

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto De Investigación Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

**HORMIGÓN DE BAJA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA SU USO EN
MAMPUESTO UTILIZANDO COMO AGREGADOS CENIZA Y ESCORIA DEL
VOLCÁN TUNGURAHUA.**

Autor:

Carlos Alberto Valles Andino

Tutor:

Ing. Alexis Omar Martínez Espinoza MSc.

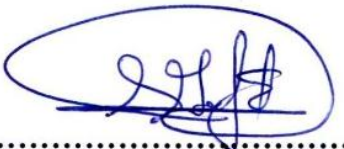
Riobamba – Ecuador

2019

REVISIÓN

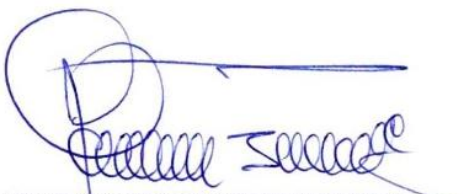
Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “HORMIGÓN DE BAJA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA SU USO EN MAMPUESTO UTILIZANDO COMO AGREGADOS CENIZA Y ESCORIA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA.” presentado por **Carlos Alberto Valles Andino** y dirigida por: Ing. Alexis Martínez MSc. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Ing. Alexis Martínez MSc.
Tutor Del Proyecto



.....
Firma

Ing. Javier Palacios MSc.
Miembro Del Tribunal



.....
Firma

PhD. Víctor García
Miembro Del Tribunal



.....
Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Alexis Omar Martínez Espinoza**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “HORMIGÓN DE BAJA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA SU USO EN MAMPUESTO UTILIZANDO COMO AGREGADOS CENIZA Y ESCORIA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA.”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor **Carlos Alberto Valles Andino** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



.....
Ing. Alexis Martínez MSc.

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Carlos Alberto Valles Andino e Ing. Alexis Omar Martínez Espinoza y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Carlos Alberto Valles Andino

C.I. 060497671-2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la valentía para superar las dificultades y esforzarme cada día para ser una mejor persona.

A mis padres: Zenaida Andino y Carlos Valles, por ser el motor que me impulsa a salir adelante, a mis hermanos Tomas y Ximena por estar presente cuando los necesito, a mi tía Mariana Andino por haber asumido un papel de madre durante mi infancia, a mi querida mamita Clara Dolores Aguirre y a mi querido papá Tomas Andino quienes siempre trabajaron por inculcar en su familia la semilla del bien a los cuales espero no decepcionar y continuar con su legado.

Agradezco también de manera muy especial al MSc. Alexis Omar Martínez Espinoza, al PhD. Víctor García y MSc. Javier Palacios, quienes me han ayudado con sus consejos y conocimientos para la realización de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por darme la vida y ayudarme a cumplir uno de mis sueños y a toda mi familia por estar impulsándome en los momentos en los que pensé rendirme, ya saben que los quiero mucho y es por ustedes que me esfuerzo para ser una mejor persona.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Ventajas de la utilización del hormigón de baja conductividad térmica	4
3.2. Porque del uso de la ceniza y la escoria del volcán Tungurahua para la realización del hormigón propuesto en esta investigación	6
3.3. Conductividad térmica de diferentes tipos de hormigón	10
3.4. Método de ensayo para determinar el coeficiente de conductividad térmica	10
4. METODOLOGÍA	14
4.1. Revisión bibliográfica.....	15
4.2. Obtención de materiales.....	15
4.3. Elaboración de ensayos a los materiales.....	16
4.4. Determinación de las dosificaciones.....	22
4.5. Elaboración de las probetas de hormigón	23
4.6. Inspección de las probetas	24
4.7. Realización de ensayos	24
4.8. Análisis de resultados y discusión	25
4.9. Conclusiones y recomendaciones	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1. Ensayos a los materiales que se utilizaran en la elaboración del hormigón	26
5.2. Determinación de las dosificaciones.....	38
5.3. Elaboración de probetas.....	40
5.4. Resultados alcanzados en los ensayos realizados a compresión simple	43

5.5. Conductividad térmica de las dosificaciones realizadas	52
6. CONCLUSIONES	55
7. RECOMENDACIONES	56
8. BIBLIOGRAFÍA.....	57
9. ANEXOS.....	59
Anexo 1 Masa unitaria compactada de los agregados gruesos	59
Anexo 2 Contenido de humedad de los agregados	61
Anexo 3 Densidad y porcentaje de absorción de los agregados	63
Anexo 4 Densidad del cemento	66
Anexo 5 Determinación de la dosificación.....	66
Anexo 6 Resultados de los ensayos realizados a las probetas de hormigón	76
Anexo 7 Certificación de la realización de los ensayos de conductividad térmica en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE	90
Anexo 8 Evidencias Fotográficas	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la ceniza volcánica.....	7
Tabla 2. Composición química de la escoria volcánica.....	9
Tabla 3. Conductividad térmica según su densidad de diferentes tipos de hormigón.....	10
Tabla 4. Masa unitaria compactada de los agregados gruesos utilizados en las dosificaciones	27
Tabla 5. Granulometría de la escoria del volcán Tungurahua	28
Tabla 6. Granulometría del agregado grueso de la mina Sillahuan	29
Tabla 7. Granulometría de la arena de río de la mina Hormigones Moreno	31
Tabla 8. Contenido de humedad de los agregados utilizados en las dosificaciones.....	32
Tabla 9. Densidad (SH) y porcentaje de absorción de los agregados gruesos utilizados en las dosificaciones.....	33

Tabla 10. Densidad (SH) y porcentaje de absorción de la arena de río utilizada en las dosificaciones	34
Tabla 11. Densidad del cemento Chimborazo utilizado en las dosificaciones.....	35
Tabla 12. Resumen de ensayos a los materiales utilizados en la dosificación con agregado grueso de la mina Sillahuan.....	36
Tabla 13. Resumen de ensayos a los materiales utilizados en las dosificaciones con escoria del volcán Tungurahua	37
Tabla 14. Composición química de la ceniza del volcán Tungurahua	38
Tabla 15. Dosificación teórica para el volumen requerido con agregado grueso de la mina Sillahuan.....	39
Tabla 16. Dosificación teórica para el volumen requerido con escoria del volcán Tungurahua.....	40
Tabla 17. Dosificación número 1 con agregado grueso de la mina Sillahuan obtenida después de realizar la corrección agua/cemento.....	41
Tabla 18. Dosificación número 2 con escoria del volcán Tungurahua obtenida después de realizar la corrección agua/cemento	41
Tabla 19. Dosificación número 3 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 5% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento	42
Tabla 20. Dosificación número 4 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 10% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento	42
Tabla 21. Dosificación número 5 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 15% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento	43
Tabla 22. Resumen de las densidades y resistencias alcanzadas a los 7 y 28 días de edad.	44
Tabla 23. Análisis de varianza ANOVA para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	45
Tabla 24. Aplicación del método de TUKEY para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada.....	45
Tabla 25. Análisis de varianza ANOVA para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	47
Tabla 26. Aplicación del método de TUKEY para los esfuerzos obtenidos a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada.....	47

Tabla 27. Análisis de varianza ANOVA para las densidades obtenidas a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	49
Tabla 28. Aplicación del método de TUKEY para las densidades obtenidas a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada.....	49
Tabla 29. Análisis de varianza ANOVA para las densidades obtenidas a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	50
Tabla 30. Aplicación del método de TUKEY para las densidades obtenidas a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada.....	51
Tabla 31. Resumen de los ensayos a conductividad térmica por cada una de las dosificaciones realizadas	52
Tabla 32. Análisis de varianza ANOVA para la conductividad térmica obtenida a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	53
Tabla 33. Aplicación del método de TUKEY para la conductividad térmica obtenida a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada	53
Tabla 34. Masa unitaria compactada de la escoria del volcán Tungurahua	59
Tabla 35. Masa unitaria compactada del agregado grueso de la mina Sillahuan	60
Tabla 36. Humedad de la escoria del volcán Tungurahua.....	61
Tabla 37. Humedad del agregado grueso de la mina Sillahuan.....	61
Tabla 38. Humedad de la arena de río de la Mina Hormigones Moreno utilizada en la dosificación número 1	62
Tabla 39. Humedad de la arena de río de la mina Hormigones Moreno utilizada en las dosificaciones número 2, 3, 4 y 5	62
Tabla 40. Densidad y porcentaje de absorción de la escoria del volcán Tungurahua	63
Tabla 41. Densidad y porcentaje de absorción del agregado grueso de la mina Sillahuan .	64
Tabla 42. Densidad y porcentaje de absorción de la arena de río de la mina Hormigones Moreno	65
Tabla 43. Densidad del cemento Chimborazo mediante el uso del frasco Le Chatelier	66
Tabla 44. Resistencia mínima característica.....	66
Tabla 45. Contenido de aire atrapado	67
Tabla 46. Volumen unitario de agua.....	67
Tabla 47. Relación agua/cemento.....	69

Tabla 48. Masa del agregado grueso por unidad de volumen	71
Tabla 49. Presentación del diseño en estado seco	73
Tabla 50. Presentación del diseño en estado húmedo.....	75
Tabla 51. Presentación del diseño para el volumen requerido	76
Tabla 52. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 1	76
Tabla 53. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 2.....	77
Tabla 54. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 3.....	77
Tabla 55. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 4.....	77
Tabla 56. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 5.....	78
Tabla 57. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 1	78
Tabla 58. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 2.....	78
Tabla 59. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 3.....	79
Tabla 60. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 4.....	79
Tabla 61. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 5.....	79
Tabla 62. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 1	80
Tabla 63. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 2	80
Tabla 64. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 3	80
Tabla 65. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 4	80
Tabla 66. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 5	81
Tabla 67. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 1	81
Tabla 68. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 2	81

