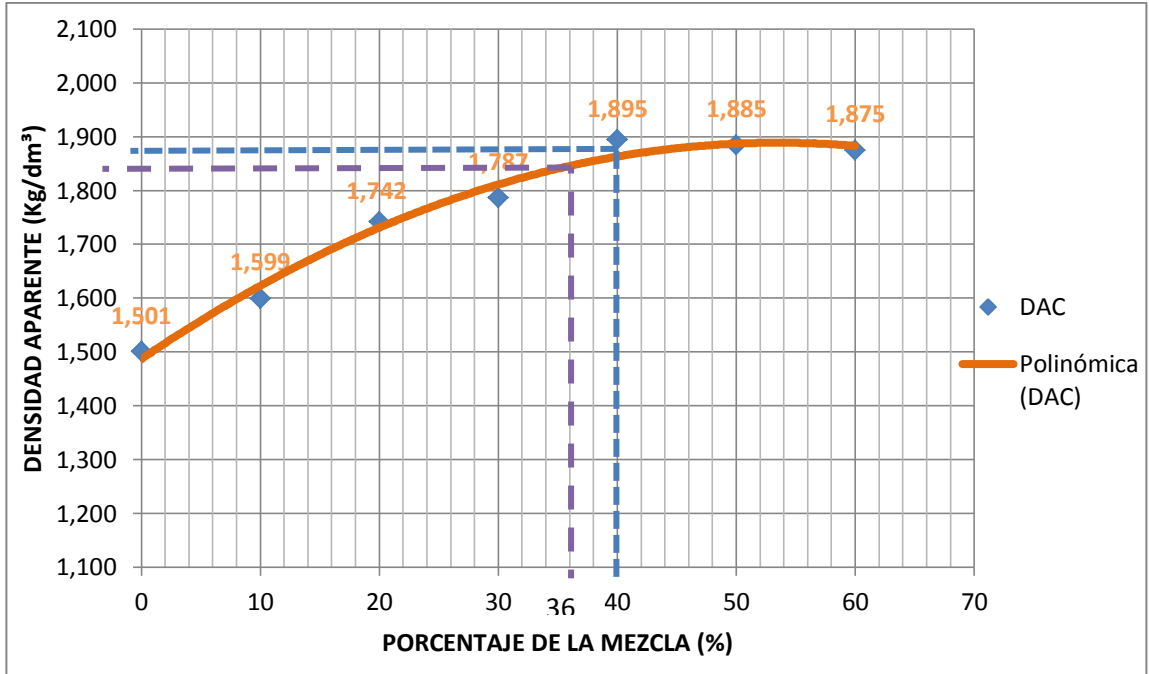
Tabla N°9. Densidad aparente compactada de la mezcla

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | |  | | | |
|---|-------|--|-------|----------------|---|----------------------|-----------------------------|------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | |
| DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA | | | | | | | | |
| Origen: | | Cantera Alvarado | | | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | | | |
| Masa del rec: | | 9,8 kg | | Fecha : | | 17 de Agosto de 2016 | | |
| Volumen rec: | | 20,29 dm ³ | | Norma: | | INEN 858 | | |
| Mezcla Requerida % | | Cantidad Calculada Kg | | Añadido Kg | Masa Re. + Agr. Kg | Masa de Agr. Kg | Densidad Kg/dm ³ | DAC Kg/dm ³ |
| Ripio | Arena | Ripio | Arena | Arena | Arena + Ripio | | | |
| 100 | 0 | 40 | 0 | 0 | 40,30 | 30,50 | 1,503 | 1,501 |
| | | | | | 40,20 | 30,40 | 1,498 | |
| 90 | 10 | 40 | 4,44 | 4,44 | 42,30 | 32,50 | 1,602 | 1,599 |
| | | | | | 42,20 | 32,40 | 1,597 | |
| 80 | 20 | 40 | 10 | 5,56 | 45,10 | 35,30 | 1,740 | 1,742 |
| | | | | | 45,20 | 35,40 | 1,745 | |
| 70 | 30 | 40 | 17,14 | 7,14 | 46,00 | 36,20 | 1,784 | 1,787 |
| | | | | | 46,10 | 36,30 | 1,789 | |
| 60 | 40 | 40 | 26,67 | 9,53 | 48,30 | 38,50 | 1,897 | 1,895 |
| | | | | | 48,20 | 38,40 | 1,893 | |
| 50 | 50 | 40 | 40 | 13,33 | 48,10 | 38,30 | 1,888 | 1,885 |
| | | | | | 48,00 | 38,20 | 1,883 | |
| 40 | 60 | 40 | 60 | 20 | 47,90 | 38,10 | 1,878 | 1,875 |
| | | | | | 47,80 | 38,00 | 1,873 | |
| PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO FINO = | | | | | 40 % | | | |
| PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO = | | | | | 60 % | | | |
| PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO FINO = | | | | | 36 % | | | |
| PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO GRUESO = | | | | | 64 % | | | |
| DENSIDAD MÁXIMA DE LOS AGREGADOS = | | | | | 1,89 Kg/dm ³ | | | |
| DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS = | | | | | 1,84 Kg/dm ³ | | | |

Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 9. Densidad Óptima de los agregados

PORCENTAJE ÓPTIMO DE LA MEZCLA



Fuente: Stuart Díaz López


DENSIDAD MAXIMA DE LOS AGREGADOS 40% = 1,89 Kg/dm³

DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS 36% = 1,84 Kg/dm³

4.1.6 Densidad real del cemento

Se procede a determinar la densidad real del cemento por medio del método del picnómetro.

Tabla N°10. Densidad real del cemento.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|--|----------------------|--------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | |
| <i>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</i> | | | |
| Cemento: | | Holcim Rocafuerte | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | |
| Fecha : | | 11 de Agosto de 2016 | |
| Norma: | | INEN 156 | |
| DATO | DESCRIPCIÓN | U | VALOR |
| m1 | Masa del picnómetro | gr | 165,60 |
| m2 | Masa del frasco + cemento | gr | 355,10 |
| m3 | Masa del frasco + cemento + gasolina | gr | 673,20 |
| m4 | Masa de la gasolina añadida (m3-m2) | gr | 318,10 |
| m5 | Masa del frasco + 500cc de gasolina | gr | 534,40 |
| m6 | Masa de 500cc de gasolina (m5-m1) | gr | 368,80 |
| dg | Densidad de la gasolina (m6/500cc) | gr/cc | 0,74 |
| m7 | Masa de la gasolina desalojada por el cemento (m6-m4) | gr | 50,70 |
| mc | Masa del cemento (m2-m1) | gr | 189,50 |
| vc | Volumen de gasolina desalojada = volumen de cemento añadido (m7/dg) | cc | 68,74 |
| drc | Densidad Real del Cemento = (mc/vc) | gr/cc | 2,78 |
| DRC | DENSIDAD REAL PROMEDIO DEL CEMENTO | gr/cc | 2,80 |

Fuente: Stuart Díaz López

Esta densidad se obtiene debido a que en el proceso de elaboración, pequeñas partículas de cemento pueden adherirse al interior del frasco evitando liberar totalmente burbujas de aire hasta la superficie del líquido.

4.1.7 Densidad real y capacidad de absorción de la arena

La densidad real de la arena se determina en estado saturado superficie seca (sss), utilizando el método del picnómetro.

Tabla N°11. Densidad real y capacidad de absorción de la arena



|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|---|--------------|--------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | |
| Fecha : | 17 de Agosto de 2016 | | |
| Norma: | INEN 856 | | |
| DATO | DESCRIPCIÓN | U | VALOR |
| m1 | Masa del picnómetro | gr | 165,80 |
| m2 | Masa del frasco + agregado sss | gr | 423,80 |
| m3 | Masa del frasco + agregado sss + agua | gr | 822,20 |
| m4 | Masa del agua añadida (m3-m2) | gr | 398,40 |
| m5 | Masa del frasco + 500cc de agua | gr | 659,40 |
| m6 | Masa de 500cc de agua (m5-m1) | gr | 493,60 |
| da | Densidad del agua (m6/500cc) | gr/cc | 0,99 |
| m7 | Masa del agua desalojada por el agregado (m6-m4) | gr | 95,20 |
| Msss | Masa del agregado (m2-m1) | gr | 258,00 |
| Vsss | Volumen de agua desalojada = volumen de agregado añadido (m7/da) | cc | 96,43 |
| DRA | DENSIDAD REAL DE LA ARENA EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss) | gr/cc | 2,68 |
| DATO | DESCRIPCIÓN | VALOR | |
| m1 | Masa del recipiente (gr) | 23,7 | 25,7 |
| m2 | Masa del recipiente + agregado sss (gr) | 109,6 | 110,7 |
| m3 | Masa del recipiente + agregado seco (gr) | 109,1 | 110,3 |
| Msss | Masa del agregado sss (m2-m1) (gr) | 85,9 | 85,0 |
| Mseca | Masa del agregado seco (m3-m1) (gr) | 85,4 | 84,6 |
| CA | Capacidad de absorción (Msss-Mseca)/Mseca % | 0,00585 | 0,00472 |
| CA % | CAPACIDAD DE ABSORCIÓN % | 0,529 | |

Fuente: Stuart Díaz López

4.1.8 Densidad real y capacidad de absorción del ripio

La densidad real del ripio se determina en estado saturado superficie seca (sss), utilizando el método de la canastilla.

Tabla N°12. Densidad real y capacidad de absorción del ripio

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | |
|--|---|--------------|--------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO | | | |
| Origen: | Cantera Alvarado | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | |
| Fecha : | 17 de Agosto de 2016 | | |
| Norma: | INEN 857 | | |
| DATO | DESCRIPCIÓN | U | VALOR |
| m1 | Masa de la canastilla en el aire | gr | 1235 |
| m2 | Masa de la canastilla + agregado sss en el aire | gr | 4601 |
| Msss | Masa del agregado sss en el aire (m2-m1) | gr | 3366 |
| da | Densidad del agua | gr/cc | 1,0 |
| m3 | Masa canastilla + agregado sss en el agua | gr | 3196 |
| m4 | Masa de la canastilla en el agua | gr | 1116 |
| Ma | Masa del agregado en el agua (m3-m4) | gr | 2080 |
| Vsss | Volumen del agregado (Msss - Ma)/da | cc | 1286 |
| DRR | DENSIDAD REAL DEL RIPIO EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss) | gr/cc | 2,62 |
| DATO | DESCRIPCIÓN | VALOR | |
| m1 | Masa del recipiente (gr) | 30,5 | 33,1 |
| m2 | Masa del recipiente + agregado sss (gr) | 189,1 | 190,9 |
| m3 | Masa del recipiente + agregado seco (gr) | 186,3 | 188,1 |
| Msss | Masa del agregado sss (m2-m1) (gr) | 158,6 | 157,8 |
| Mseca | Masa del agregado seco (m3-m1) (gr) | 155,8 | 155,0 |
| CA | Capacidad de absorción (Msss-Mseca)/Mseca % | 0,01797 | 0,018065 |
| CA % | CAPACIDAD DE ABSORCIÓN % | 1,801 | |

Fuente: Stuart Díaz López

4.1.9 Granulometría de la Arcilla Expandida

Después de la obtención de la arcilla al igual que el agregado grueso, se procede a realizar el análisis granulométrico de la arcilla expandida pasándola por medio de los tamices especificados por la norma INEN 696 para verificar que esté comprendido dentro de los límites ASTM C33.

Gráfico 10. Arcilla expandida tamizada.



Fuente. Stuart Díaz López

Gráfico 11. Tamizado de arcilla expandida





Fuente Stuart Díaz

Gráfico 12. Número de tamices.