Tabla 69. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 3	81
Tabla 70. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 4	82
Tabla 71. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 5	82
Tabla 72. Conductividad térmica de los bloques 1 y 2 de la dosificación número 1	82
Tabla 73. Conductividad térmica de los bloques 3 y 4 de la dosificación número 1	83
Tabla 74. Conductividad térmica de los bloques 5 y 6 de la dosificación número 1	83
Tabla 75. Conductividad térmica de los bloques 11 y 12 de la dosificación número 2	84
Tabla 76. Conductividad térmica de los bloques 13 y 14 de la dosificación número 2	84
Tabla 77. Conductividad térmica de los bloques 15 y 16 de la dosificación número 2	85
Tabla 78. Conductividad térmica de los bloques 21 y 22 de la dosificación número 3	85
Tabla 79. Conductividad térmica de los bloques 23 y 24 de la dosificación número 3	86
Tabla 80. Conductividad térmica de los bloques 25 y 26 de la dosificación número 3	86
Tabla 81. Conductividad térmica de los bloques 31 y 32 de la dosificación número 4	87
Tabla 82. Conductividad térmica de los bloques 33 y 34 de la dosificación número 4	87
Tabla 83. Conductividad térmica de los bloques 35 y 36 de la dosificación número 4	88
Tabla 84. Conductividad térmica de los bloques 41 y 42 de la dosificación número 5	88
Tabla 85. Conductividad térmica de los bloques 43 y 44 de la dosificación número 5	89
Tabla 86. Conductividad térmica de los bloques 45 y 46 de la dosificación número 5	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ensayo para determinar la conductividad térmica en sólidos mediante la aplicación del método de placa caliente.....	13
Figura 2. Esquema formulado de la metodología de la investigación.....	14
Figura 3. Curva granulométrica de la escoria del volcán Tungurahua.....	29
Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina Sillahuan.....	30
Figura 5. Curva granulométrica de arena de río de la mina Hormigones Moreno	31
Figura 6. Esfuerzo a los 7 días de edad del hormigón vs dosificación.....	46
Figura 7. Esfuerzo a los 28 días de edad del hormigón vs dosificación.....	48
Figura 8. Densidad a los 7 días de edad del hormigón vs dosificación	50
Figura 9. Densidad a los 28 días de edad del hormigón vs dosificación.....	52
Figura 10. Conductividad térmica del hormigón vs dosificación.....	54

RESUMEN

Los hormigones de baja conductividad térmica en la actualidad generan un gran interés ya que ayudan a disminuir el consumo energético y evitan la quema de combustibles fósiles para climatizar casas y edificios residenciales. En virtud de ello el objetivo principal de esta investigación fue proponer un hormigón de baja conductividad térmica para su uso en mampuestos utilizando como agregados escoria y ceniza del volcán Tungurahua. Para cumplir con este objetivo se realizó ensayos a los materiales utilizados en la elaboración del hormigón y mediante ellos se diseñó las dosificaciones con una resistencia a la compresión simple igual a 15 MPa. Por cada dosificación se elaboró seis probetas para ser ensayadas a compresión simple y seis para ser ensayadas a conductividad térmica. Así, se determinó que la utilización de escoria del volcán Tungurahua reduce la conductividad térmica en un 21.10% y la densidad en un 14.22% respecto del hormigón en el cual se utilizó agregado grueso de la mina Sillahuan, además se determinó que la utilización de ceniza del volcán Tungurahua incrementa la resistencia y la densidad del hormigón respecto de la dosificación en la cual únicamente se utilizó escoria. El uso de ceniza de volcán Tungurahua no ayuda a reducir la conductividad térmica del hormigón ya que al realizar un análisis de varianza ANOVA las dosificaciones en las que se utilizó ceniza en sus respectivos porcentajes resultaron ser significativamente iguales a la dosificación en la cual se utilizó escoria.

Palabras Clave: hormigón, dosificación, resistencia, densidad, conductividad térmica.

ABSTRACT

The concretes of low thermal conductivity currently generate a great interest as they help to reduce energy consumption and prevent the burning of fossil fuels to heat homes and residential buildings. By this, the primary objective of this research was to propose a concrete of low thermal conductivity for its use in masonry using as aggregates slag and ash from the Tungurahua volcano. To achieve this objective, tests were carried out on the materials used in the manufacture of the concrete, and through them, the dosages were designed with a pure compressive strength equal to 15 MPa. For each dosage, six test pieces were prepared to be tested at simple compression and six to be examined at thermal conductivity. Thus, it was determined that the use of slag from the Tungurahua volcano reduces the thermal conductivity by 21.10% and the density by 14.22% with respect to the concrete in which heavy aggregate from the Sillahuan mine was used, it was also determined that the use of ash of the Tungurahua volcano increases the strength and density of the concrete with respect to the dosage in which the slag was used. The method of Tungurahua volcano ash does not help to reduce the thermal conductivity of the concrete since when performing an ANOVA variance analysis, the dosages in which ash was used in their respective percentages were found to be significantly equal to the dosage in which slag was used.

Keywords: concrete, dosage, resistance, density, thermal conductivity.



Reviewed by: Chávez, Maritza

Language Center Teacher



1. INTRODUCCIÓN

Los materiales de baja conductividad térmica son aquellos materiales usados en la construcción cuya principal característica es su elevada resistencia al paso del calor entre dos medios que poseen diferentes temperaturas, permitiendo que cada ambiente conserve su temperatura. (Larrea & Domínguez, 2011)

Según lo afirma Lakatos (2014) en la actualidad el aislamiento térmico de las casas y edificios residenciales es muy necesario desde el punto de vista del ahorro energético lo que se traduce en ahorro de dinero así como en la disminución en las emisiones de gases causantes del efecto invernadero.

Según Kaynakli (2011) mediante las características que presentan los aislantes térmicos se puede ahorrar significativamente el consumo energético y mejorar el confort climático en casas y edificios residenciales, en especial en climas extremos donde se estima que del total del consumo energético del 30 al 60% se debe a la utilización de aires acondicionados y/o calefactores.

Los hormigones de baja conductividad térmica para la construcción de casas y edificios ahorradores de energía en la actualidad son motivo de gran interés ya que ayudan a satisfacer las necesidades energéticas y reducir el consumo de recursos energéticos de hidrocarburos, estos hormigones son elaborados con materiales alternativos los cuales ayudan a mejorar la eficiencia térmica, sin embargo existe poco conocimiento de los materiales más idóneos para obtener un hormigón eficiente que reduzca al máximo el consumo de recursos energéticos. (Yun, Jeong, Han & Youn. 2013).

Los hormigones de baja conductividad térmica son también denominados hormigones aislantes térmicos estos pertenecen a la rama de hormigones denominados

livianos debido a la naturaleza de los agregados utilizados en su elaboración. Con los avances tecnológicos se ha experimentado con un sin número de agregados livianos de origen natural y artificial que permitan obtener hormigones denominados livianos. Los principales agregados de origen natural utilizados en hormigones livianos son: arcillas, pizarras y escorias, mientras que los agregados de origen artificial son: polietileno y agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz. Sin embargo la mayoría de estos estudios únicamente se centran en la obtención de hormigones denominados livianos más no en determinar la conductividad térmica que estos hormigones presentan. (Suárez & Valdez, 2010).

Según Revelo (2016) al utilizar agregados de origen volcánico (Escoria y Ceniza) la resistencia a la compresión disminuye al igual que la densidad del hormigón, razón por la cual este tipo de hormigón debe ser utilizado en elementos donde se requiera reducir la carga muerta, además este hormigón puede ser utilizado también como elemento de relleno que no soporta cargas estructurales. Es por esto que recomienda realizar estudios que permitan ampliar el campo de utilización de este tipo de hormigón.

Debido a que la sierra centro del Ecuador ha sufrido durante muchos años el proceso eruptivo del volcán Tungurahua dejando como consecuencia una gran cantidad de agregados en las quebradas aledañas a este y que en la actualidad se requiere tener conocimiento de materiales que ayuden a preservar y evitar la contaminación ambiental surge la idea de utilizar estos agregado para realizar un hormigón de baja conductividad térmica que pueda ser utilizado en mampuestos.

Razón por la cual en el trabajo de investigación que se pretende presentar tiene como finalidad realizar un hormigón de baja conductividad térmica para su uso en mampuestos utilizando como agregados escoria y ceniza del volcán Tungurahua.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

Proponer un hormigón de baja conductividad térmica para su uso en mampuestos utilizando como agregados escoria y ceniza del volcán Tungurahua.

2.2.Objetivos Específicos

Realizar los ensayos de laboratorio mediante la aplicación de las normas correspondientes que ayuden a dosificar adecuadamente el hormigón de baja conductividad térmica.

Determinar la densidad y la resistencia a la compresión simple que presentan las probetas de hormigón de cada dosificación realizada a la edad de siete y veintiocho días.

Determinar la conductividad térmica que presentan cada una de las dosificaciones de hormigón elaboradas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Ventajas de la utilización del hormigón de baja conductividad térmica

Los materiales de baja conductividad térmica son aquellos materiales usados en la construcción cuya principal característica es su elevada resistencia al paso del calor entre dos medios que poseen diferentes temperaturas evitando así que estas temperaturas tiendan a igualarse, permitiendo que cada ambiente conserve su temperatura. Debido a que el aire es un mal conductor del calor se puede denominarlo aislante, por lo tanto los hormigones que poseen en su composición agregados altamente porosos encapsulan en su estructura una gran cantidad de aire lo que les vuelve de baja conductividad térmica, debido a la naturaleza de estos hormigones son denominados hormigones livianos ya que su densidad fluctúa entre mil y dos mil kilogramos sobre metro cubico. (Larrea & Domínguez, 2011)

En la actualidad el aislamiento térmico de casas y edificios es sumamente importante desde el punto de vista del ahorro energético, lo que se traduce en ahorro de dinero y la disminución de los gases causantes del efecto invernadero ya que parte de la energía eléctrica que se consume en la actualidad proviene de la quema de combustibles fósiles . Debido a que en una edificación las paredes y techos son las mayores estructuras que aíslan y separan a las edificaciones de la intemperie, son estas que deberían ser realizados con materiales aislantes térmicos. (Lakatos, 2014)

Según Kaynakli (2011) hoy en día es sumamente importante la reducción del consumo energético, por lo tanto los materiales que se debe utilizar en la construcción debe ser materiales de baja conductividad térmica que permitan ahorrar significativamente el consumo energético y mejorar el confort climático en casas y edificios residenciales sin la

necesidad de aires acondicionados y/o calefactores de esta manera se evidencia una reducción del consumo energético de entre el 30 al 60% en especial en climas extremos.

Los hormigones de baja conductividad térmica para la construcción de casas y edificios ahorradores de energía en la actualidad son motivo de gran interés ya que ayudan a satisfacer las necesidades energéticas y reducir el consumo de recursos energéticos de hidrocarburos, estos hormigones son elaborados con materiales alternativos los cuales ayudan a mejorar la eficiencia térmica, sin embargo existe poco conocimiento de los materiales más idóneos para obtener un hormigón eficiente que reduzca al máximo el consumo de recursos energéticos. (Yun, Jeong, Han &Youn. 2013).

Los hormigones de baja conductividad térmica son también denominados hormigones aislantes térmicos estos pertenecen a la rama de hormigones denominados livianos debido a la naturaleza de los agregados utilizados en su elaboración. Con los avances tecnológicos se ha experimentado con un sin número de agregados livianos de origen natural y artificial que permitan obtener hormigones denominados livianos. Los principales agregados de origen natural utilizados en hormigones livianos son: arcillas, pizarras y escorias, mientras que los agregados de origen artificial son: polietileno y agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz. Sin embargo la mayoría de estos estudios únicamente se centran en la obtención de hormigones denominados livianos más no en determinar la conductividad térmica que estos hormigones presentan. (Suárez & Valdéz, 2010).