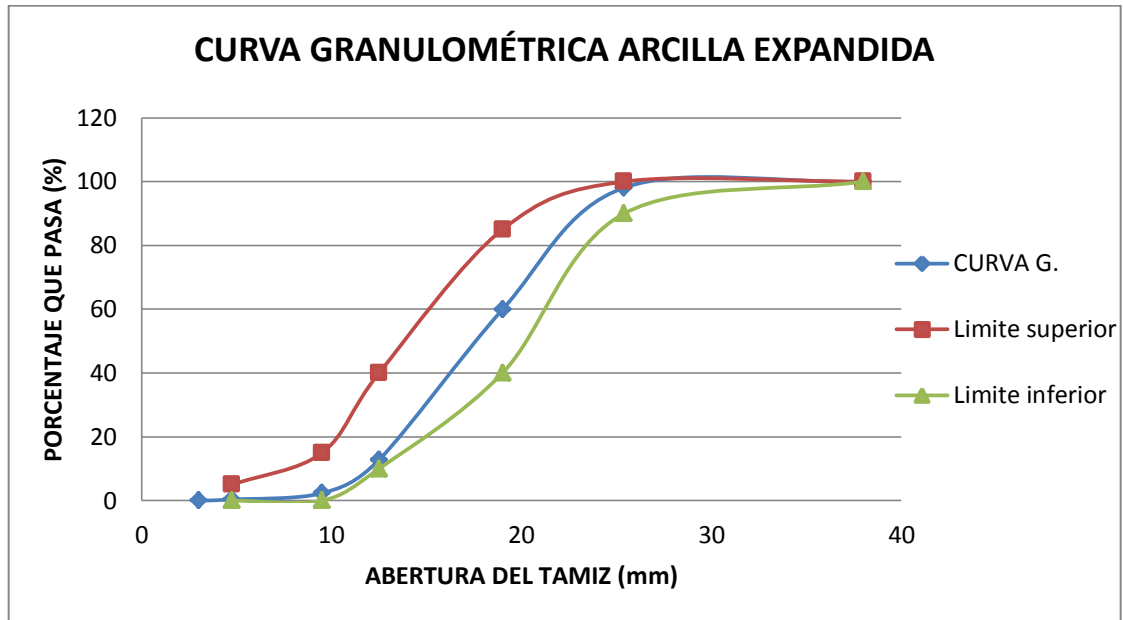
Fuente Stuart Díaz

Tabla N°13. Granulometría de la arcilla expandida

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | |
|--|----------|----------------------|--------------------|----------------------|------------|--------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| <i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARCILLA EXPANDIDA</i> | | | | | | |
| Material: | | Arcilla Expandida | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | |
| Fecha : | | 10 de Agosto de 2016 | | | | |
| Norma: | | INEN 696 | | | | |
| Masa: | | 7000 kg | | | | |
| Tamiz | Abertura | Retenido Parcial | Retenido Acumulado | % Retenido Acumulado | % Que pasa | Limites % ASTM C33 |
| pl | mm | gr | gr | | | |
| 2" | 50,8 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 100,0 | |
| 1 1/2" | 38 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 100,0 | 100 |
| 1" | 25,4 | 133,0 | 133,0 | 1,91 | 98,1 | 90-100 |
| 3/4" | 19 | 2655,0 | 2788,0 | 40,07 | 59,9 | 40-85 |
| 1/2" | 12,5 | 3279,0 | 6067,0 | 87,21 | 12,8 | 10 40 |
| 3/8" | 9,5 | 727,0 | 6794,0 | 97,66 | 2,3 | 0-15 |
| # 4 | 4,76 | 138,0 | 6932,0 | 99,64 | 0,4 | 0-5 |
| Fuente | | 25,0 | 6957,0 | 100 | 0,0 | |

Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 13. Curva granulométrica de la arcilla expandida.




Fuente: Stuart Díaz López

Interpretación:

La arcilla expandida fue tamizada según el ensayo INEN 696 para determinar su granulometría, se puede observar la curva granulométrica en la gráfica 14 la cual está dentro de los límites permisibles por la norma ASTM C33, siendo idónea para su uso en la elaboración del hormigón simple, la muestra en el ensayo tiene un tamaño nominal máximo (TNM) corresponde a 1” dentro del rango. El tamaño nominal máximo debe estar entre los tamices 1” \leq TNM \leq 2”.

Capacidad de absorción de la arcilla expandida

Tabla N°14. Capacidad e absorción de la arcilla expandida

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | |
|---|---|---|----------|-----------------------------|--|
|   | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | |
| CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA | | | | | |
| Material: | Arcilla Expandida | | | | |
| Ensayado por: | Stuart Díaz López | | | | |
| Fecha : | 17 de Agosto de 2016 | | | | |
| Norma: | INEN 857 | | | | |
| DATO | DESCRIPCIÓN | VALOR | | | |
| m1 | Masa del recipiente (gr) | 30,4 | 32,5 | | |
| m2 | Masa del recipiente + agregado sss (gr) | 98,0 | 102,2 | | |
| m3 | Masa del recipiente + agregado seco (gr) | 92,3 | 96,2 | | |
| Msss | Masa del agregado sss (m2-m1) (gr) | 67,6 | 69,7 | | |
| Mseca | Masa del agregado seco (m3-m1) (gr) | 61,9 | 63,7 | | |
| CA | Capacidad de absorción (Msss-Mseca)/Mseca % | 0,09208 | 0,094192 | | |
| CA % | CAPACIDAD DE ABSORCIÓN % | 9,314 | | | |

Fuente: Stuart Díaz López

4.1.10 Dosificación del Hormigón

Después de haber elaborado los ensayos de los agregados a utilizarse previos a la dosificación, verificando que estos cumplen con las normas y son aptos para utilizarse, se procede a calcular la dosificación del hormigón para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 , mediante el método de la Densidad Óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador, para lo cual se requiere de los siguientes datos obtenidos en los laboratorios de ensayos de materiales de la Universidad Técnica de Ambato:

- Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad [f^c]
- Asentamiento Requerido
- Densidad Real del Cemento (DRC)
- Densidad Real de la Arena (DRA)
- Densidad Real del Ripio (DRR)
- Porcentaje Óptimo de Arena (POA)
- Porcentaje Óptimo de Ripio (POR)
- Densidad Óptima de la Mezcla de Agregados (DOMa)

Con estos datos realizamos los pasos para la dosificación del hormigón de la siguiente manera:

a) Determinar la relación agua/cemento según la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad, utilizar Tabla N° 4

| f^c a los 28 días de edad (kg/cm²) | A/C |
|---|------------|
| 450 | 0.37 |
| 420 | 0.40 |
| 400 | 0.42 |
| 350 | 0.47 |
| 320 | 0.51 |
| 300 | 0.52 |
| 280 | 0.53 |
| 250 | 0.56 |
| 240 | 0.57 |
| 210 | 0.58 |
| 180 | 0.62 |
| 150 | 0.70 |

b) Calcular la densidad real de la mezcla de los agregados

$$DRM = DRA * \% OA + DRR * \% OR$$

Dónde:

DRM = Densidad real de la mezcla de agregados.

DRA y DRR = Densidad de la arena y ripio.

% OA y % OR = Porcentaje óptimo de arena y ripio de la mezcla óptima de agregados.

Entonces:

$$\begin{aligned} DRM &= 2,68 \text{ kg/dm}^3 * 0,36 + 2,62 \text{ kg/dm}^3 * 0,64 \\ DRM &= 2,642 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

c) Calcular el porcentaje óptimo de vacíos.

$$\%OV = \frac{DRM - DOMa}{DRM} * 100$$

Dónde:

%OV = Porcentaje óptimo de vacíos.

DOMa = Densidad óptima de la mezcla.

Entonces:

$$\begin{aligned} \%OV &= \frac{2,642 \text{ kg/dm}^3 - 1,84 \text{ kg/dm}^3}{2,642 \text{ kg/dm}^3} * 100 \\ \%OV &= 30,345 \% \end{aligned}$$

d) Determinar la cantidad de pasta de cemento de acuerdo a la tabla # 14:

Tabla N° 15 Cantidades de pasta de cemento en relación al asentamiento.

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

Fuente: GARZÓN M. (2010). Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón. Universidad Central del Ecuador.

$$\begin{aligned}
 CP\% &= \%OV + 2\% + 8\%(\%OV) \\
 CP\% &= 30,345\% + 2\% + 8\%(30,345\%) \\
 CP\% &= 34,772\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{CP\%}{100} * 1000dm^3 \\
 CP &= \frac{34,772\%}{100} * 1000dm^3 \\
 CP &= 347,72dm^3
 \end{aligned}$$

e) Calcular la cantidad de cemento, agua, arena y ripio que serán necesarios para 1 m³ de hormigón.

Cantidad de Cemento (C)

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \\
 C &= \frac{347,72dm^3}{0,58 + \frac{1}{2,80 \text{ kg/dm}^3}} \\
 C &= 371.052 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Cantidad de Agua (W)

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{W}{C} * C \\
 W &= 0,58 * 371.052 \text{ kg} \\
 W &= 215,210 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Cantidad de Arena (A)

$$\begin{aligned}
 A &= (VH - CP) * DRA * \%OA \\
 A &= (1000 - 347,72dm^3) * 2,68 \text{ kg/dm}^3 * 0,36 \\
 A &= 629,31 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Cantidad de Ripio (R)

$$R = (VH - CP) * DRR * \%OR$$
$$R = (1000 - 347,72dm^3) * 2,62 kg/dm^3 * 0,64$$
$$R = 1093,73 kg$$

f) Realizar dosificación al peso

La dosificación al peso se la puede realizar dividiendo la cantidad de material para la cantidad de cemento.

$$Cemento (C) = \frac{371.052 kg}{371.052 kg}$$

$$Cemento = 1$$

$$Agua (W) = \frac{215,210 kg}{371.052 kg}$$

$$Agua W = 0.58$$

$$Arena (A) = \frac{629,31 kg}{371.052 kg}$$

$$Arena = 1.70$$

$$Ripio (R) = \frac{1093,73 kg}{371.052 kg}$$

$$Ripio = 2.95$$

Dosificación de Hormigón para probetas cilíndricas.

La dosificación para probetas cilíndricas se lo realiza obteniendo el volumen del cilindro y multiplicando por la cantidad de probetas requeridas, para posteriormente obtener la cantidad en kilogramos de cemento para el volumen calculado.

$$V = \frac{\pi \phi^2}{4} * H * \# \text{ cilindros}$$

$$V = \frac{\pi 0.15^2}{4} * 0,30 * 9$$

$$V = 0,048$$

Dosificación de Hormigón para cilindros

$$DH = V * \text{Cantidad de Material}$$

Dosificación para 9 probetas cilíndricas de hormigón simple.

Se procede a calcular el volumen para 9 probetas cilíndricas, debido a que se utilizaran 3 probetas para cada uno de los días establecidos, 7, 14 y 28 días de edad. Estas probetas serán elaboradas para un hormigón normal, sin porcentaje de arcilla expandida.

Tabla N°16. Dosificación de Hormigón 210kg

| Material | | Dosificación al Peso | Cantidad para 1 m ³ de Hormigón (kg) | Volumen Total de Cilindros (VTC) | Cantidad para (VTC) (kg) |
|----------|----|-------------------------|---|---|-----------------------------|
| C | kg | 1 | 371,05 | 0,0477 | 17,70 |
| W | lt | 0,58 | 215,21 | 0,0477 | 10,27 |
| A | kg | 1,7 | 629,31 | 0,0477 | 30,02 |
| R | kg | 2,95 | 1093,73 | 0,0477 | 52,17 |

Fuente: Stuart Díaz López

Dosificación para probetas de hormigón con porcentajes de arcilla expandida.

Se procede a calcular de la misma manera anterior, en este caso la cantidad de ripio en kilogramos será reemplazada en porcentajes de 5, 10, 20 y 30%.