3.2. Porque del uso de la ceniza y la escoria del volcán Tungurahua para la realización del hormigón propuesto en esta investigación

Los agregados más utilizados en la elaboración de hormigones de baja conductividad térmica son agregados ricos en sílice y escorias livianas. (Suárez & Valdéz, 2010).

Según Zeballos (1996) la ceniza del volcán Tungurahua posee en su composición química un 58% de Sílice (Oxido De Silicio SiO_2) y la escoria del volcán Tungurahua es denominada andesita la cual a su vez posee en su composición 58.7% de Sílice (Oxido De Silicio SiO_2) y es un material altamente poroso de baja masa según García (2016), razón por la cual surge la idea de utilizar estos agregados en la elaboración del hormigón propuesto en esta investigación.

Ceniza del volcán Tungurahua.

La ceniza volcánica se forma durante un proceso de actividad explosiva generada en el interior del volcán, la cual cuarteo las escorias y las separa en diminutas partículas que son expulsadas hasta una altura de treinta kilómetros por encima del cráter, se estima que el volcán Tungurahua desde el inicio de su proceso eruptivo en el año 1992 hasta la actualidad ha expulsado un aproximado de cincuenta millones de metros cúbicos de material volcánico. (Suárez & Urgiles, 2010).

Propiedades de la ceniza del volcán Tungurahua.

Las propiedades de la ceniza del volcán Tungurahua varían a lo largo de las diferentes etapas eruptivas sin embargo se puede resumir las siguientes propiedades.

Propiedades físicas.

Densidad.- La densidad de la ceniza volcánica varía de 0.5 a 3 g/cm³.

Humedad.- La ceniza volcánica presenta una humedad que varía entre 0.1 a 0.25%.

Composición química.

En la tabla que se indica a continuación se resume la composición química que posee la ceniza volcánica.

Tabla 1. *Composición química de la ceniza volcánica*

Sustancia Química	Porcentaje (%)
Óxido de silicio (SiO ₂)	58.00
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	17.20
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	6.75
Óxido de magnesio (MgO)	3.65
Óxido de calcio (CaO)	6.52
Óxido de sodio (Na ₂ O)	4.01
Óxido de potasio (K ₂ O)	1.70
Óxido de titanio (TiO ₂)	0.88
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0.35
Óxido de manganeso (MnO)	0.10

Fuente: Adaptado de Zeballos (1996).

Escoria del volcán Tungurahua.

Las escorias son materiales piroclástico, es decir es un fragmento solido de material volcánico el cual fue expulsado al aire a través de una columna eruptiva, contienen burbujas (vesículas) que son típicamente de varios milímetros de diámetro las cuales se forman al momento de ser expulsadas por el cráter al sufrir una disminución de la presión seguido de una liberación de gases que se buscan paso a través de estas. Las escorias del volcán Tungurahua son de andesita, presentan color negro y brillo vidrioso intenso. (García, 2016).

Composición química de la escoria.

En la tabla que se indica a continuación se resume la composición química que posee la escoria volcánica en general.

Tabla 2. *Composición química de la escoria volcánica*

Sustancia Química	Porcentaje (%)
Óxido de silicio (SiO ₂)	58.7
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	17.27
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	3.31
Óxido de magnesio (MgO)	3.37
Óxido de calcio (CaO)	6.88
Óxido de sodio (Na ₂ O)	3.53
Óxido de potasio (K ₂ O)	1.64
Óxido de titanio (TiO ₂)	0.88
Óxido de fosforo (P ₂ O ₅)	0.31
Óxido de manganeso (MnO)	0.14

Fuente: Adaptado De Le Maitre (1976).

3.3. Conductividad térmica de diferentes tipos de hormigón

Tabla 3. Conductividad térmica según su densidad de diferentes tipos de hormigón

Tipo de Hormigón	Densidad δ (kg/m ³)	Conductividad Térmica λ (W/m*K)
Hormigón armado	$\delta > 2500$	2.5
	$2300 < \delta \leq 2500$	2.3
Hormigón ciclópeo	$2300 \leq \delta \leq 2600$	2.0
	$2000 \leq \delta \leq 2300$	1.6
Hormigón con áridos ligeros	$1800 \leq \delta \leq 2000$	1.35
	$1600 \leq \delta \leq 1800$	1.15
Hormigón convencional	2400	1.90
	2300	1.72
	2200	1.57
	2100	1.44
	2000	1.32
	1900	1.20
	1800	1.12
	1700	1.03
Hormigón con áridos ligeros	1600	0.97
	2000	1.59
	1800	1.22
	1600	0.59
	1500	0.52
	1400	0.46
	1300	0.42
	1200	0.37
	1100	0.34
	1000	0.30
900	0.27	

Fuente: Adaptado de Instituto Eduardo Torroja (2009).

3.4. Método de ensayo para determinar el coeficiente de conductividad térmica

El método recomendado por la norma ASTM 177-85 es el denominado de placa caliente, que como su nombre lo indica consiste en una fuente caliente alimentada por cuatro conductores eléctricos que a su vez se encuentran conectados a dos variadores de tensión para obtener una alimentación progresiva de la corriente eléctrica y que permiten determinar permanentemente la tensión y la corriente, esta placa se ubica en el centro del

equipo y se encuentra recubierta por un metal conductor que puede ser cobre o aluminio. Las probetas que serán ensayadas se ubican a los extremos de la placa caliente y seguido de estas se encuentran las placas denominadas placas frías, las cuales tienen en su interior serpentines por donde una bomba eléctrica hace circular agua fría para mantener constante el flujo de calor, una de las placas frías es denominada placa fría móvil la cual se encuentra adherida a una prensa mecánica cuya finalidad es asegurar el contacto entre las probetas a ser ensayados con las placas frías y caliente. En las caras de las probetas que se encuentran en contacto con la placa fría y la placa caliente se ubican termocuplas para registrar permanentemente las temperaturas. Todo el conjunto formado por la placa caliente, las probetas y las placas frías deben ser recubiertas con un material aislante para que no se produzcan fugas de calor al exterior, de esta manera se forma una especie de emparedado el cual está formado por varias capas, donde el calor se produce eléctricamente en el centro y se trasmite hacia ambos extremos por conducción. Las probetas que se utilizarán en este ensayo deben tener 30 centímetros de alto, 30 centímetros de largo y su espesor puede variar de 5 a 10 centímetros. (Martina, 2003)

3.4.1. Determinación de la conductividad térmica de un material sólido mediante la aplicación del método de placa caliente

Según Matina (2003) para determinar la conductividad térmica en materiales sólidos mediante la aplicación del método denominado de placa caliente se utiliza la Ley De Fourier la cual señala que la conducción de calor o transferencia de energía en forma de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor, el cual se basa en el contacto directo de los cuerpos sin que estos intercambien materia, donde el calor fluye del cuerpo

que posee mayor temperatura hacia el cuerpo que posee una temperatura menor, es por esto que Fourier determinó la siguiente ecuación:

$$Q = \lambda * A * \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

Donde:

Q = Flujo de calor a través del área medida la cual se obtiene al multiplicar la tensión [V] por la corriente [A] registrada en la placa caliente [W].

λ = Coeficiente de conductividad térmica [W/m*K].

A = Área normal a la dirección que atraviesa el flujo [m²].

T_1 = Temperatura registrada por la termocupla entre la placa caliente y la cara de la probeta número 1 [K].

T_2 = Temperatura registrada por la termocupla entre la placa fría móvil y la cara de la probeta número 1 [K].

L = Espesor de la probeta número 1 [m].

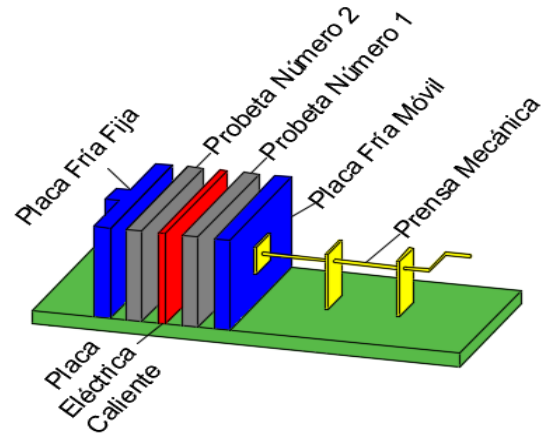


Figura 1. Esquema del ensayo para determinar la conductividad térmica en sólidos mediante la aplicación del método de placa caliente

Elaborado Por: Carlos Valles

Debido a que el coeficiente de conductividad térmica es lo que se pretende calcular la ecuación de Fourier quedaria expresada de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{Q * L}{A * (T_1 - T_2)}$$

4. METODOLOGÍA

En el esquema que se muestra a continuación detalla de manera general el procedimiento utilizado para el desarrollo de la presente investigación.



Figura 2. Esquema formulado de la metodología de la investigación

Elaborado Por: Carlos Valles

4.1.Revisión bibliográfica

Para realizar la búsqueda bibliográfica de información se utilizó bibliotecas virtuales como: Google Académico, Scopus, Web Of Science, entre otras mediante el uso de palabras claves como son: conductividad térmica del hormigón, materiales aislantes térmicos para la construcción de casas y edificios residenciales, ventajas de la utilización de materiales aislantes térmicos en casas y edificios, propiedades físicas y químicas de la ceniza y escoria volcánica, una vez recolectada la bibliografía necesaria para el desarrollo de la investigación propuesta se planteó la metodología que ayudará a determinar si al utilizar escoria y ceniza del volcán Tungurahua para elaborar hormigón, este presentará valores bajos de conductividad térmica y resistencia a la compresión que permitan utilizar este hormigón como una alternativa para su uso en mampuestos.

4.2.Obtención de materiales

Una vez definida la metodología a utilizar en esta investigación se procedió a la obtención de los materiales necesarios para la realización de las dosificaciones de hormigón, primeramente se recolecto la escoria del volcán Tungurahua en la quebrada Quilluyaco ya que en esta se encuentra uno de los principales depósitos de escoria del volcán Tungurahua, está quebrada se encuentra ubicada en la parroquia de Bilbao perteneciente al cantón Penipe, para recolectar dicha escoria se realizó una búsqueda de aquellas que tengan una masa reducida en comparación con rocas comunes y que al ser observadas éstas posean una alta porosidad, una vez recolectado el material necesario se transportó a la mina Sillaguan para ser triturado a un tamaño adecuado para ser utilizado en la elaboración de hormigón, la ceniza fue comprada a personas de la parroquia Puela ya que con el paso del tiempo ya no se encuentra ceniza pura en las quebradas por donde

evacuó dicho material en volcán Tungurahua, debido a que la ceniza del volcán Tungurahua presenta un alto contenido de óxido de silicio (Sílice), esta fue manejada como un aditivo dosificado en función de la masa del cemento utilizado en el hormigón, lo que hizo necesario la obtención de un agregado fino, para lo cual se compró arena de río lavada procedente de la mina Hormigones Moreno Ubicada en las orillas del río Chambo entre el cantón Guano y el cantón Penipe.