Se realiza una regla de tres simple para calcular la cantidad que se va a reemplazar del agregado grueso, de esta manera saber la cantidad total de ripio:

$$\begin{array}{rcl} \text{Cantidad total ripio: } 52.17 \text{ Kg} & \text{-----} & 100\% \\ X & \text{-----} & 5\% \\ X = 2,61 \text{ kg} \end{array}$$

$$\text{Entonces: } 52.17 - 2,61 = 49,56 \text{ kg}$$



Este proceso se lo realizó para todas las proporciones de 5, 10, 20 y 30%

Tabla N°17. Dosificación Hormigón con 5% de A.E.

| Material | | Dosificación al Peso | Volumen Total de Cilindros (VTC) | Cantidad para (VTC) (kg) | Cantidad con 5 % de arcilla expandida |
|----------|----|-------------------------|---|-----------------------------|---|
| C | kg | 1 | 0,0477 | 17,70 | 17,70 |
| W | lt | 0,58 | 0,0477 | 10,27 | 10,27 |
| A | kg | 1,7 | 0,0477 | 30,02 | 30,02 |
| R | kg | 2,95 | 0,0477 | 52,17 | 49,56 |



Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°18. Dosificación Hormigón con 10% de A.E.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | |
|--|----|----------------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| <i>CANTIDAD DE MATERIAL PARA CILINDROS CON 10% DE ARCILLA EXPANDIDA</i> | | | | | |
| Realizado por: | | Stuart Díaz López | | | |
| Fecha : | | 17 de Agosto de 2016 | | | |
| Material | | Dosificación al Peso | Volumen Total de Cilindros (VTC) | Cantidad para (VTC) (kg) | Cantidad con 10 % de arcilla expandida |
| C | kg | 1 | 0,0477 | 17,70 | 17,70 |
| W | lt | 0,58 | 0,0477 | 10,27 | 10,27 |
| A | kg | 1,7 | 0,0477 | 30,02 | 30,02 |
| R | kg | 2,95 | 0,0477 | 52,17 | 46,95 |



Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°19. Dosificación Hormigón con 20% de A.E.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | |
|--|----|----------------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| <i>CANTIDAD DE MATERIAL PARA CILINDROS CON 20% DE ARCILLA EXPANDIDA</i> | | | | | |
| Realizado por: | | Stuart Díaz López | | | |
| Fecha : | | 17 de Agosto de 2016 | | | |
| Material | | Dosificación al Peso | Volumen Total de Cilindros (VTC) | Cantidad para (VTC) (kg) | Cantidad con 20 % de arcilla expandida |
| C | kg | 1 | 0,0477 | 17,70 | 17,70 |
| W | lt | 0,58 | 0,0477 | 10,27 | 10,27 |
| A | kg | 1,7 | 0,0477 | 30,02 | 30,02 |
| R | kg | 2,95 | 0,0477 | 52,17 | 41,74 |

Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°20. Dosificación Hormigón con 30% de A.E.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | |  |
|---|----|--|----------------------------------|--------------------------|--|---|
| | | <i>CANTIDAD DE MATERIAL PARA CILINDROS CON 30% DE ARCILLA EXPANDIDA</i> | | | | |
| Realizado por: | | Stuart Díaz López | | | | |
| Fecha : | | 17 de Agosto de 2016 | | | | |
| Material | | Dosificación al Peso | Volumen Total de Cilindros (VTC) | Cantidad para (VTC) (kg) | Cantidad con 30 % de arcilla expandida | |
| C | kg | 1 | 0,0477 | 17,70 | 17,70 | |
| W | lt | 0,58 | 0,0477 | 10,27 | 10,27 | |
| A | kg | 1,7 | 0,0477 | 30,02 | 30,02 | |
| R | kg | 2,95 | 0,0477 | 52,17 | 36,52 | |

Fuente: Stuart Díaz López

En este caso para saber la cantidad de arcilla expandida a utilizar, debido a la diferencia de densidades entre el agregado grueso y la arcilla expandida no es posible realizar un reemplazo al peso si no al volumen.

Para poder realizar la sustitución del agregado grueso por la arcilla expandida, se efectúa de la siguiente manera:

- Escoger un recipiente apto para el reemplazo.
- Tomar las dimensiones del recipiente.
- Llenar el recipiente con la cantidad en kilogramos a reemplazar del agregado grueso.
- Calcular el volumen con la cantidad que necesitamos reemplazar del agregado grueso.
- Retirar la proporción de agregado grueso del recipiente y reemplazar al volumen con el material que necesitamos, arcilla expandida en nuestro caso.
- Realizar el mismo proceso en un recipiente apto con las diferentes cantidades calculadas que se van a reemplazar al agregado grueso 5%, 10%, 20%, 30% de arcilla.

Gráfico 14. Muestra de arcilla
expandida al volumen



Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 15. Muestra de ripio
al volumen



Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 16. Mezcla del materiales



Fuente: Stuart Díaz López

4.1.11 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

Se inicia tomando los pesos en bandejas con las cantidades de arena, ripio y cemento necesarios, previamente pesados acorde a la dosificación calculada.

Mezclar adecuadamente para luego incorporar el agua, una vez mezclado se va añadiendo poco a poco dando homogeneidad a la mezcla de materiales que conforman el concreto en estado fresco.

Después de este proceso se calcula el asentamiento de la mezcla para comprobar si la misma se encuentra dentro del rango requerido.

Este procedimiento sigue la norma INEN 1578, donde se especifica que el molde debe ser colocado en una superficie rígida.

En este caso se usa una bandeja metálica como base para colocar el cono de Abrams, se procede a llenarlo con tres capas apisonadas cada una con 25 golpes en espiral con una varilla metálica y de punta redonda, cuidando de no tocar la capa anterior.

Enrasar la superficie del cono rotando la varilla para luego tomar el cono de las agarraderas y poder retirar los pies sin peligro de mover el molde, se retira el cono verticalmente y con cuidado se coloca el cono junto al hormigón y se mide la diferencia de altura.

Esta medida debe redondearse al medio centímetro más cercano, este valor corresponderá al asentamiento. El ensayo debe durar máximo 2.5 minutos.

Posteriormente se procede a llenar los cilindros con la mezcla de hormigón, se llenan los cilindros con tres capas apisonadas dando 25 golpes por cada capa con una varilla metálica de punta redonda y compactar con un martillo de hule proporcionando golpes al cilindro.

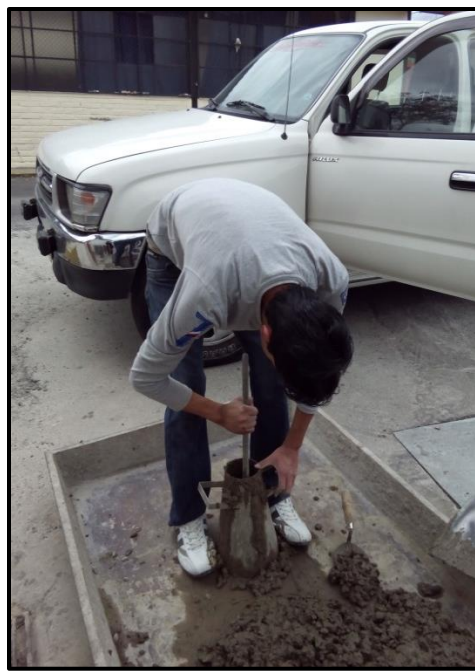
Finalmente enrasar y dejar fraguar.

Gráfico 17. Elaboración de la mezcla de hormigón



Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 18. Medición asentamiento cono de Abrams



Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 19. Elaboración de cilindros de hormigón



Fuente: Stuart Díaz López



Gráfico 20. Desencofrado de cilindros de hormigón



Fuente: Stuart Díaz López



4.1.12 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

Tabla N°21. Propiedades del Hormigón fresco sin porcentaje de arcilla expandida.

|  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|---|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | |
| <i>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | Norma: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30m | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ARCILLA EXP. | FECHA DE ELABOR. | DIÁMETRO [cm] | MASA DEL RECIPIENTE VACÍO[Kg] | MASA DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN[Kg] | PESO CILINDRO [Kg] | VOLUMEN DEL MOLDE [m3] | ASENTA - MIENTO (cm) | CONSIS - TENCIA | HOMOGE - NEIDAD | TRABAJA - BILIDAD | DENSIDAD [Kg/m3] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m3] |
| 1 | 0 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,36 | 24,10 | 12,75 | 0,0054 | 8,0 | BLANDA | BUENA | MEDIA | 2372,32 | 2384,72 |
| 2 | 0 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,58 | 24,20 | 12,62 | 0,0053 | | | | | 2380,67 | |
| 3 | 0 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,40 | 24,30 | 12,90 | 0,0054 | | | | | 2401,17 | |
| 4 | 0 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,42 | 24,20 | 12,78 | 0,0054 | | | | | 2378,84 | 2383,14 |
| 5 | 0 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,50 | 24,10 | 12,60 | 0,0053 | | | | | 2375,95 | |
| 6 | 0 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,61 | 24,30 | 12,70 | 0,0053 | | | | | 2394,63 | |
| 7 | 0 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,57 | 24,00 | 12,43 | 0,0054 | | | | | 2314,43 | 2348,19 |
| 8 | 0 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,39 | 24,10 | 12,71 | 0,0053 | | | | | 2397,65 | |
| 9 | 0 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,37 | 23,90 | 12,53 | 0,0054 | | | | | 2332,49 | |



Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°22. Propiedades del Hormigón fresco con 5% de arcilla expandida.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|---|------------------------|----------------------|--------------|--------------|----------------|------------------|------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | |
| <i>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | Norma: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30cm | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ARCILLA EXP. | FECHA DE ELABOR. | DIÁMETRO [cm] | MASA DEL RECIPIENTE VACÍO[Kg] | MASA DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN[Kg] | PESO CILINDRO [Kg] | VOLUMEN DEL MOLDE [m3] | ASENTA - MIENTO (cm) | CONSISTENCIA | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD [Kg/m3] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m3] |
| 10 | 5 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,40 | 23,50 | 12,10 | 0,0054 | 7,5 | BLANDA | MUY BUENA | BUENA | 2251,52 | 2260,95 |
| 11 | 5 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,55 | 23,60 | 12,05 | 0,0053 | | | | | 2273,53 | |
| 12 | 5 | 31/08/2016 | 15,2 | 11,51 | 23,80 | 12,29 | 0,0054 | | | | | 2257,81 | |
| 13 | 5 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,33 | 23,50 | 12,17 | 0,0054 | | | | | 2264,92 | 2291,81 |
| 14 | 5 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,44 | 23,60 | 12,16 | 0,0054 | | | | | 2263,80 | |
| 15 | 5 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,36 | 23,80 | 12,44 | 0,0053 | | | | | 2346,72 | |
| 16 | 5 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,43 | 23,60 | 12,18 | 0,0054 | | | | | 2266,22 | 2272,55 |
| 17 | 5 | 31/08/2016 | 15,0 | 11,42 | 23,60 | 12,18 | 0,0053 | | | | | 2297,30 | |
| 18 | 5 | 31/08/2016 | 15,1 | 11,19 | 23,30 | 12,11 | 0,0054 | | | | | 2254,13 | |



Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°23. Propiedades del Hormigón fresco con 10% de arcilla expandida.

|  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|---|------------------------|----------------------|--------------|--------------|----------------|------------------|------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | |
| <i>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | Norma: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30cm | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ARCILLA EXP. | FECHA DE ELABOR. | DIÁMETRO [cm] | MASA DEL RECIPIENTE VACÍO[Kg] | MASA DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN[Kg] | PESO CILINDRO [Kg] | VOLUMEN DEL MOLDE [m3] | ASENTA - MIENTO (cm) | CONSISTENCIA | HOMOGENEIDAD | TRABAJABILIDAD | DENSIDAD [Kg/m3] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m3] |
| 19 | 10 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,37 | 23,30 | 11,93 | 0,0054 | 8,0 | BLANDA | MUY BUENA | BUENA | 2220,62 | 2238,71 |
| 20 | 10 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,59 | 23,60 | 12,01 | 0,0053 | | | | | 2264,66 | |
| 21 | 10 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,42 | 23,40 | 11,99 | 0,0054 | | | | | 2230,86 | |
| 22 | 10 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,44 | 23,60 | 12,17 | 0,0054 | | | | | 2264,36 | 2267,64 |
| 23 | 10 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,52 | 23,50 | 11,98 | 0,0053 | | | | | 2259,95 | |
| 24 | 10 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,62 | 23,70 | 12,08 | 0,0053 | | | | | 2278,62 | |
| 25 | 10 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,58 | 23,40 | 11,82 | 0,0054 | | | | | 2199,96 | 2226,92 |
| 26 | 10 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,40 | 23,40 | 12,00 | 0,0053 | | | | | 2262,78 | |
| 27 | 10 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,38 | 23,30 | 11,92 | 0,0054 | | | | | 2218,01 | |

Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°24. Propiedades del Hormigón fresco con 20% de arcilla expandida.

|  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|---|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | |
| <i>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | | Norma: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30cm | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ARCILLA EXP. | FECHA DE ELABOR. | DIÁMETRO [cm] | MASA DEL RECIPIENTE VACÍO[Kg] | MASA DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN[Kg] | PESO CILINDRO [Kg] | VOLUMEN DEL MOLDE [m ³] | ASENTA - MIENTO (cm) | CONSIS - TENCIA | HOMOGE - NEIDAD | TRABAJA - BILIDAD | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] |
| 28 | 20 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,42 | 23,10 | 11,68 | 0,0054 | 8,5 | BLANDA | MUY BUENA | BUENA | 2174,27 | 2171,45 |
| 29 | 20 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,56 | 23,20 | 11,64 | 0,0053 | | | | | 2195,25 | |
| 30 | 20 | 01/09/2016 | 15,2 | 11,52 | 23,20 | 11,68 | 0,0054 | | | | | 2144,84 | |
| 31 | 20 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,35 | 23,00 | 11,65 | 0,0054 | | | | | 2169,06 | 2176,66 |
| 32 | 20 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,45 | 23,10 | 11,65 | 0,0054 | | | | | 2167,94 | |
| 33 | 20 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,37 | 23,00 | 11,63 | 0,0053 | | | | | 2192,98 | |
| 34 | 20 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,44 | 23,00 | 11,56 | 0,0054 | | | | | 2151,75 | 2151,19 |
| 35 | 20 | 01/09/2016 | 15,0 | 11,44 | 22,80 | 11,36 | 0,0053 | | | | | 2143,56 | |
| 36 | 20 | 01/09/2016 | 15,1 | 11,21 | 22,80 | 11,60 | 0,0054 | | | | | 2158,26 | |

Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°25. Propiedades del Hormigón fresco con 30% de arcilla expandida.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|--|---|---|----------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|---|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | |
| <i>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO</i> | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | Norma: NTE INEN 1578 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30cm | | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % DE ARCILLA EXP. | FECHA DE ELABOR. | DIÁMETRO [cm] | MASA DEL RECIPIENTE VACÍO[Kg] | MASA DEL RECIPIENTE + HORMIGÓN[Kg] | PESO CILINDRO [Kg] | VOLUMEN DEL MOLDE [m ³] | ASENTA - MIENTO (cm) | CONSIS- TENCIA | HOMOGE- NEIDAD | TRABAJA- BILIDAD | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] |
| 37 | 30 | 05/09/2016 | 15,1 | 11,38 | 22,50 | 11,12 | 0,0054 | 8,0 | BLANDA | MUY BUENA | BUENA | 2069,66 | 2081,74 |
| 38 | 30 | 05/09/2016 | 15,1 | 11,60 | 22,70 | 11,10 | 0,0054 | | | | | 2066,13 | |
| 39 | 30 | 05/09/2016 | 15,0 | 11,42 | 22,60 | 11,18 | 0,0053 | | | | | 2109,42 | |
| 40 | 30 | 05/09/2016 | 15,1 | 11,43 | 22,50 | 11,07 | 0,0054 | | | | | 2060,36 | 2073,01 |
| 41 | 30 | 05/09/2016 | 15,0 | 11,42 | 22,40 | 10,98 | 0,0053 | | | | | 2071,32 | |
| 42 | 30 | 05/09/2016 | 15,0 | 11,33 | 22,40 | 11,07 | 0,0053 | | | | | 2087,35 | |
| 43 | 30 | 05/09/2016 | 15,1 | 11,40 | 22,40 | 11,01 | 0,0054 | | | | | 2048,44 | 2061,13 |
| 44 | 30 | 05/09/2016 | 15,1 | 11,41 | 22,60 | 11,19 | 0,0054 | | | | | 2082,88 | |
| 45 | 30 | 05/09/2016 | 15,2 | 11,33 | 22,50 | 11,17 | 0,0054 | | | | | 2052,07 | |

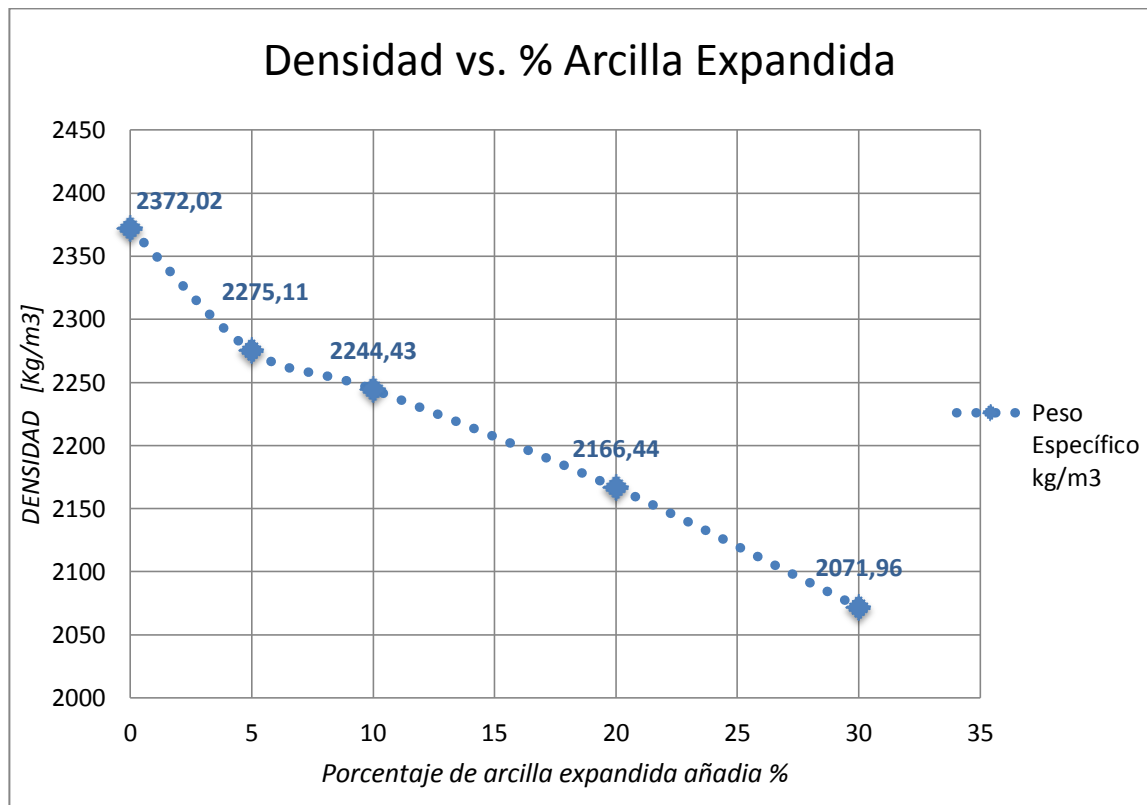
Fuente: Stuart Díaz López

INTERPRETACIÓN:

Los resultados obtenidos del hormigón en estado fresco con los diferentes porcentajes de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso, muestra que a mayor sea el porcentaje de arcilla expandida el peso específico del hormigón disminuye significativamente, obteniendo densidades promedio de 2071,96 kg/m³ para el 30% de arcilla expandida y 2372,02 kg/m³ para un hormigón normal como se muestra en la gráfica 21. De esta manera se ha alivianado al hormigón acercándose al peso específico de un hormigón alivianado.

Mediante las tablas 20, 21, 22, 23 y 24 se observa que el hormigón tiene consistencias diferentes que van de 7,5 a 8,5 cm estando dentro del rango permitido obteniendo una consistencia blanda la cual va de 6 a 9 cm.

Gráfico 21. Curva Densidad vs. Porcentaje de arcilla expandida del Hormigón fresco.





Fuente: Stuart Díaz López

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS



Los resultados que fueron obtenidos mediante los ensayos a compresión se analizan y representan mediante las tablas a continuación, cada una de acuerdo al porcentaje de arcilla expandida sustituida parcialmente por el agregado grueso en la mezcla de hormigón. A través de estos resultados se realizan las respectivas observaciones del proyecto.

Tabla N°26. Resistencia a la Compresión del Hormigón normal.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>  | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|--------|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|---|--------------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | | | | | | | | | |
| Altura del cilindro: | | 30cm | | | | | Norma: NTE INEN 1573 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| PROBETA N° | % AR. EXP. | DIAS DE EDAD | FECHA DE ELABOR. | FECHA DE ENSAYO | DIÁMETRO [cm] | AREA | VOLUMEN | PESO CILINDRO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] | CARGA KN | CARGA KG | ESFUERZO COMPRESIÓN [Kg/cm ²] | ESFUERZO MEDIO [Kg/cm ²] |
| 1 | 0 | 7 | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,50 | 2326,72 | 2355,791 | 234,60 | 23926,85 | 133,61 | 136,88 |
| 2 | 0 | | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,60 | 2376,71 | | 242,70 | 24752,97 | 140,07 | |
| 3 | 0 | | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,70 | 2363,95 | | 240,50 | 24528,60 | 136,97 | |
| 4 | 0 | 14 | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,80 | 2382,56 | 2397,522 | 331,00 | 33758,69 | 188,51 | 194,06 |
| 5 | 0 | | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,70 | 2395,57 | | 339,70 | 34646,00 | 196,06 | |
| 6 | 0 | | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,80 | 2414,43 | | 342,40 | 34921,38 | 197,61 | |
| 7 | 0 | 28 | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,70 | 2363,95 | 2380,776 | 433,60 | 44218,53 | 246,92 | 234,95 |
| 8 | 0 | | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,80 | 2414,43 | | 383,50 | 39109,33 | 221,31 | |
| 9 | 0 | | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,70 | 2363,95 | | 415,50 | 42372,69 | 236,61 | |


Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°27. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 5% de arcilla expandida.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|--------|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|---|--------------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | | | | | | | | | |
| Altura del cilindro: | | 30cm | | | | | Norma: NTE INEN 1573 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| PROBETA N° | % AR. EXP. | DIAS DE EDAD | FECHA DE ELABOR. | FECHA DE ENSAYO | DIÁMETRO [cm] | AREA | VOLUMEN | PESO CILINDRO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] | CARGA KN | CARGA KG | ESFUERZO COMPRESIÓN [Kg/cm ²] | ESFUERZO MEDIO [Kg/cm ²] |
| 10 | 5 | 7 | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,20 | 2270,88 | 2264,790 | 239,90 | 24467,40 | 136,63 | 136,74 |
| 11 | 5 | | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,10 | 2282,39 | | 238,20 | 24294,02 | 137,48 | |
| 12 | 5 | | 31/08/2016 | 08/09/2016 | 15,2 | 181,46 | 0,0054 | 12,20 | 2241,10 | | 242,20 | 24701,98 | 136,13 | |
| 13 | 5 | 14 | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,30 | 2289,49 | 2293,497 | 340,70 | 34747,99 | 194,04 | 195,28 |
| 14 | 5 | | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,20 | 2270,88 | | 367,70 | 37501,72 | 209,41 | |
| 15 | 5 | | 31/08/2016 | 15/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,30 | 2320,12 | | 316,00 | 32228,84 | 182,38 | |
| 16 | 5 | 28 | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,30 | 2289,49 | 2287,209 | 402,40 | 41036,75 | 229,15 | 235,13 |
| 17 | 5 | | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,20 | 2301,26 | | 434,00 | 44259,32 | 250,46 | |
| 18 | 5 | | 31/08/2016 | 29/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,20 | 2270,88 | | 396,50 | 40435,07 | 225,79 | |



Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°28. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 10% de arcilla expandida.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | | |
|---|------------|---|------------------|-----------------------------|---------------|--------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|---|--------------------------------------|
|  | |  | | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | | | | | | | | | |
| Altura del cilindro: | | 30cm | | | | | Norma: NTE INEN 1573 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| PROBETA N° | % AR. EXP. | DIAS DE EDAD | FECHA DE ELABOR. | FECHA DE ENSAYO | DIÁMETRO [cm] | AREA | VOLUMEN | PESO CILINDRO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] | CARGA KN | CARGA KG | ESFUERZO COMPRESIÓN [Kg/cm ²] | ESFUERZO MEDIO [Kg/cm ²] |
| 19 | 10 | 7 | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,90 | 2215,04 | 2237,406 | 231,10 | 23569,89 | 131,62 | 127,21 |
| 20 | 10 | | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,00 | 2263,53 | | 210,00 | 21417,90 | 121,20 | |
| 21 | 10 | | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,00 | 2233,65 | | 226,20 | 23070,14 | 128,83 | |
| 22 | 10 | 14 | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,10 | 2252,26 | 2272,351 | 284,70 | 29036,55 | 162,14 | 169,61 |
| 23 | 10 | | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,20 | 2301,26 | | 291,10 | 29689,29 | 168,01 | |
| 24 | 10 | | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,00 | 2263,53 | | 309,60 | 31576,10 | 178,68 | |
| 25 | 10 | 28 | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,00 | 2233,65 | 2249,90 | 356,90 | 36396,66 | 203,24 | 224,02 |
| 26 | 10 | | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 12,10 | 2282,39 | | 430,10 | 43861,60 | 248,21 | |
| 27 | 10 | | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 12,00 | 2233,65 | | 387,40 | 39507,05 | 220,61 | |

Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°29. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 20% de arcilla expandida.