El cemento que se utilizó para la elaboración del hormigón fue el cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P debido a que este es comúnmente utilizado para la construcción en la provincia de Chimborazo y además cumple con los requisitos descritos en la norma NTE INEN 490 (INEN, 2011), y el agua utilizada para la elaboración de la mezcla fue agua potable (agua que es apta para el consumo humano), según lo especifica la norma NTE INEN 2617 (INEN, 2012).

4.3.Elaboración de ensayos a los materiales

Una vez recolectado los materiales a utilizar en el hormigón se procedieron a realizar los ensayos de laboratorio que ayudaron a determinar la dosificación mediante la aplicación del método ACI 211.1-94 estos ensayos fueron realizados según las normas NTE INEN.

Primeramente se realizó la reducción de muestras al tamaño de ensayo según lo describe la norma NTE INEN 2566 (INEN, 2010), para lo cual se seleccionó el método por separador mecánico, para esto el separador debe poseer un numero par de conductos de igual ancho, para agregados gruesos los conductos deben ser mínimo ocho y su ancho debe ser el cincuenta por ciento más que el máximo tamaño de la partículas de la muestra y para

agregados finos los conductos debe ser mínimo de doce y deben tener un ancho de entre 12.5 a 20mm, el equipo cuarteador debe estar equipado con dos bandejas y la muestra debe ser vertida a una velocidad constante que permita dividir la muestra en dos partes iguales, el material de una de las bandejas debe ser desechado y repetir el proceso con el material de la otra bandeja hasta que se obtenga una cantidad necesaria de muestra para los ensayos que se realizarán posteriormente.

Los agregados para el hormigón deben cumplir con los requisitos descritos en la norma NTE INEN 872 (INEN, 2011), la cual señala principalmente que los agregados a utilizar en el hormigón deben estar libres de contenido orgánico. Esta norma recomienda los tamices a utilizar en el ensayo de granulometría y los límites máximos y mínimos que deben pasar por cada tamiz, además recomienda que el módulo de finura para los agregados finos varíe entre 2.3 y 3.1.

Para determinar el contenido de materia orgánica en la arena de río y en la ceniza volcánica se utilizó la norma NTE INEN 855 (INEN, 2010), para lo cual primeramente se realizó una solución de hidróxido de sodio al 3%, la cual está compuesta de 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) disuelta en 97 partes de agua, una vez obtenida esta solución en un frasco de vidrio graduado e incoloro que posea tapa hermética, con una capacidad nominal de aproximadamente 240 a 470 cm^3 , se vierte el árido fino hasta un volumen de 130 cm^3 , posteriormente se vierte la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen ocupado por el árido fino y la solución después de eliminar el contenido de aire presente un volumen de 200 cm^3 , realizado todo esto se debe tapar el frasco de vidrio, agitar vigorosamente y dejar reposar 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se debe compara el color que presenta la solución en el frasco con una escala de vidrios de colores

donde si presenta una coloración del número 1 al 3 se puede utilizar para elaborar hormigón y se presenta una coloración del número 4 al 5 quiere decir que la materia orgánica presente en el árido es perjudicial para el hormigón.

Para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) se utilizó la norma NTE INEN 858 (INEN, 2010), la cual puede ser utilizada para determinar la Masa Unitaria Suelta (MUS) y Masa Unitaria Compactada (MUC) de los agregados fino y grueso, pero debido a que en el método de dosificación del hormigón que utilizaremos más adelante únicamente se requiere de la Masa Unitaria Compactada (MUC) del agregado grueso solo describiremos este procedimiento, primeramente se toma una muestra del agregado grueso que se encuentre en estado seco, el molde que se debe utilizar debe ser un molde normalizado el cual debe ser colocado en una superficie plana libre de cualquier irregularidad, se debe llenar el molde con el agregado hasta aproximadamente un tercio de su volumen, con la ayuda de una varilla normalizada se debe compactar con 25 golpes los cuales deben ser distribuidos uniformemente sobre toda la superficie del árido, este procedimiento debe ser repetido para cuando se llene el segundo y tercer tercio del volumen del molde, una vez lleno el volumen del molde con la ayuda de la varilla normalizada se procede a enrazar la superficie para eliminar los accesos de árido y se determina la masa del molde más el árido, terminado esto se determina la masa del molde vacío y se procede a calibrar el volumen del molde para lo cual se lo llena de agua, se determina la temperatura del agua con la ayuda de un termómetro, se determina la masa de una placa de vidrio, se coloca la placa de vidrio sobre el molde con agua y se elimina las burbujas de aire que este contenga, se determina la masa del molde más el agua y más la placa de vidrio, para calcular el volumen del molde se determina la masa del agua y se determina la densidad

que el agua posee a la temperatura registrada, una vez determinado el volumen del molde se calcula la Masa Unitaria Compactada (MUC) al dividir la masa del material para el volumen calibrado del molde.

El análisis granulométrico de los áridos fino y grueso se realizó según la norma NTE INEN 696 (INEN, 2011), esta norma permite determinar la distribución granulométrica de los agregados a ser utilizados en hormigones u otros fines. Primeramente se coloca las muestras tanto de agregado grueso como agregado fino al horno de secado el cual debe proporcionar una temperatura constante de 110 ± 5 °C, las muestras deben permanecer en el horno de secado durante 24 ± 2 horas, terminado este periodo se debe obtener 500 gramos de agregado fino y 5000 gramos de agregado grueso, este material debe ser depositado en la serie de tamices ordenadas desde 3/8', 4, 8, 16, 30, 50, 100 y Bandeja para los agregados finos y 1 1/2', 1', 3/4', 1/2', 3/8', 4 y Bandeja para los agregados gruesos, se coloca la serie de tamices con la muestra en la tamizadora y se la deja funcionar durante 5 minutos. Después de que la muestra se encuentra tamizada se determina la masa del contenido retenido en cada uno de los tamices, se anota este resultado para finalmente procesar los datos obtenidos.

Para determinar el contenido de humedad en los agregados utilizamos la norma NTE INEN 862 (INEN, 2011), la cual permite determinar el contenido de agua evaporable en una muestra de áridos a ser utilizados en la realización de hormigón, para lo cual obtenemos una muestra tanto de agregado grueso como de agregado fino en estado natural y anotamos este valor en la libreta de apuntes, posteriormente colocamos las muestras en el horno de secado el cual debe estar en una temperatura de 110 ± 5 °C, las muestras deben permanecer dentro del horno de secado durante 24 ± 2 horas, pasado este tiempo retiramos

las muestras del horno de secado y determinamos su masa, registramos este valor en la libreta de apuntes para finalmente calcular el contenido de humedad de cada muestra de agregado.

Para determinar la densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del árido grueso se utilizó la norma NTE INEN 857 (INEN, 2010), primeramente se sumerge la muestra de agregado grueso en agua hasta que el agua cubra completamente el agregado, se lo deja sumergido durante 24 ± 4 horas, posteriormente se elimina el exceso de agua y con la ayuda de una franela se seca el brillo superficial que presenta el agregado, una vez eliminado el brillo superficial de la muestra se puede decir que esta se encuentra en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS), se determina la masa de la muestra en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS), se sumerge la canastilla en el dispositivo de suspensión y se registra su masa, posteriormente se coloca en la canastilla el agregado Saturado Superficialmente Seco (SSS), se sumerge en el dispositivo de suspensión y se lo mueve ligeramente para liberar el contenido de aire atrapado en la muestra, se registra este valor, posteriormente se retira la muestra del dispositivo de suspensión y se lo deja en el horno de secado durante 24 ± 2 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C, se registra este valor, para finalizar este ensayo mediante los datos obtenidos se aplica las formulas descritas en este método para determinar la densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso.

La densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del árido fino se determinó mediante la norma NTE INEN 856 (INEN, 2010), para lo cual primeramente se sumergió la muestra de agregado fino en agua hasta que esta cubra totalmente el agregado, este deberá permanecer sumergido durante 24 ± 4 horas, terminado este tiempo se debe

eliminar el agua evitando que se pierda finos. El picnómetro a usar debe ser calibrado con anterioridad para lo cual se añade en el picnómetro agua a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta un 70% de la capacidad del picnómetro, se realiza una marca sobre el frasco del picnómetro hasta donde llegó el volumen del agua y se determina su masa. Posteriormente a la muestra de agregado fino se le debe secar sobre una superficie plana no absorbente mediante ráfagas de aire caliente y suaves movimientos para conseguir que el agregado se encuentre en un estado Saturado Superficialmente Seco (SSS), la forma de determinar este estado es mediante la utilización del cono truncado y el compactador, el cual debe ser colocado en una superficie plana no absorbente, posteriormente se debe colocar una porción de muestra en el cono hasta llenarlo y compactar el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador, este debe caer libremente a una altura aproximada de 5 mm sobre la superficie del árido, remover el árido fino que se encuentre en la parte externa del cono, levantar verticalmente el cono, si la humedad es demasiado alta el agregado conservara la forma del cono, lo que significa que se debe secar un poco más el agregado y repetir el proceso, si al levantar el cono el agregado se desmorona ligeramente esto significa que ya se encuentra en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS), si el agregado ya se encuentra en este estado se debe obtener 500 gramos de muestra y se lo debe colocar en el picnómetro, se lo debe completar con agua a la misma temperatura con la cual fue calibrado el picnómetro hasta aproximadamente el 90% de la marca de calibración del picnómetro, tapar el picnómetro y agitar para que se libere el aire atrapado en la muestra, completar con agua hasta la marca del picnómetro calibrado y con la ayuda de un termómetro verificar que la temperatura del agua sea la misma a la que fue calibrado el picnómetro y registrar su masa, eliminar el agua del picnómetro evitando la pérdida de finos de la muestra y secar la muestra en el horno de secado durante 24 ± 2 horas a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, registrar la masa seca y con la

ayuda de las formulas descritas en este ensayo y la aplicación de los datos obtenidos se determina la densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado fino.

La densidad del cemento se determinó mediante el uso de la norma NTE INEN 156 (INEN, 2009), para lo cual se pesa primeramente 64 gramos de cemento, en el frasco Le Chatelier se lo llena con gasolina hasta un punto en la parte baja del cuello entre las marcas 0 y 1 cm³, se utiliza gasolina ya que esta no fraguará al cemento y así se evitará dañar el frasco, se debe introducir el frasco en baño de agua a una temperatura de 23±2°C, cuando la temperatura de la gasolina se encuentre dentro de este rango se debe registrar su volumen y su temperatura, posteriormente se añade en el frasco los 64 gramos de cemento, evitando que este se atore en el cuello del frasco, una vez que ya se encuentre todo el cemento en el frasco se lo debe introducir en el baño de agua a la temperatura antes mencionada y cuando la gasolina presente la misma temperatura a la que se registró el valor entre la marca de 0 y 1 cm³ se registra el volumen del cemento más el volumen de la gasolina, para finalizar este ensayo se determina el volumen del cemento al restar el volumen del cemento más la gasolina menos el volumen de la gasolina y se determina la densidad del cemento al dividir la masa del cemento para el volumen del cemento.