|  | | <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> | | | | | | | | | |  | | |
|--|------------|---|------------------|-----------------|---------------|--------|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|---|---|--------------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: | | Stuart Díaz López | | | | | | | | | | | | |
| Altura del cilindro: | | 30cm | | | | | Norma: NTE INEN 1573 - NTE INEN 1579 | | | | | | | |
| PROBETA N° | % AR. EXP. | DIAS DE EDAD | FECHA DE ELABOR. | FECHA DE ENSAYO | DIÁMETRO [cm] | AREA | VOLUMEN | PESO CILINDRO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] | CARGA KN | CARGA KG | ESFUERZO COMPRESIÓN [Kg/cm ²] | ESFUERZO MEDIO [Kg/cm ²] |
| 28 | 20 | 7 | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,60 | 2159,20 | 2159,385 | 208,00 | 21213,92 | 118,46 | 122,98 |
| 29 | 20 | | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,60 | 2188,08 | | 222,30 | 22672,38 | 128,30 | |
| 30 | 20 | | 01/09/2016 | 09/09/2016 | 15,2 | 181,46 | 0,0054 | 11,60 | 2130,88 | | 217,40 | 22172,63 | 122,19 | |
| 31 | 20 | 14 | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,70 | 2177,81 | 2174,945 | 313,00 | 31922,87 | 178,26 | 169,63 |
| 32 | 20 | | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,70 | 2177,81 | | 288,60 | 29434,31 | 164,36 | |
| 33 | 20 | | 01/09/2016 | 16/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,50 | 2169,22 | | 288,10 | 29383,32 | 166,28 | |
| 34 | 20 | 28 | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,50 | 2140,58 | 2150,04 | 383,10 | 39068,54 | 218,16 | 217,19 |
| 35 | 20 | | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,40 | 2150,36 | | 392,10 | 39986,36 | 226,28 | |
| 36 | 20 | | 01/09/2016 | 30/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,60 | 2159,20 | | 363,70 | 37090,13 | 207,12 | |

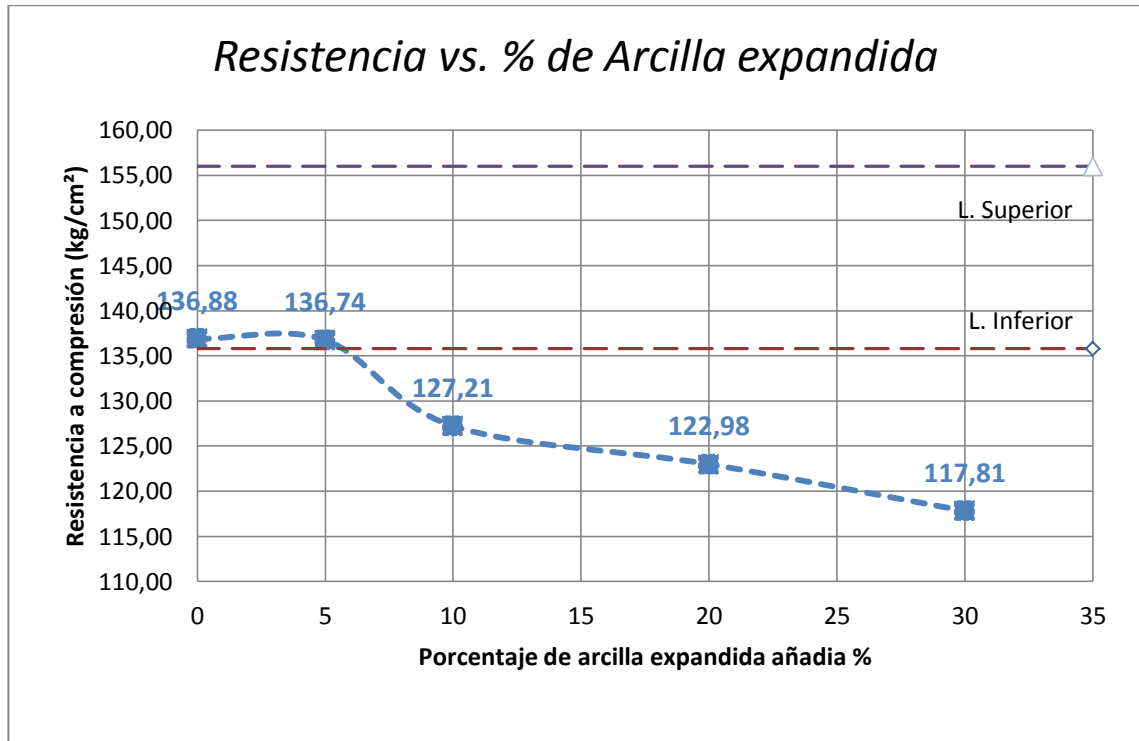
Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°30. Resistencia a la Compresión del Hormigón con 30% de arcilla expandida.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | | | | | | |  | | |
|--|------------|---|------------------|-----------------|---------------|--------|---------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|---|---|--------------------------------------|
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ | | | | | | | | | | | | | | |
| Ensayado por: Stuart Díaz López | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura del cilindro: 30cm | | Norma: NTE INEN 1573 - NTE INEN 1579 | | | | | | | | | | | | |
| PROBETA N° | % AR. EXP. | DÍAS DE EDAD | FECHA DE ELABOR. | FECHA DE ENSAYO | DIÁMETRO [cm] | AREA | VOLUMEN | PESO CILINDRO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | DENSIDAD MEDIA [Kg/m ³] | CARGA KN | CARGA KG | ESFUERZO COMPRESIÓN [Kg/cm ²] | ESFUERZO MEDIO [Kg/cm ²] |
| 37 | 30 | 7 | 05/09/2016 | 13/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 10,90 | 2028,90 | 2069,135 | 207,50 | 21162,93 | 118,18 | 117,81 |
| 38 | 30 | | 05/09/2016 | 13/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,20 | 2084,74 | | 203,20 | 20724,37 | 115,73 | |
| 39 | 30 | | 05/09/2016 | 13/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,10 | 2093,77 | | 207,10 | 21122,13 | 119,53 | |
| 40 | 30 | 14 | 05/09/2016 | 20/09/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,20 | 2084,74 | 2084,47 | 248,50 | 25344,52 | 141,53 | 151,18 |
| 41 | 30 | | 05/09/2016 | 20/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,10 | 2093,77 | | 281,20 | 28679,59 | 162,29 | |
| 42 | 30 | | 05/09/2016 | 20/09/2016 | 15,0 | 176,72 | 0,0053 | 11,00 | 2074,90 | | 259,40 | 26456,21 | 149,71 | |
| 43 | 30 | 28 | 05/09/2016 | 04/10/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,10 | 2066,13 | 2075,55 | 336,40 | 34306,07 | 191,57 | 195,16 |
| 44 | 30 | | 05/09/2016 | 04/10/2016 | 15,1 | 179,08 | 0,0054 | 11,20 | 2084,74 | | 347,30 | 35417,65 | 197,78 | |
| 45 | 30 | | 05/09/2016 | 04/10/2016 | 15,2 | 181,46 | 0,0054 | 11,30 | 2075,77 | | 349,00 | 35591,02 | 196,14 | |

Fuente: Stuart Díaz López

Gráfico 22. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 7 días de edad.



Fuente: Stuart Díaz López

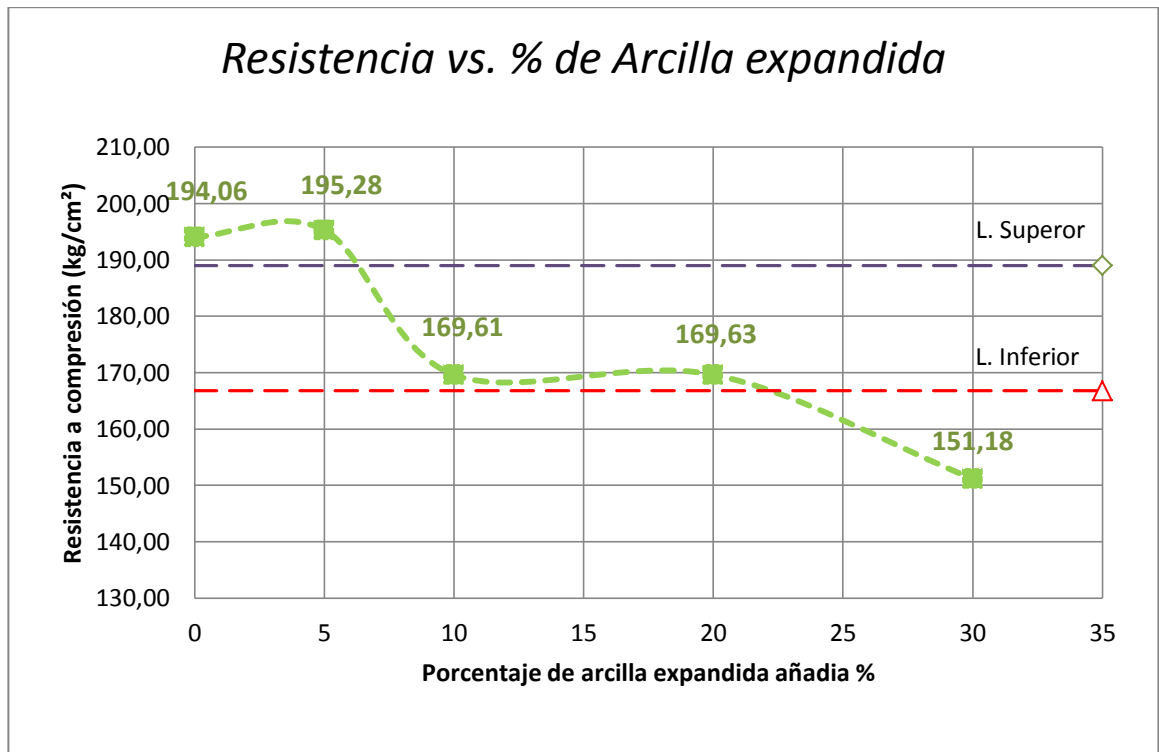
Interpretación:

En los ensayos a compresión a los 7 días de edad con el hormigón normal se obtiene la mayor resistencia con 136.88 kg/cm², con el 5 % de arcilla expandida una resistencia de 136.74 kg/cm², en los demás porcentajes de arcilla expandida la resistencia del hormigón tiende a disminuir ligeramente, llegando a una resistencia de 117.81 kg/cm² siendo la más baja para las muestras del 30% de arcilla expandida.

De esta manera para las muestras de hormigón normal y las muestras con 5% de arcilla expandida se adquiere una resistencia a la compresión dentro de los límites admisibles.

Límite Inferior = 65% (136.5 kg/cm²); Límite Superior = 75% (157.5 kg/cm²)

Gráfico 23. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 14 días de edad.



Fuente: Stuart Díaz López

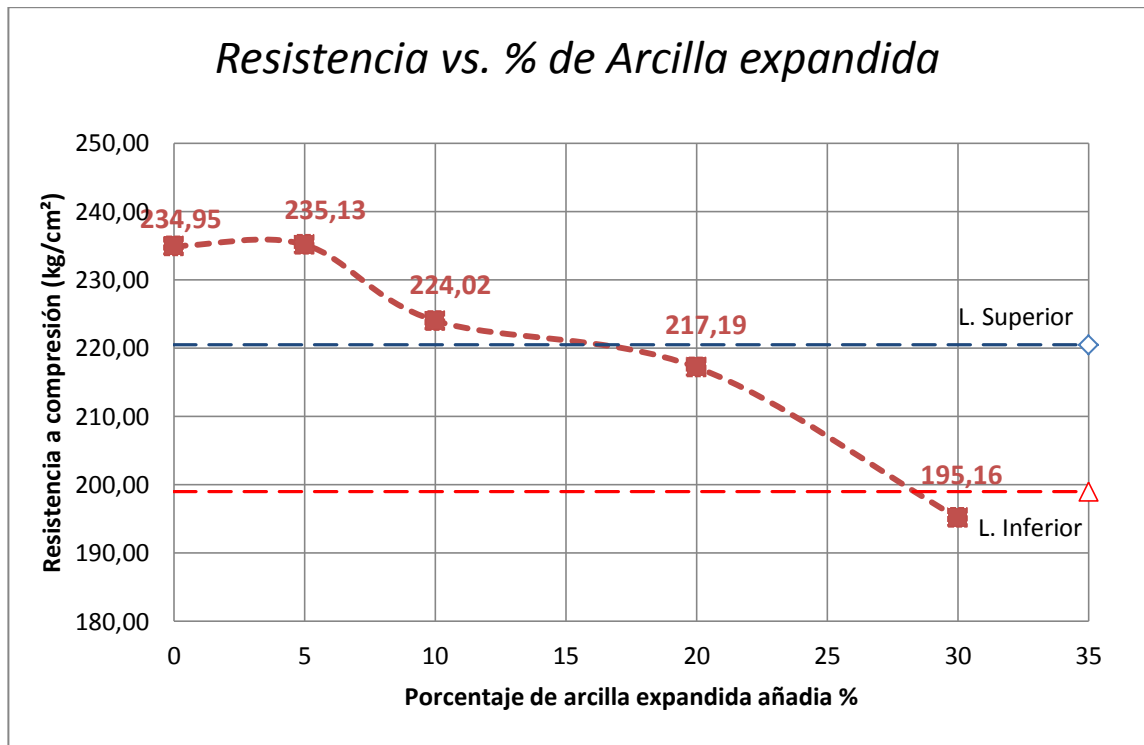
Interpretación:

Como se muestra en la gráfica 23 a los 14 días de edad en las muestras con 5% de arcilla expandida se obtiene la mayor resistencia con 195,28 kg/cm², mientras que en el hormigón normal se obtiene una resistencia de 194,06 kg/cm², para los demás porcentajes de 10%, 20% y 30% el hormigón tiende a disminuir su resistencia a la compresión.