4.4.Determinación de las dosificaciones

Una vez finalizado la realización de los ensayos a los materiales que se utilizaron en la elaboración del hormigón se procedió a determinar la dosificación mediante la aplicación del Método ACI 211.1-94 para una resistencia a la compresión simple del hormigón igual a 15 MPa, puesto que se realizó bloques denominados de Mampostería Estructural Clase A los cuales deben poseer una resistencia a la compresión igual o mayor a 13.8 MPa según lo

determina la norma NTE INEN 3066 (INEN, 2016), ya que la ceniza volcánica presenta un alto contenido de Óxido de silicio (SiO_2) y basándonos en la norma ASTM C 1240-15 la cual recomienda que estos materiales deben ser utilizados como un aditivo el cual varía entre el 5 al 15% de la masa del cemento se manejó tres dosificaciones en las cuales se utilizó la misma cantidad de arena de río de la mina Hormigones Moreno y de escoria del volcán Tungurahua, sin embargo en la primera dosificación se utilizó ceniza al 5% de la masa del cemento, en la segunda dosificación se utilizó ceniza al 10% de la masa del cemento y en la tercera dosificación se utilizó ceniza al 15% de la masa del cemento, en las tres dosificaciones se utilizó cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P, además se realizó dos dosificaciones denominadas de control, la primera de ellas fue elaborada con agregado grueso de la mina Sillahuan, arena de río de la mina Hormigones Moreno y cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P y en la segunda dosificación denominada de control se utilizó cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P y la misma cantidad de arena de río de la mina Hormigones Moreno y escoria del volcán Tungurahua que en las tres dosificaciones en las cuales se utilizó ceniza del volcán Tungurahua.

Las cinco dosificaciones fueron determinadas para un volumen de 0.15 m^3 , sin embargo, se tuvo que realizar correcciones de agua cemento al momento de fundir las probetas ya que las dosificaciones no cumplieron con el asentamiento requerido.

4.5.Elaboración de las probetas de hormigón

Por cada una de las dosificaciones se realizó seis probetas para ser ensayadas a compresión simple cuyas dimensiones fueron 400 milímetros de largo, 200 milímetros de alto y 150 milímetros de ancho según las dimensiones modulares recomendadas en la

norma NTE INEN 3066 (INEN, 2016), y seis probetas para ser ensayadas a conductividad térmica cuyas dimensiones fueron 300 milímetros de largo, 300 milímetros de alto y 100 milímetros de ancho.

4.6. Inspección de las probetas

Al cumplirse 24 horas de fundidas las probetas a ser ensayadas a compresión y a conductividad térmica, se procedió a desencofrarlas y verificar que estas hayan sido bien varilladas al momento de ser fundidas, de esta manera se garantizó que el volumen de las probetas fue uniforme, sus dimensiones fueron las adecuadas y sus caras no presentaron imperfecciones que alteren los resultados al momento de ser ensayadas, al terminar este proceso de inspección se introdujo las probetas en la piscina de curado para que el proceso de fraguado sea el adecuado.

4.7. Realización de ensayos

De las seis probetas elaboradas por cada dosificación para ser ensayadas a compresión simple tres de estas fueron ensayadas a los 7 días de edad del hormigón y las tres restantes fueron ensayadas a los 28 días de edad del hormigón, mientras que las probetas para ser ensayadas a conductividad térmica fueron ensayadas a los 28 días de edad del hormigón, cabe recalcar que de estas seis probetas se obtuvo tres datos puesto que en el equipo se debe introducir dos probetas por cada ensayo, tanto los datos de los ensayos a compresión simple como los ensayos a conductividad térmica fueron almacenados en una hoja electrónica de cálculo y procesados en el análisis de resultados y discusión.

4.8. Análisis de resultados y discusión

Para los ensayos a compresión simple se evaluó la resistencia y la densidad alcanzada en cada dosificación tanto a los 7 días de edad como a los 28 días de edad del hormigón para de esta manera analizar si los bloques elaborados son denominados bloques estructurales Clase A. según lo especifica la norma NTE INEN 3066 (INEN, 2016).

En los ensayos de conductividad térmica se evaluó la conductividad térmica alcanzada en los ensayos realizados a cada una de las probetas elaboradas por cada dosificación.

Terminada la obtención de datos tanto de densidad, resistencia y conductividad térmica de cada dosificación realizada se procedió a la utilización del software Minitab para realizar un análisis de varianza ANOVA de un solo factor con un nivel de significancia del 0.05, y la aplicación del método de TUKEY con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se estará determinando si las medias son significativamente iguales o diferentes y a cuál de las dos hipótesis nula o alternativa se ajustan los datos obtenidos.

4.9. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones fueron redactadas tomando en cuenta los resultados alcanzados y los objetivos propuestos en esta investigación para determinar si se cumplió o no con ellos y las recomendaciones fueron redactadas como sugerencias observadas que ayuden a ampliar los conocimientos acerca de este tema.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Ensayos a los materiales que se utilizarán en la elaboración del hormigón

Masa unitaria compactada de la escoria del volcán Tungurahua y el agregado grueso de la mina Sillahuan.

Puesto que el método ACI 211.1-94 utilizado para el diseño del hormigón maneja únicamente la Masa Unitaria Compactada (MUC) del agregado grueso este fue determinado mediante la norma NTE INEN 858 (INEN, 2010), razón por la cual en la tabla 4 se observa la masa unitaria compactada tanto del agregado grueso de la mina Sillahuan como de la escoria del volcán Tungurahua, en esta tabla puede notar como la escoria del volcán Tungurahua presenta una Masa Unitaria Compactada mucho menor que el agregado grueso de la mina Sillahuan, razón por la cual el hormigón en el que se utilizará la escoria del volcán Tungurahua presentará una densidad menor y necesitará una mayor cantidad de cemento, agregado fino y agua para formar una pasta que rellene los vacíos que presenta este agregado, mientras que el hormigón en el cual se utilizará el agregado grueso de la mina Sillahuan presentará una mayor densidad y necesitará una menor cantidad de cemento, agregado fino y agua para formar una pasta que rellene los vacíos que presenta este agregado.

Tabla 4. *Masa unitaria compactada de los agregados gruesos utilizados en las dosificaciones*

Material	Masa unitaria compactada MUC (kg/m³)
Escoria del volcán Tungurahua	0.80
Agregado grueso de la mina Sillahuan	1.42

Elaborado Por: Carlos Valles

Granulometría de los agregados.

El análisis granulométrico de los áridos fino y grueso se realizó según la norma NTE INEN 696 (INEN, 2011), y los límites granulométricos, el tamaño máximo, el tamaño máximo nominal y el módulo de finura fueron definidos según la norma NTE INEN 872 (INEN, 2011).

La escoria del volcán Tungurahua y el agregado grueso de la mina Sillahuan poseen un tamaño máximo nominal de una pulgada, este valor se utilizará al momento de realizar el diseño de la dosificación para determinar el contenido de aire atrapado, el contenido de agua y la masa del agregado grueso que se utilizará en la dosificación, además se puede observar en la gráfica granulométrica de cada uno de estos agregados que el porcentaje de material que pasa es menor al límite mínimo que establece la norma NTE INEN 872 (INEN, 2011), sin embargo en el numeral 5.2.2 de esta misma norma específica que se puede utilizar este agregado si se tiene pruebas previas de desempeño, para este caso como

se está desarrollando una dosificación experimental se utilizó este agregado a fin de evaluar los resultados obtenidos.

Tabla 5. *Granulometría de la escoria del volcán Tungurahua*

Tamiz N.-	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido redondeado (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límite máximo	Límite mínimo
1 1/2"	0	0.00	0	0	100	100	100
1"	1540	30.80	31	31	69	100	90
3/4"	2005	40.10	40	71	29	85	40
1/2"	1046	20.92	21	92	8	40	10
3/8"	211	4.22	4	96	4	15	0
4	136	2.72	3	99	1	5	0
Bandeja	62	1.24	1	100	0	0	0
Suma	5000	100	100				
T Máximo				1 1/2"			
T Máximo Nominal				1"			
Porcentaje De Error				0			

Elaborado Por: Carlos Valles

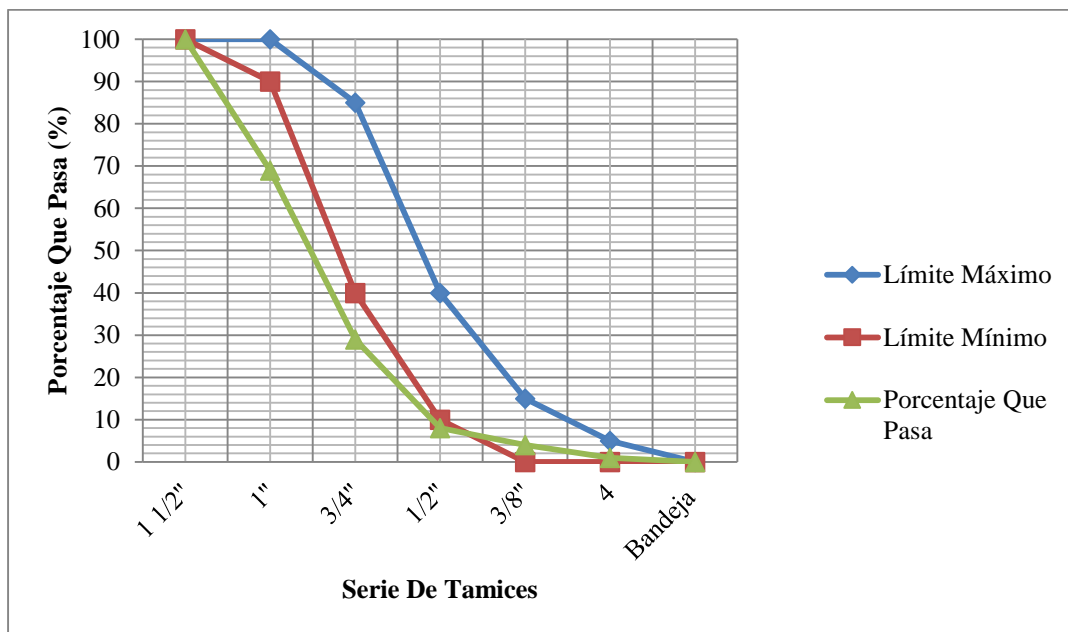


Figura 3. Curva granulométrica de la escoria del volcán Tungurahua

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 6. Granulometría del agregado grueso de la mina Sillahuan

Tamiz N.-	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido redondeado (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límite máximo	Límite mínimo
1 1/2"	0	0	0	0	100	100	100
1"	1134	22.68	23	23	77	100	90
3/4"	2102	42.04	42	65	35	85	40
1/2"	1269	25.38	25	90	10	40	10
3/8"	312	6.24	6	96	4	15	0
4	164	3.28	3	99	1	5	0
Bandeja	19	0.38	0	99	1	0	0
Suma	5000	100	99				
T Máximo				1 1/2"			
T Máximo Nominal				1"			
Porcentaje De Error				0			

Elaborado Por: Carlos Valles

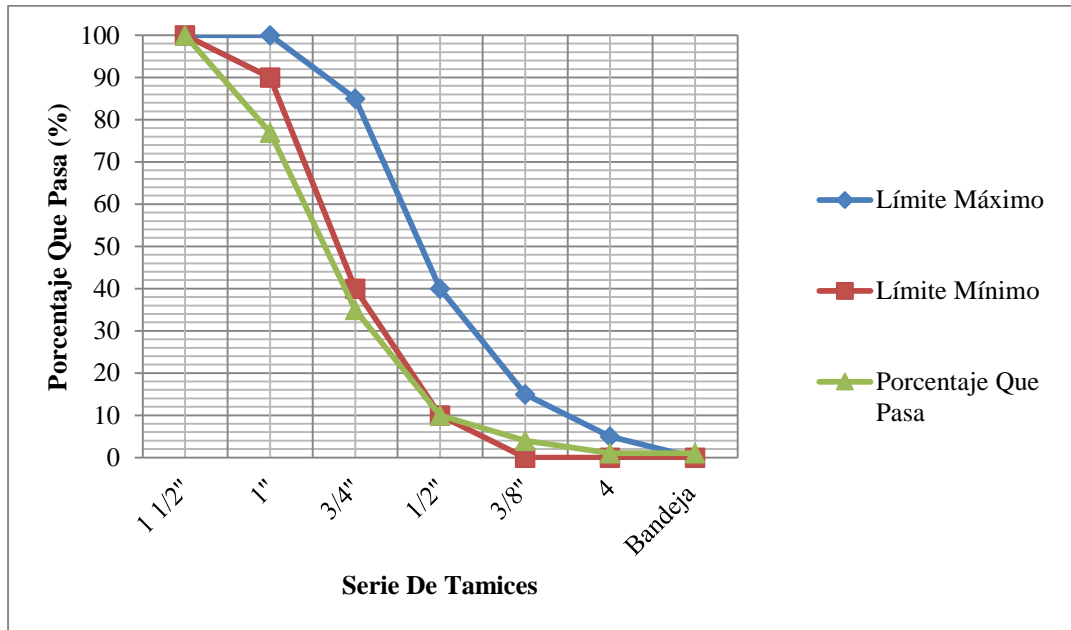


Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso de la mina Sillahuan

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 7 se puede observar el módulo de finura de la arena de río de la mina Hormigones Moreno valor que será utilizado para el diseño del hormigón mediante la aplicación del método ACI 211.1-94, este módulo de finura tiene un valor de 2.68 mismo que se encuentra dentro del rango de 2.3 a 3.1 según lo especifica la norma NTE INEN 872 (INEN, 2011), además se puede apreciar en la figura 5 como la curva granulométrica de agregado fino de la mina Hormigones Moreno se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos definidos en la norma NTE INEN 872 (INEN, 2011).

Tabla 7. Granulometría de la arena de río de la mina Hormigones Moreno

Tamiz N.-	Masa retenida (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido redondeado (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite máximo	Límite mínimo
4	35	7.01	7	7	93	100	95
8	54	10.82	11	18	82	90	80
16	77	15.43	15	33	67	85	50
30	92	18.44	18	51	49	60	25
50	97	19.44	19	70	30	30	5
100	95	19.04	19	89	11	10	0
Bandeja	49	9.82	10	99	1	0	0
Suma	499	100	99				
Módulo De Finura				2.68			
T Máximo				3/8			
T Máximo Nominal				4			
Porcentaje De Error				0.2			

Elaborado Por: Carlos Valles

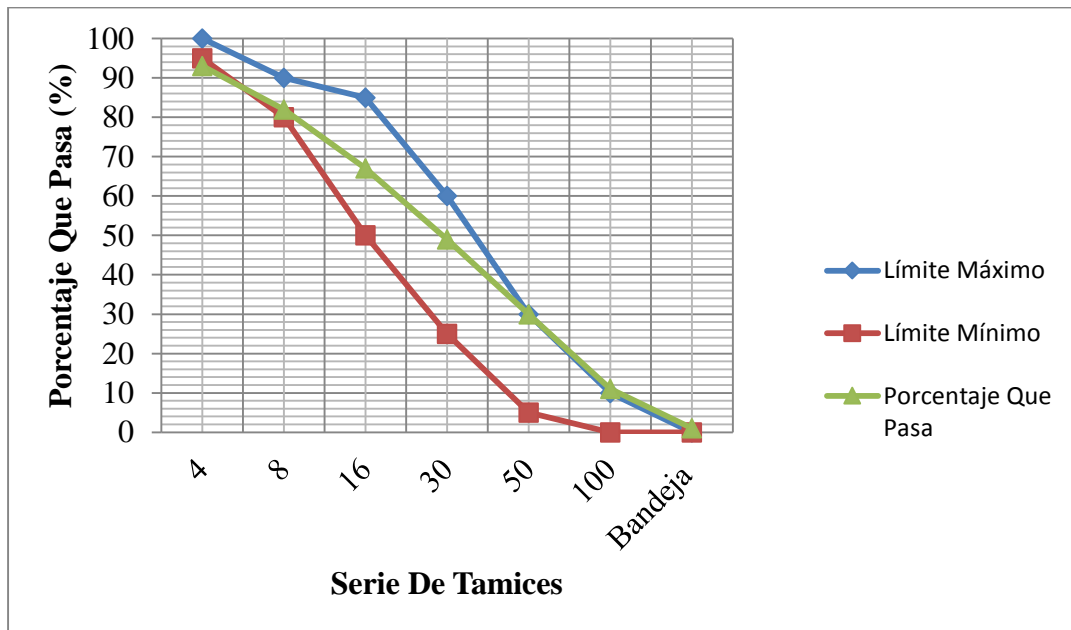


Figura 5. Curva granulométrica de arena de río de la mina Hormigones Moreno

Elaborado Por: Carlos Valles

Contenido de humedad de los agregados.

El agua que poseen los materiales utilizados en la elaboración de las dosificaciones debe ser cuantificado para determinar el aporte de agua que estos contribuyen a la mezcla de hormigón, de esta manera se estará garantizando el cumplimiento del asentamiento y la resistencia para la cual fue calculada la mezcla de hormigón.

Para determinar el contenido de humedad en los agregados tanto gruesos como finos utilizamos la norma NTE INEN 862 (INEN, 2011), razón por la cual en la tabla se presenta un resumen de las humedades de cada material utilizado en la elaboración del hormigón.

Tabla 8. *Contenido de humedad de los agregados utilizados en las dosificaciones*

Material	Porcentaje de humedad (%)
Escoria del volcán Tungurahua	6.10
Agregado grueso de la mina Sillahuan	0.80
Arena de río de la mina Hormigones Moreno utilizada en las dosificaciones número 1.	1.80
Arena de río de la mina hormigones Moreno utilizada en las dosificaciones número 2, 3, 4 y 5.	3.40

Elaborado Por: Carlos Valles

Densidad y porcentaje de absorción de los agregados.

Agregados gruesos.

Para determinar la densidad y el porcentaje de absorción de los agregados gruesos se utilizó los procesos descritos en la norma NTE INEN 857 (INEN, 2010), en la tabla 9 se muestra un resumen de la Densidad (SH) la cual se utilizará para determinar el volumen del material grueso y el Porcentaje De Absorción el cual se utilizará para determinar el aporte de agua a la mezcla, es decir estos valores son necesarios para realizar las dosificaciones mediante la aplicación del método ACI 211.1-94.

En la tabla 9 se puede observar como la Escoria Del Volcán Tungurahua presenta una menor Densidad (SH) y un mayor Porcentaje De Absorción que el Agregado Grueso De La Mina Sillahuan, esto se debe a que la Escoria Del Volcán Tungurahua es un material altamente poroso.

Tabla 9. *Densidad (SH) y porcentaje de absorción de los agregados gruesos utilizados en las dosificaciones*

Material	Densidad (SH) (kg/m³)	Porcentaje de absorción (%)
Escoria del volcán Tungurahua.	1536.12	10.44
Agregado grueso de la mina Sillahuan	2478.40	3.87

Elaborado Por: Carlos Valles

Agregado fino.

Para determinar la densidad y el porcentaje de absorción de la arena de río se utilizó los procesos descritos en la norma NTE INEN 856 (INEN, 2010), en la tabla 10 se muestra un resumen de la Densidad (SH) la cual se utilizará para determinar el volumen de la arena utilizada en la elaboración de la dosificación y el porcentaje de absorción el cual se utilizará para determinar el aporte de agua de la arena a la mezcla de hormigón.

Tabla 10. *Densidad (SH) y porcentaje de absorción de la arena de río utilizada en las dosificaciones*

Material	Densidad (SH) (kg/m³)	Porcentaje De Absorción (%)
Arena de río de la mina Hormigones Moreno	2372.00	1.60

Elaborado Por: Carlos Valles

Densidad del cemento.

La densidad del cemento se realizó mediante la aplicación de la norma NTE INEN 156 (INEN, 2009), en la tabla 11 se muestra la densidad del Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P, dato que será utilizado para determinar el volumen del cemento que será utilizado en la mezcla de hormigón.

Tabla 11. *Densidad del cemento Chimborazo utilizado en las dosificaciones*

Material	Densidad (g/cm³)
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P.	3.00

Elaborado Por: Carlos Valles

Resumen de ensayos a los materiales utilizados en la dosificación con agregados grueso de la mina Sillahuan.

En la tabla 12, que se muestra a continuación se presenta un resumen de los ensayos a los materiales que se utilizaron en la elaboración de la dosificación con agregado grueso de la mina Sillahuan, estos ensayos son necesarios para realizar la dosificación del hormigón mediante la aplicación del método ACI 211.1-94.

Tabla 12. Resumen de ensayos a los materiales utilizados en la dosificación con agregado grueso de la mina Sillahuan

Ensayos	Materiales		
	Agregado grueso (Mina Sillahuan)	Agregado fino (Arena De Río)	Cemento (Chimborazo)
Masa unitaria compactada MUC (kg/m ³)	1.42	-	-
Tamaño máximo nominal (in)	1	-	-
Módulo de finura del agregado fino	-	2.68	-
Porcentaje de humedad (%)	0.80	1.80	-
Densidad (SH) (kg/m ³)	2478.40	2372.00	-
Porcentaje de absorción (%)	3.87	1.60	-
Densidad del cemento (g/cm ³)	-	-	3000

Elaborado Por: Carlos Valles

Resumen de ensayos a los materiales utilizados en las dosificaciones con escoria del volcán Tungurahua.