Cabe recalcar que la mayor resistencia se obtiene en los cilindros con 5% de arcilla expandida llegando a estar por encima del límite superior establecido.

Límite Inferior = 80% (168 kg/cm²); Límite Superior = 90% (189 kg/cm²)

Gráfico 24. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 28 días de edad.



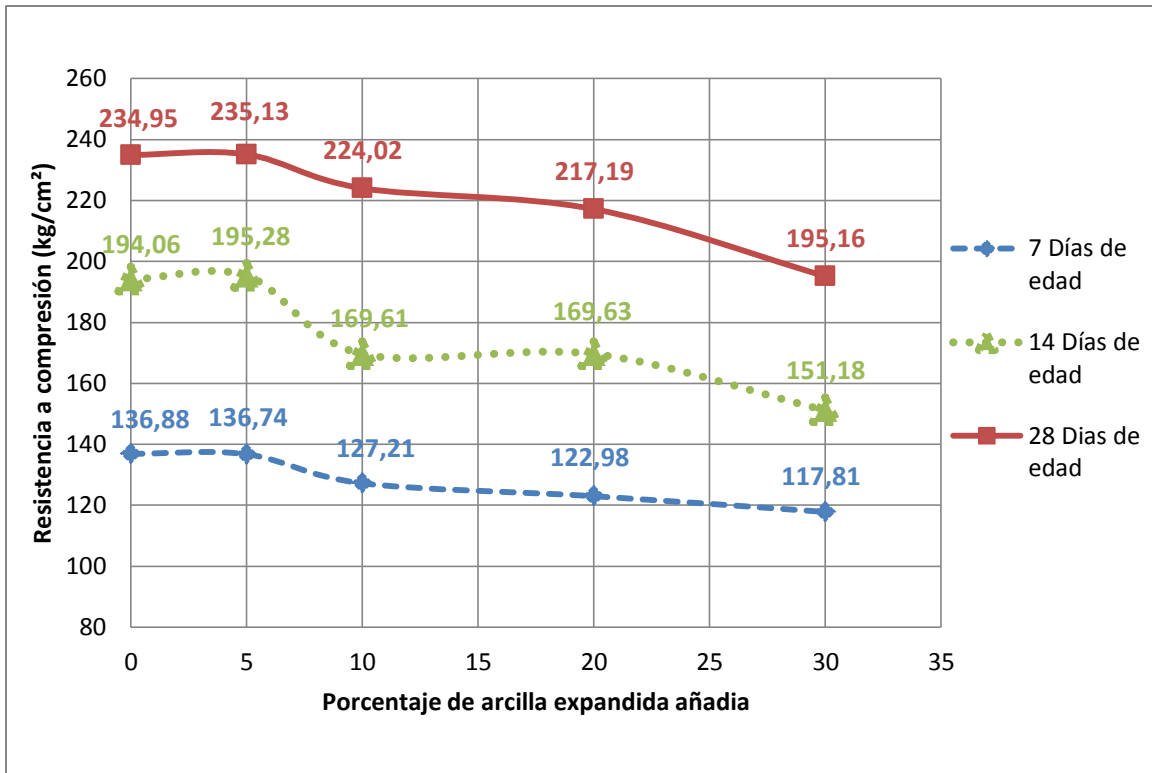
Fuente: Stuart Díaz López

Interpretación:

En el hormigón de 28 días se obtiene la misma tendencia que a los 7 y 14 días de edad llegando a la mayor resistencia a la compresión en las muestras con 5 % de arcilla expandida con resultados de 235.13 kg/cm², para el hormigón normal se llega a una resistencia de 234.95 kg/cm² mientras que las muestras con 10% una resistencia de 224.02 kg/cm², con 20% una resistencia de 217.19 kg/cm² y con el 30% una resistencia de 195.16 kg/cm² siendo esta la única que se encuentra en el límite inferior, todas las anteriores sobrepasan el límite superior establecido.

Límite Inferior = 95% (199.5 kg/cm²) - Promedio = 100% (210 kg/cm²) - Límite Superior = 105% (220.5 kg/cm²).

Gráfico 25. Curva Resistencia del Hormigón vs. % de Arcilla expandida a los 7, 14 y 28 días de edad.

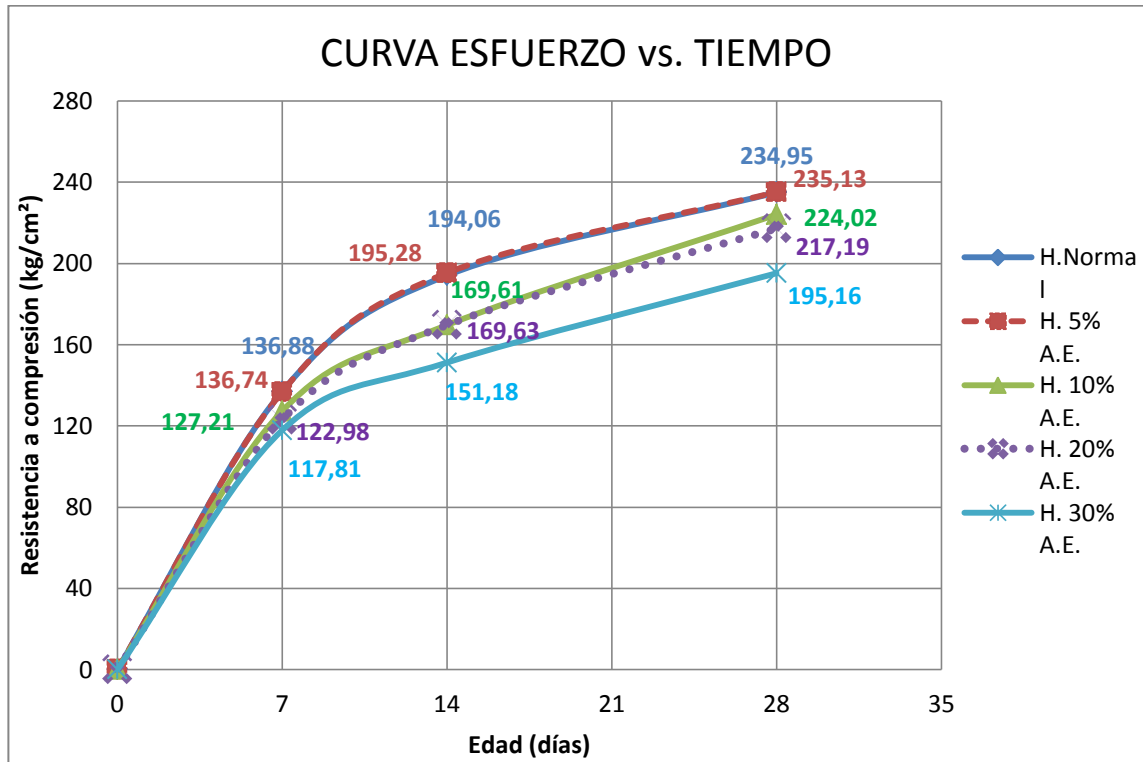


Fuente: Stuart Díaz López

Interpretación:

El grafico 25 muestra un resumen de la resistencia a la compresión realizado a los cilindros de hormigón para las edades de 7, 14 y 28 días de edad, muestra la tendencia que se genera con los diferentes porcentajes de arcilla expandida, por lo cual se establece que el hormigón con 5% de arcilla expandida obtiene las máximas resistencias con límites superiores a los demás, mientras que con un aumento del porcentaje de arcilla expandida a partir del 10% la resistencia tiende a disminuir ligeramente.

Gráfico 26. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Tiempo.

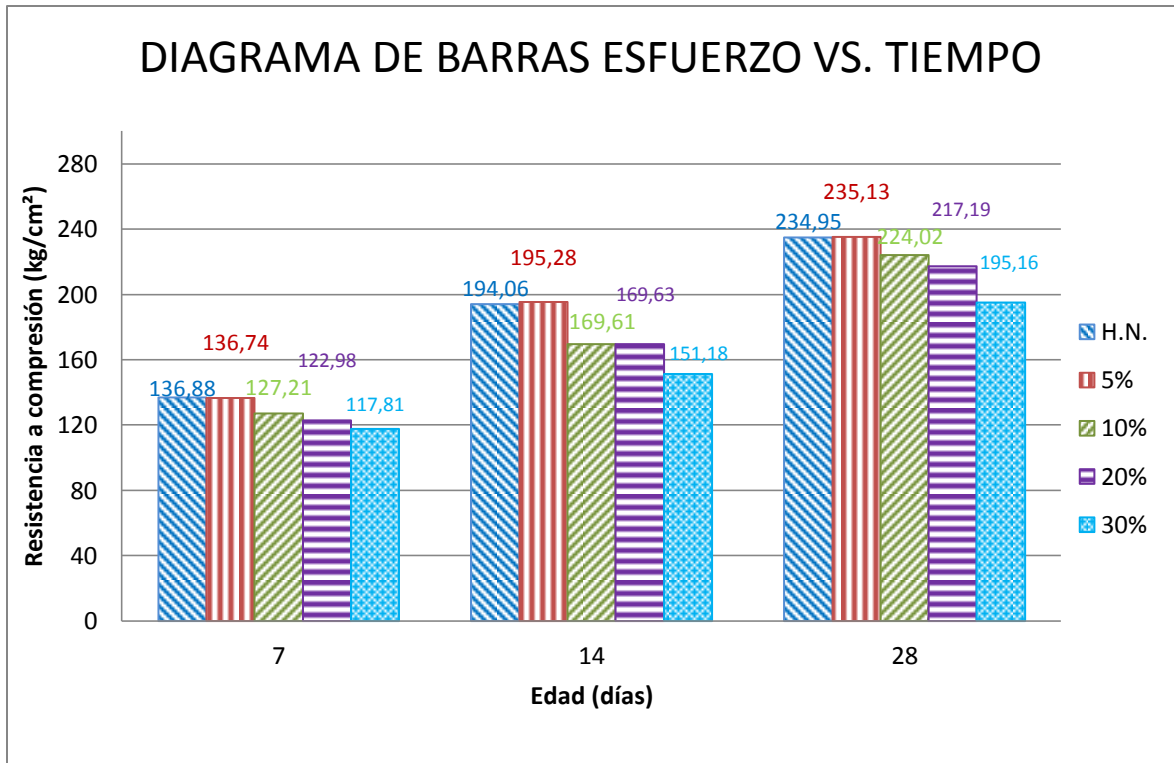


Fuente: Stuart Díaz López

Interpretación:

El grafico 26 representa el comportamiento de cada muestra de hormigón con diferentes porcentajes de arcilla expandida que tuvo con respecto al tiempo en 7, 14 y 28 días de edad, la muestra con 30% de arcilla expandida tiene una curva de crecimiento con una resistencia por debajo de las demás, las muestras con 10% y 20% mejoran en resistencia siendo muy similares, y las muestras de hormigón normal y 5% de arcilla expandida representan curvas de crecimiento con las mayores resistencias. Todas estas curvas de crecimiento aumentan con el paso del tiempo.

Gráfico 27. Diagrama de barras Esfuerzo del Hormigón vs. Tiempo.