En la tabla 13, que se muestra a continuación se presenta un resumen de los ensayos a los materiales que se utilizaron en la elaboración de la dosificación con escoria del volcán Tungurahua, estos ensayos son necesarios para realizar la dosificación del hormigón mediante la aplicación del método ACI 211.1-94.

Tabla 13. Resumen de ensayos a los materiales utilizados en las dosificaciones con escoria del volcán Tungurahua

Ensayos	Materiales		
	Agregado Grueso (Escoria)	Agregado Fino (Arena De Río)	Cemento (Chimborazo)
Masa unitaria compactada MUC (kg/m ³)	0.80	-	-
Tamaño máximo nominal (in)	1	-	-
Módulo de finura del agregado fino	-	2.68	-
Porcentaje de humedad (%)	6.10	3.40	-
Densidad (SH) (kg/m ³)	1536.12	2372.00	-
Porcentaje de absorción (%)	10.44	1.60	-
Densidad del cemento (g/cm ³)	-	-	3000

Elaborado Por: Carlos Valles

Composición química de la ceniza del volcán Tungurahua.

Se determinó la composición química de la ceniza del volcán Tungurahua mediante fluorescencia de rayos x ya que según Zeballos (1996) esta posee en su composición química un 58% de Sílice (Oxido De Silicio SiO₂), sin embargo, en la tabla 14 se puede observar como la cantidad de sílice que presenta la ceniza del volcán Tungurahua es de un 55.70%.

Tabla 14. *Composición química de la ceniza del volcán Tungurahua*

Sustancia Química	Porcentaje (%)
Óxido de silicio (SiO ₂)	55.70
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	17.90
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	7.53
Óxido de magnesio (MgO)	4.66
Óxido de calcio (CaO)	6.51
Óxido de sodio (Na ₂ O)	-
Óxido de potasio (K ₂ O)	2.01
Óxido de titanio (TiO ₂)	0.97
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	-
Óxido de manganeso (MnO)	0.17
Óxido de cromo (Cr ₂ O ₃)	0.06
Óxido de vanadio (V ₂ O ₅)	0.02

Elaborado Por: Carlos Valles

5.2. Determinación de las dosificaciones

Mediante la utilización de los valores obtenidos en los ensayos realizados a los materiales que se utilizaron en la elaboración del hormigón se procedió a realizar el diseño de las dosificaciones mediante la aplicación del método ACI 211.1-94 de esta manera se obtuvo las dos dosificaciones teóricas del hormigón propuesto en esta investigación, estas dosificaciones fueron determinadas para un volumen de 0.15m³ con una resistencia a la compresión simple a los veintiocho días de edad de 15 MPa y un asentamiento que puede

variar de una a dos pulgadas, sin embargo en la dosificación que se utilizó el agregado grueso de la mina Sillahuan la relación agua/cemento fue de 0.78 mientras que en las dosificaciones que se utilizó escoria del volcán Tungurahua la relación agua/cemento fue de 0.70, esta disminución de la relación agua/cemento demuestra que en la dosificación en la cual se utilizó escoria del volcán Tungurahua necesita una mayor cantidad de cemento por la reducida densidad que posee este agregado en comparación con el agregado grueso de la mina Sillahuan, a continuación se muestra la dosificación teórica con agregado grueso de la mina Sillahuan para el volumen de hormigón requerido en esta investigación.

Tabla 15. *Dosificación teórica para el volumen requerido con agregado grueso de la mina Sillahuan*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00217
Agua	29.94	0.02994
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	38.61	0.01287
Agregado Grueso De La Mina Sillahuan	141.24	0.05699
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	113.90	0.04802
Total	323.690	0.150

Elaborado Por: Carlos Valles

De la dosificación teórica para el volumen requerido con escoria del volcán Tungurahua se derivan cuatro dosificaciones, la primera de ellas no posee la adición de ceniza volcán Tungurahua mientras que a las tres restantes, se les añadió ceniza volcánica al 5%, 10% y 15% de la masa del cemento, estos porcentajes fueron determinados según la norma ASTM C 1240-15.

Tabla 16. *Dosificación teórica para el volumen requerido con escoria del volcán Tungurahua*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00216
Agua	27.04	0.02704
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	38.40	0.0128
Escoria Del Volcán Tungurahua	83.29	0.05422
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	127.59	0.05379
Total	276.320	0.150

Elaborado Por: Carlos Valles

5.3.Elaboración de probetas

Con las dosificaciones establecidas anteriormente se elaboró las probetas cuyas dimensiones fueron definidas en la metodología de esta investigación, sin embargo hay que tener en cuenta que en las cinco dosificaciones se tuvo que realizar correcciones de agua/cemento para que estas cumplan con un asentamiento de 4 centímetros, al realizar las correcciones de agua/cemento y al añadir la ceniza del volcán Tungurahua en las respectivas dosificaciones el volumen aumenta respecto al volumen calculado inicial que fue de 0.15m³.

Tabla 17. *Dosificación número 1 con agregado grueso de la mina Sillahuan obtenida después de realizar la corrección agua/cemento*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00217
Agua	36.94	0.03694
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	47.64	0.01588
Agregado Grueso De La Mina Sillahuan	141.24	0.05699
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	113.90	0.04802
Total	339.720	0.160

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 18. *Dosificación número 2 con escoria del volcán Tungurahua obtenida después de realizar la corrección agua/cemento*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00216
Agua	36.04	0.03604
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	51.18	0.01706
Escoria Del Volcán Tungurahua	83.29	0.05422
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	127.59	0.05379
Total	298.100	0.163

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 19. *Dosificación número 3 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 5% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00216
Agua	36.04	0.03604
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	51.18	0.01706
Escoria Del Volcán Tungurahua	83.29	0.05422
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	127.59	0.05379
Ceniza Del Volcán Tungurahua Al 5% De La Masa Del Cemento	2.56	0.00098
Total	300.660	0.164

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 20. *Dosificación número 4 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 10% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00216
Agua	39.04	0.03904
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	55.44	0.01848
Escoria Del Volcán Tungurahua	83.29	0.05422
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	127.59	0.05379
Ceniza Del Volcán Tungurahua Al 10% De La Masa Del Cemento	5.54	0.00211
Total	310.900	0.170

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 21. *Dosificación número 5 con escoria del volcán Tungurahua y ceniza volcánica al 15% de la masa del cemento obtenida después de realizar la corrección agua/cemento*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0.00	0.00216
Agua	40.04	0.04004
Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo 1P	56.86	0.01895
Escoria Del Volcán Tungurahua	83.29	0.05422
Arena De Río De La Mina Hormigones Moreno	127.59	0.05379
Ceniza Del Volcán Tungurahua Al 10% De La Masa Del Cemento	8.53	0.00325
Total	316.310	0.172

Elaborado Por: Carlos Valles

5.4.Resultados alcanzados en los ensayos realizados a compresión simple

En la tabla 22, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos a compresión simple, donde se determinó la resistencia y la densidad que se alcanzó a los 7 y 28 días de edad del hormigón.

Tabla 22. Resumen de las densidades y resistencias alcanzadas a los 7 y 28 días de edad

Dosificación	Esfuerzo a los 7 días de edad	Densidad a los 7 días de edad	Esfuerzo a los 28 días de edad	Densidad a los 28 días de edad
1	7.230	2252.000	12.73	2281.333
	7.500	2274.750	12.86	2319.250
	7.610	2256.417	12.00	2278.000
2	10.030	1947.250	15.02	1965.333
	10.950	1963.167	14.20	1971.250
	10.510	1979.500	15.82	1964.083
3	11.530	2009.667	17.70	2008.750
	13.060	2007.167	17.33	2029.333
	11.390	2021.750	17.40	2030.917
4	13.670	2048.167	21.82	2068.667
	13.730	2035.333	20.29	2049.250
	14.640	2042.750	18.92	2065.500
5	14.760	2012.417	20.83	2067.083
	14.060	2035.917	21.64	2055.333
	14.170	2014.750	21.15	2050.583

Elaborado Por: Carlos Valles

Mediante los datos expresados en la tabla 22 se realizó un análisis de varianza ANOVA de un solo factor con un nivel de significancia (α) igual a 0.05, para de esta manera determinar cuál de las dos hipótesis nula o alternativa se ajusta a los datos obtenidos, además se aplicó el método de TUKEY con un nivel de confianza del 95% para determinar si las medias son significativamente iguales.

Resistencia a los 7 días de edad del hormigón.

En la tabla 23, se observa como el Valor p que es igual a 0.00, al ser este valor menor que el nivel de significancia (α) que es igual a 0.05, se puede determinar que al menos una de las medias son significativamente diferentes, en virtud de ello se determina que la hipótesis que se ajusta a este grupo de datos es la hipótesis alternativa.

Tabla 23. *Análisis de varianza ANOVA para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosificación	4	95.651	23.9127	77.37	0.00
Error	10	3.091	0.3091		
Total	14	98.742			

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 24 se aplica el método de TUKEY para determinar las medias que son significativamente iguales mediante el uso de una letra en común, de esta manera se puede observar en la Agrupación como las dosificaciones 4 y 5 son significativamente iguales, sin embargo, estas presentan una diferencia significativa respecto a las demás dosificaciones.

Tabla 24. *Aplicación del método de TUKEY para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Dosificación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	Agrupación
1	3	7.447	0.196	(6.731; 8.162)	D
2	3	10.497	0.460	(9.781; 11.212)	C
3	3	11.993	0.926	(11.278; 12.709)	B
4	3	14.013	0.544	(13.298; 14.729)	A
5	3	14.33	0.376	(13.615; 15.045)	A

Elaborado Por: Carlos Valles

En la figura 6 se observa los esfuerzos que presentaron las dosificaciones a los siete días de edad del hormigón donde las dosificaciones 4 y 5 que son significativamente iguales son las que mayor resistencia presentaron respecto a las demás pese a que todas fueron diseñadas para una misma resistencia.