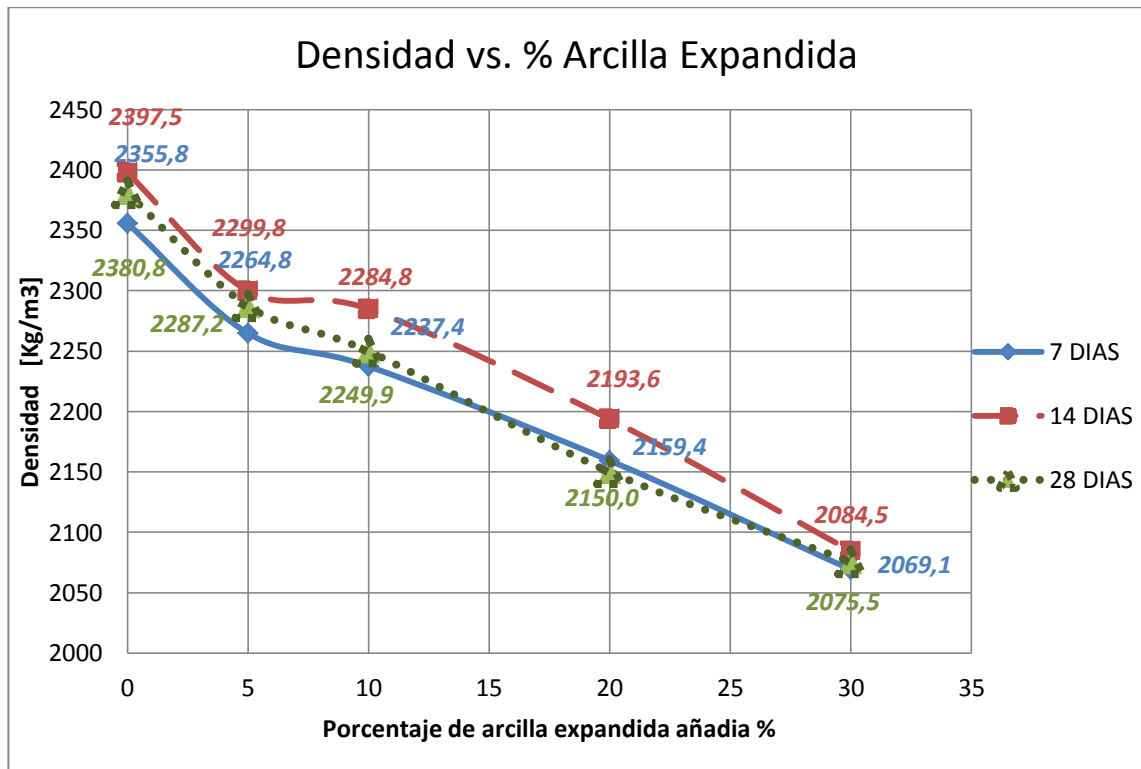
Fuente: Stuart Díaz López

Interpretación:

En el diagrama de barras esfuerzo vs tiempo se muestra las distintas resistencias del hormigón a los 7, 14 y 28 días de edad, a los 7 días de edad muestran una resistencia mayor para el hormigón normal dando un resultado de 136.88 kg/cm² con los demás porcentajes tiende a disminuir su resistencia en un 7.8%.

En las muestras a los 14 días de edad la mayor resistencia se encuentra con un 5% de arcilla expandida dando como resultado 195.28 kg/cm² por encima de las demás. Finalmente las muestras a los 28 días de edad obtienen las resistencias requeridas estando dentro de los límites establecidos a excepción de la muestra con 30%.

Gráfico 28. Curva Densidad vs. Porcentaje de arcilla expandida del Hormigón endurecido.



Fuente: Stuart Díaz López

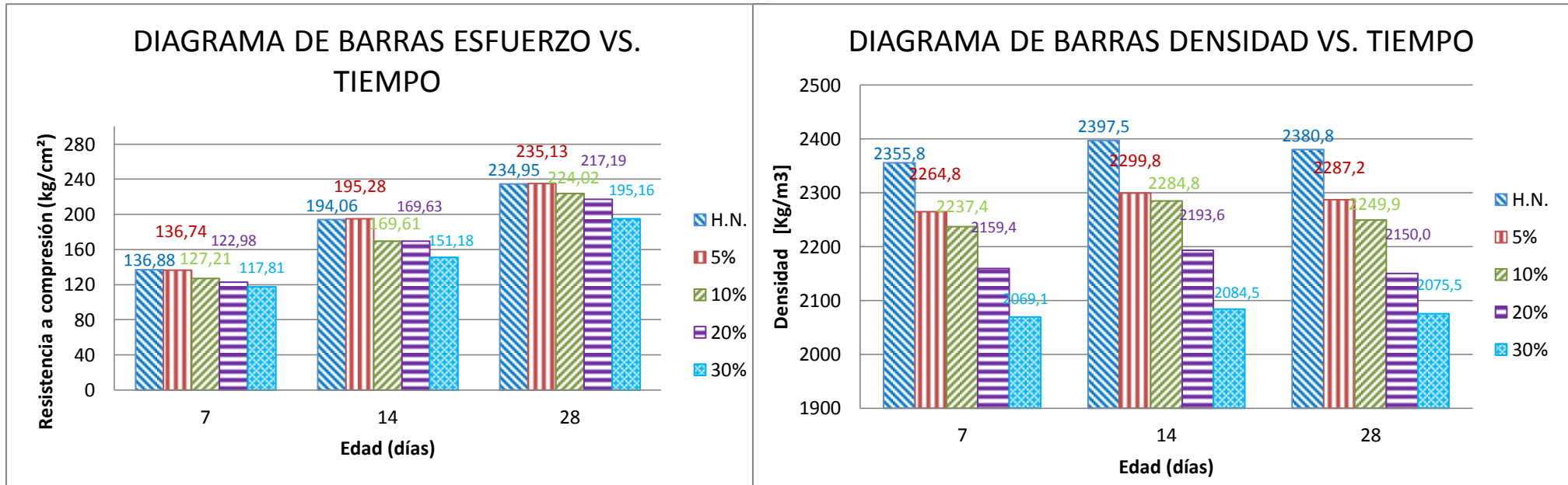
Interpretación:

De los resultados obtenidos del hormigón en estado endurecido de resistencia 210 kg/cm², mientras más alto es el porcentaje de arcilla expandida el peso específico del hormigón tiende a disminuir significativamente. A los 28 días de edad el hormigón normal obtiene un peso específico de 2380,78 kg/m³, con el 30% un peso específico de 2075,55kg/m³, reduciendo el peso específico del hormigón en un 17% en comparación al normal.

Se puede establecer que con un 30% de arcilla expandida se obtienen pesos específicos cercanos a los pesos específicos de un hormigón alivianado establecido según las normas ASTM.

DIFERENCIA ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON DENSIDAD DEL HORMIGON

Gráfico 29. Comparación de diagramas de barras esfuerzo vs. tiempo y densidad vs. tiempo.



Fuente: Stuart Díaz López

Fuente: Stuart Díaz López

4.2.1. Análisis de precios Unitarios

Tabla N°31. Análisis de precios unitarios de Hormigón simple $f'c= 210\text{Kg/cm}^2$.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | | |
|---|---------------|-------------|---------------------|------------------|----------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
| | | | | | UNIDAD= m3 |
| DETALLE : Hormigón Simple 210kg/cm2 | | | | | |
| EQUIPO DESCRIPCION | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
| Herramienta Menor 2% de M.O. | | | | | 1,57 |
| 1,57Concretera 1 saco | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 1,40 | 7,00 |
| SUBTOTAL | | | | | 8,57 |

| MANO DE OBRA DESCRIPCION | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
|--------------------------|---------------|----------------|---------------------|------------------|----------------|
| Peón EO E2 | 3,00 | 3,26 | 9,78 | 2,80 | 27,38 |
| Albañil/Carpintero EO D2 | 2,00 | 3,30 | 6,60 | 2,80 | 18,48 |
| Ayudante EO E2 | 1,00 | 3,26 | 3,26 | 2,80 | 9,13 |
| Maestro Mayor EO C1 | 1,00 | 3,66 | 3,66 | 2,80 | 10,25 |
| SUBTOTAL | | | | | 65,24 |

| MATERIALES DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO C=A*B |
|----------------------------|--------|---------------|-------------------|----------------|
| CEMENTO HOLCIM | sacos | 7,42 | 8,20 | 60,84 |
| PETREOS ARENA NEGRA | m3 | 0,43 | 20,00 | 8,60 |
| PETREOS RIPIO TRITURADO | m3 | 0,81 | 25,00 | 20,25 |
| ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) | kg | 0 | 0,00 | 0,00 |
| AGUA | lts | 215,21 | 0,10 | 21,52 |
| SUBTOTAL | | | | 111,22 |

| | |
|----------------------------------|---------------|
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | 185,03 |
| INDIRECTOS (%) 0,00% | 0,00 |
| UTILIDAD (%) 0,00% | 0,00 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | 185,03 |
| VALOR UNITARIO | 185,03 |

Fuente: Stuart Díaz López

Tabla N°32. Análisis de precios unitarios de Hormigón añadido 5% de arcilla expandida.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | | |
|---|---------------|-------------|---------------------|------------------|----------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | |
| DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO ÁRIDO DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO GRUESO | | | | | |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
| | | | | | UNIDAD= m3 |
| DETALLE : Hormigón añadido 5% de arcilla expandida 210kg/cm2 | | | | | |
| EQUIPO DESCRIPCION | CANTIDAD A | TARIFA B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
| Herramienta Menor 2% de M.O. | | | | | 1,57 |
| 1,57Concretera 1 saco | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 1,40 | 7,00 |
| SUBTOTAL | | | | | 8,57 |

| MANO DE OBRA DESCRIPCION | CANTIDAD A | JORNAL/HR B | COSTO HORA C=A*B | RENDIMIENTO R | COSTO D=C*R |
|--------------------------|---------------|----------------|---------------------|------------------|----------------|
| Peón EO E2 | 3,00 | 3,26 | 9,78 | 2,80 | 27,38 |
| Albañil/Carpintero EO D2 | 2,00 | 3,30 | 6,60 | 2,80 | 18,48 |
| Ayudante EO E2 | 1,00 | 3,26 | 3,26 | 2,80 | 9,13 |
| Maestro Mayor EO C1 | 1,00 | 3,66 | 3,66 | 2,80 | 10,25 |
| SUBTOTAL | | | | | 65,24 |

| MATERIALES DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD A | PRECIO UNIT. B | COSTO C=A*B |
|----------------------------|--------|---------------|-------------------|----------------|
| CEMENTO HOLCIM | sacos | 7,42 | 8,10 | 60,10 |
| PETREOS ARENA NEGRA | m3 | 0,43 | 20,00 | 8,60 |
| PETREOS RIPIO TRITURADO | m3 | 0,75 | 25,00 | 18,75 |
| ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA) | kg | 17,6 | 0,323 | 5,68 |
| AGUA | lts | 215,21 | 0,10 | 21,52 |
| SUBTOTAL | | | | 114,66 |

| | |
|----------------------------------|---------------|
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | 188,47 |
| INDIRECTOS (%) 0,00% | 0,00 |
| UTILIDAD (%) 0,00% | 0,00 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | 188,47 |
| VALOR UNITARIO | 188,47 |

Fuente: Stuart Díaz López

4.2.2 FALLAS EN ENSAYOS REALIZADOS A CILINDROS DE HORMIGÓN

Se realizaron ensayos a la compresión a diferentes cilindros de hormigón adicionando árido de arcilla expandida en sustitución parcial del agregado grueso, con lo cual se generaron diferentes tipos de fallas.

Gráfico 30. *Ensayo a compresión a los 28 días.*

Con 0 % de arcilla expandida



Fuente: Stuart Díaz

En los ensayos realizados al hormigón normal se presenta fallas tipo 3 con fisura vertical por compresión en el extremo inferior.

Gráfico 31. *Ensayo a compresión a los 28 días.*

Con 5 % de arcilla expandida



Fuente: Stuart Díaz

En los cilindros de hormigón con 5 % de arcilla expandida se presenta fallas tipo 3 y tipo 5 con fisuras verticales por compresión ocurren generalmente cuando se usan placas de neopreno.

Gráfico 32. *Ensayo a compresión a los 28 días.*

Con 10 % de arcilla expandida



En los ensayos con 10 % de arcilla expandida se presenta fallas tipo 2 y tipo 5 como mal formado y con desprendimiento del hormigón.

Fuente: Stuart Díaz

Gráfico 33. *Ensayo a compresión a los 28 días.*

Con 20 % de arcilla expandida



En el hormigón con 20 % de arcilla expandida se presenta fallas tipo 5 con fracturas a los lados en el extremo inferior debido al uso de placas de neopreno.

Fuente: Stuart Díaz

Gráfico 34. *Ensayo a compresión a los 28 días.*

Con 30 % de arcilla expandida



La muestra de hormigón con 30% de arcilla expandida presenta fallas tipo 2 como bien formado en la parte superior e inferior con desprendimiento de hormigón por concentración de esfuerzos.

Fuente: Stuart Díaz

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

A partir del análisis de los resultados obtenidos del hormigón normal y hormigón adicionado árido de arcilla expandida con dosificación de 210 kg/cm^2 , se puede comprobar que el uso de la arcilla expandida con sus diferentes porcentajes influye en la resistencia del hormigón, dando como resultado que a menor porcentaje de arcilla expandida mayor es la resistencia a compresión.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el hormigón con diferentes porcentajes de arcilla expandida la trabajabilidad y la homogeneidad se mantenían a medida que se aumentaba el porcentaje de arcilla expandida, obteniendo asentamientos de 8 a 8.5 cm dentro de los límites de una consistencia blanda.
- En los ensayos a compresión realizados a los 7 días de edad con dosificación de 210 kg/cm^2 , en las muestras cilíndricas de hormigón normal se obtuvo resultados de $136,88 \text{ kg/cm}^2$ siendo el de mayor resistencia, en las muestras con arcilla expandida con 5% se obtuvo una resistencia de $136,74 \text{ kg/cm}^2$ ligeramente igual a la del hormigón normal, las muestras con 10% - $127,21 \text{ kg/cm}^2$, con 20% - $122,98 \text{ kg/cm}^2$ y con 30% - $117,81 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia.
- En los ensayos a compresión realizados a los 14 días de edad, con hormigón normal se obtuvo una resistencia de $194,06 \text{ kg/cm}^2$, con 5% de arcilla expandida obtuvo $195,28 \text{ kg/cm}^2$ siendo la de mayor resistencia, las muestras con 10% - $169,61 \text{ kg/cm}^2$, con 20% - $169,63 \text{ kg/cm}^2$ y con 30% - $151,18 \text{ kg/cm}^2$ disminuyendo ligeramente.
- En los ensayos realizados a los 28 días de edad el hormigón con 5% de arcilla expandida obtuvo resultados de $235,13 \text{ kg/cm}^2$ llegando a ser el de mayor resistencia, en las muestras con 10% - $224,02 \text{ kg/cm}^2$, con 20% - $217,19 \text{ kg/cm}^2$ y con 30% - $195,16 \text{ kg/cm}^2$ disminuyendo ligeramente su resistencia.

- De los resultados obtenidos a los 28 días de edad, se concluye que, con el 5% de arcilla expandida se alcanza la mayor resistencia con un 12% por encima de la resistencia requerida, para los demás porcentajes la resistencia tiende a disminuir ligeramente, pero alcanzando igualmente las resistencias requeridas, a excepción de la muestra con 30% de arcilla expandida siendo la única que no logra la resistencia solicitada con una reducción del 7,06%.
- Se concluyó que el decrecimiento de la resistencia del hormigón a mayor porcentaje de arcilla expandida puede darse debido a su alta porosidad demorando de esta manera el tiempo de fraguado según el especificado, por este motivo se debe relacionar un mayor tiempo de fraguado según el porcentaje de arcilla expandida para así obtener mayores resistencias.
- Los pesos específicos del hormigón fresco obtuvieron resultados con variaciones importantes llegando a obtener pesos de 2061 kg/m^3 , y para el hormigón endurecido pesos de $2075,5 \text{ kg/m}^3$ reduciendo su peso significativamente, esto se debe a la baja densidad que posee el material por su porosidad interna lo que optimizó la relación peso resistencia llegándole a dar al hormigón un peso cercano al de un hormigón alivianado.
- Por medio del análisis de los resultados obtenidos, un porcentaje óptimo que mejora la resistencia y disminuye la densidad es el hormigón elaborado con 20% de arcilla expandida en sustitución del agregado grueso llegando a tener las mejores resistencias desde los 14 días de edad con un precio relativamente igual al de un hormigón normal aumentando en un 1.86% por cada porcentaje.
- El empleo de arcilla expandida en la elaboración de hormigón ofrece algunas ventajas y beneficios debidos a que la arcilla expandida no contiene materiales

orgánicos ni sus derivados de esta manera no se degrada con el paso del tiempo, incluso en malas condiciones de temperatura o humedad. Además es libre de contener o emitir sílice, convirtiéndolo en un material natural y ecológico. [2]

- Se puede concluir que la arcilla expandida es aplicable para la elaboración de hormigones debido a su resistencia y ligereza, pudiendo reducir las cargas sobre estructuras como losas o muros, aumentando longitudes en elementos estructurales ya sea en vigas que requieren de grandes distancias, también puede ser aplicable en rellenos para instalaciones de tuberías reduciendo las presiones y las cargas sobre las mismas.
- Para finalizar se concluye que la elaboración de hormigón simple con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleando árido de arcilla expandida con porcentajes del 5 al 20% en sustitución parcial del agregado grueso es una posibilidad viable estructuralmente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Verificar que los agregados a utilizar se encuentren con las mismas condiciones de humedad con las que se realizó la dosificación, con el fin de garantizar los resultados para cada porcentaje de arcilla expandida añadida.
- Antes de proceder a la dosificación del hormigón comprobar las propiedades de los agregados que van a ser utilizados en el hormigón debido a que tienden a variar según su origen.
- Colocar una mínima cantidad de aceite en los moldes cilíndricos durante la realización de las muestras de hormigón, para evitar que esto afecte en la resistencia a la compresión del hormigón.
- Verificar que los moldes se encuentren bien ajustados para evitar derrames de la mezcla de hormigón debido a la presión que ésta hace sobre el molde.
- Se recomienda dejar reposar la arcilla expandida sobre agua unos minutos antes de ser aplicada en la mezcla de hormigón, para evitar una modificación en la relación agua cemento ya que la arcilla expandida absorbe una mayor cantidad de agua debido a su alta porosidad.
- Para la realización de hormigón con arcilla expandida se recomienda realizar la compactación de los cilindros de hormigón mediante varillado, para evitar que el material sobresalga en la superficie y extraer acumulaciones de aire, garantizando que el hormigón no sea poroso.
- Dejar curar los cilindros de hormigón en una cámara de curado que se encuentre a una temperatura de 23 ± 2 grados centígrados para brindar un mejor tratamiento al hormigón.

- Al retirar las muestras de hormigón de la cámara de curado es recomendable hacerlo una hora antes de realizar los ensayos a compresión, para impedir concentraciones de agua y provocar falla anticipada del cilindro.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. T. Garcia Pérez, *Diseño de Hormigones Dirigido a la Aplicación*, Catalunya, Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [2] J. C. CUBAUD and M. MURAT, "Fabricación industrial de arcilla expandida," in *Materiales de Construcción Vol. 19*, España, 1969, p. 5.
- [3] F. B. N. Vandenbussche, *Procedimiento para fabricar gránulos de arcilla expandida y gránulos obtenidos mediante la puesta*, Madrid, 2005.
- [4] D. E. Hou Huang, J. L. Caicedo Chica and A. A. Falconi Pincay, "www.dspace.espol.edu.ec," 30 Octubre 2009. [Online]. [Accessed 7 Julio 2016].
- [5] N. Arnoldo, A. Gabriel, B. Verónica, C. Maria and F. Fabricio, "Hormigones con agregados livianos," Argentina, 2003, pp. 3-6.
- [6] American Concrete Institute (ACI 318), *Requisitos de reglamento para concreto estructural*.
- [7] D. G. Y. VERA and D. W. V. APOLINARIO, *Hormigón Liviano de Alto Desempeño con Arcilla Expandida*, Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, 2015.
- [8] Arqhys, "<http://www.arqhys.com/>," Diciembre 2012. [Online]. [Accessed 20 Agosto 2016].
- [9] J. C. MacCormac, *Diseño de Concreto Reforzado*, 5ta ed, México, D. F: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2005.

- [10] NTE INEN 0152, Cemento Portland. Requisitos, Quito, 2012.
- [11] NTE INEN 1762, Hormigón Definiciones y terminología, Curva granulométrica, Quito - Ecuador, 2014.
- [12] ASTM C 136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- [13] T. Edison, Ensayo de Materiales II, UNACH Escuela de Ing. Civil, Riobamba, 2014.
- [14] M. A. Gabalec, Tiempo de Fraguado del Hormigón, Universidad Tecnológica Nacional, LEMaC, 2008.
- [15] ACI 318-14, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
- [16] ASTM C31/C31M, Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, CrossRef.
- [17] ASTM C39, "Determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto.," *ASTM Internationa Cross Ref.*
- [18] Standard Practice for Agencies Testing Concrete ASTM C 1077, "Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation," *CrossRef.*
- [19] Tecmared, "Construible," 29 01 2013. [Online]. Available: www.construible.es/productos/arcilla-expandida-laterlite. [Accessed 09 2016].
- [20] OJD Interactiva, "Arcilla Expandida Laterlite," *Construible. Tecma Red S.L.*, 2013.
- [21] NTE INEN 696, «Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso», Quito, 2011.

- [22] ASTM C33, Especificación Normalizada Estandar para Agregados de Concreto. CrossRef.
- [23] ACI 318S-05 , Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
- [24] S. Medina. Ensayo de Materiales II. Ambato, Ecuador, 2013

2. ANEXOS

2.1. Fotografías de los ensayos realizados

Fotografía 1. Tamizado de los agregados fino y grueso.

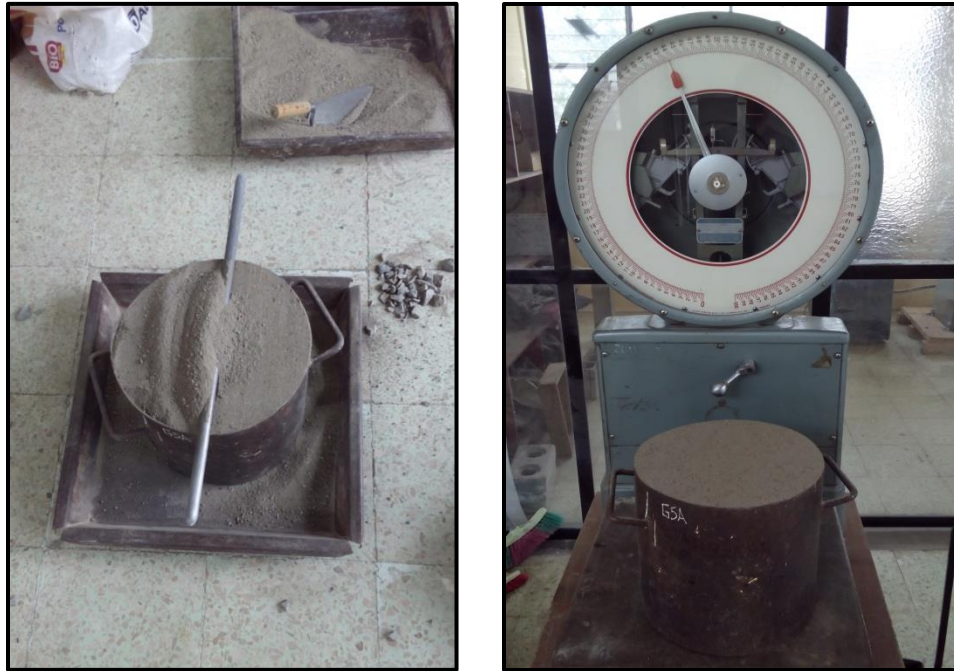


Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 2. Ensayo densidad aparente compacta del agregado grueso.



Fotografía 3. Ensayo densidad aparente compacta del agregado fino.



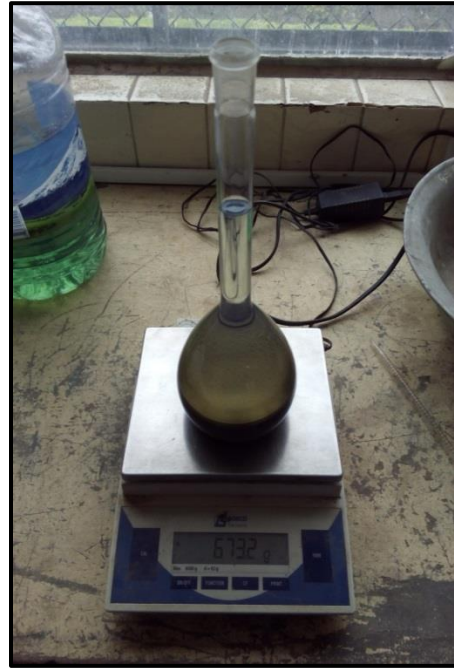
Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 4. Ensayo densidad óptima de los agregados.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 5. Ensayo densidad real del cemento.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 6. Ensayo densidad real del agregado fino.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 7. Ensayo densidad real del agregado grueso.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 8. Ensayo capacidad de absorción de los agregados.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 9. Elaboración de cilindros de hormigón normal.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 10. Ensayo del cono de Abrams.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 11. Medición de asentamiento del hormigón.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 12. Elaboración de cilindros de hormigón con arcilla expandida.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 13. Enrasamiento y fraguado de cilindros de hormigón.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 14. Desencofrado de cilindros de hormigón.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 15. Curado de cilindros de hormigón.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 16. Ensayos a compresión de muestras de hormigón



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 17. Ensayos a compresión de muestras de hormigón.



Fuente: Stuart Díaz

Fotografía 18. Tipos de fallas en muestras de hormigón.



Fuente: Stuart Díaz