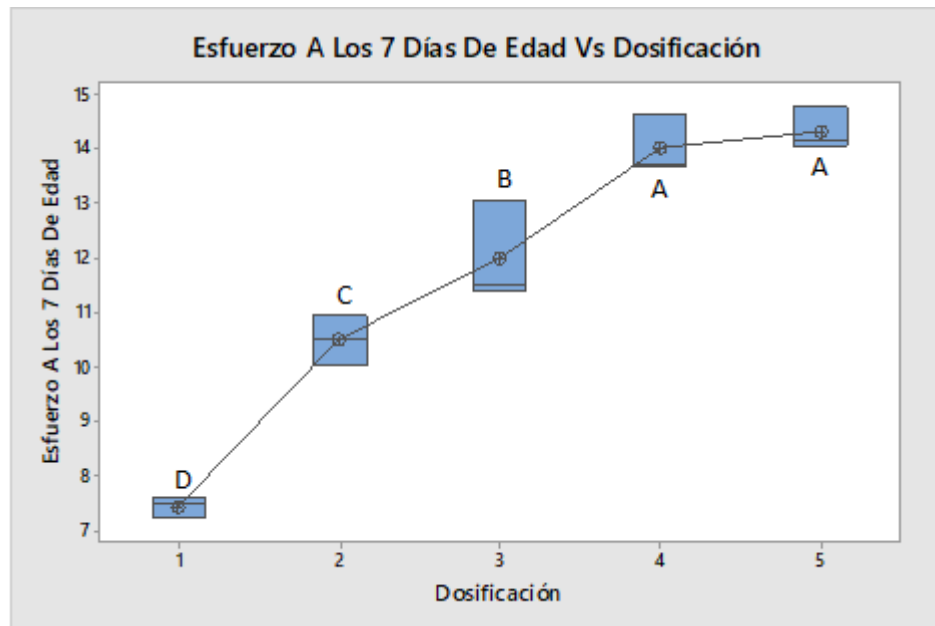


Figura 6. Esfuerzo a los 7 días de edad del hormigón vs dosificación

Elaborado Por: Carlos Valles

Resistencia a los 28 días de edad del hormigón.

En la tabla 25 se observa como el Valor p que es igual a 0.00, al ser menor este valor que el nivel de significancia (α) que es igual a 0.05, se puede determinar que al menos una de las medias son significativamente diferentes, en virtud de ello se determina que la hipótesis que se ajusta a este grupo de datos es la hipótesis alternativa.

Tabla 25. *Análisis de varianza ANOVA para los esfuerzos obtenidos a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosificación	4	157.608	39.402	61.94	0.00
Error	10	6.361	0.6361		
Total	14	163.969			

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 26 se aplicación el método de TUKEY para determinar de una manera más detallada las diferencias significativas existentes entre las medias, razón por la cual la Agrupación define las medias que son significativamente iguales mediante el uso de una letra en común, de esta manera se puede observar como las dosificaciones 4 y 5 son significativamente iguales, sin embargo, estas presentan una diferencia significativa respecto a las demás dosificaciones.

Tabla 26. *Aplicación del método de TUKEY para los esfuerzos obtenidos a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Dosificación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	Agrupación
1	3	12.53	0.464	(11.504; 13.556)	D
2	3	15.013	0.81	(13.987; 16.039)	C
3	3	17.477	0.197	(16.451; 18.503)	B
4	3	20.343	1.451	(19.317; 21.369)	A
5	3	21.207	0.408	(20.181; 22.233)	A

Elaborado Por: Carlos Valles

En la figura 7 se observa el esfuerzo alcanzado en cada una de las dosificaciones a los veintiocho días de edad del hormigón, donde las dosificaciones 4 y 5 son significativamente iguales y presentan un mayor esfuerzo que las demás dosificaciones, a pesar de que todas fueron calculadas para un esfuerzo a los veintiocho días de edad igual a 15 MPa, razón por la cual se puede determinar que el uso de ceniza del volcán Tungurahua

como un aditivo en función de la masa del cemento ayuda a incrementar el esfuerzo en el hormigón, siendo la mejor proporción el 10% de la masa del cemento, puesto que al utilizar ceniza del volcán Tungurahua al 15% de la masa del cemento no se observa un aumento significativo del esfuerzo con respecto a la dosificación en la cual se utilizó ceniza del volcán Tungurahua al 10% de la masa del cemento.

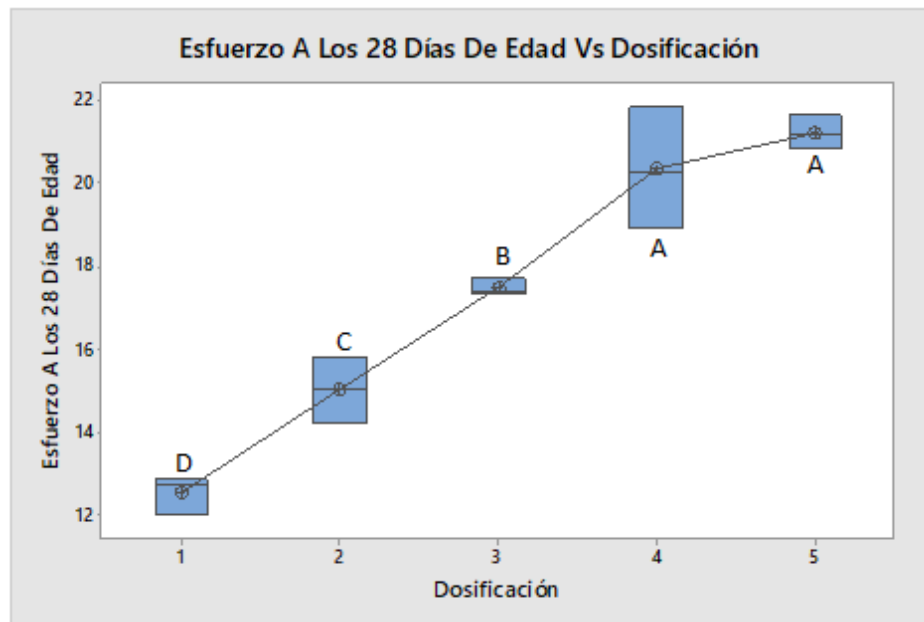


Figura 7. *Esfuerzo a los 28 días de edad del hormigón vs dosificación*

Elaborado Por: Carlos Valles

Densidad a los 7 días de edad del hormigón.

Debido a que el Valor p indicado en la tabla 27 es menor que el nivel de significancia (α) se determina que existe diferencias significativas en los datos de densidad a los 7 días de edad del hormigón, en virtud de ello la hipótesis que se ajusta a este grupo de datos es la hipótesis alternativa.

Tabla 27. Análisis de varianza ANOVA para las densidades obtenidas a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosificación	4	161505	40376.3	298.86	0.00
Error	10	1351	135.1		
Total	14	162856			

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 28 se puede observar como las medias que son significativamente iguales comparten una letra en común, siendo las dosificaciones 3,4 y 5 significativamente iguales, sin embargo, estas presentan una diferencia significativa respecto a las demás dosificaciones.

Tabla 28. Aplicación del método de TUKEY para las densidades obtenidas a los 7 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada

Dosificación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	Agrupación
1	3	2261.06	12.06	(2246.10; 2276.01)	A
2	3	1963.31	16.13	(1948.35; 1978.26)	C
3	3	2012.86	7.8	(1997.91; 2027.81)	B
4	3	2042.08	6.44	(2027.13; 2057.04)	B
5	3	2021.03	12.95	(2006.08; 2035.98)	B

Elaborado Por: Carlos Valles

En la figura 8 se observa la densidad que presentó cada una de las dosificaciones a los 7 días de edad del hormigón donde se observa como la densidad baja en la dosificación que se utilizó únicamente escoria del volcán Tungurahua respecto de la dosificación en la que se utilizó agregado grueso de la mina Sillahuan, sin embargo la densidad que presentaron las dosificaciones 3, 4 y 5 son significativamente iguales y aumentan respecto de la dosificación 2 esto quiere decir que al usar ceniza del volcán Tungurahua como un

aditivo en función del 5%, 10% y 15% de la masa del cemento también aumenta la densidad en el hormigón.

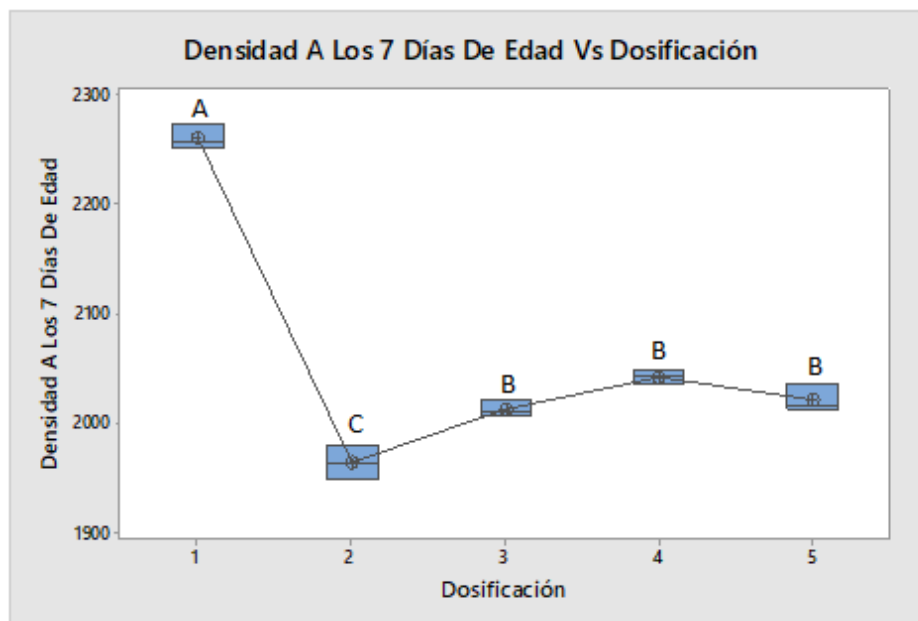


Figura 8. Densidad a los 7 días de edad del hormigón vs dosificación

Elaborado Por: Carlos Valles

Densidad a los 28 días de edad del hormigón.

Mediante la tabla 29 se determina que en las medias de los datos existen diferencias significativas ya que el Valor p es menor que el nivel de significancia (α), razón por la cual se determina que la hipótesis que se ajusta al grupo de datos es la hipótesis alternativa.

Tabla 29. Análisis de varianza ANOVA para las densidades obtenidas a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosificación	4	186621	46655.3	267.12	0.00
Error	10	1747	174.7		
Total	14	188368			

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 30 se puede determinar como la dosificación 5 comparte similitud con la dosificación 3 y 4, sin embargo, estas son significativamente diferentes de la dosificación 1 y 2.

Tabla 30. *Aplicación del método de TUKEY para las densidades obtenidas a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Dosificación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	Agrupación
1	3	2292.9	22.9	(2275.9; 2309.9)	A
2	3	1966.89	3.83	(1949.89; 1983.89)	D
3	3	2023	12.37	(2006.00; 2040.00)	C
4	3	2061.14	10.42	(2044.14; 2078.14)	B
5	3	2057.67	8.49	(2040.67; 2074.67)	B C

Elaborado Por: Carlos Valles

En la figura 9 se puede observar como la densidad que presenta la dosificación 2 en la cual se utilizó escoria del volcán Tungurahua disminuye respecto a la dosificación 1 en la cual se utilizó agregado grueso de la mina Sillahuan, además se observa como la densidad aumenta en las dosificaciones 3, 4 y 5 en las que se utilizó ceniza al 5%, 10% y 15% de la masa del cemento respecto de la dosificación 2, esto quiere decir que para reducir la densidad de un hormigón únicamente se debe utilizar escoria del volcán Tungurahua para elaborar la dosificación.

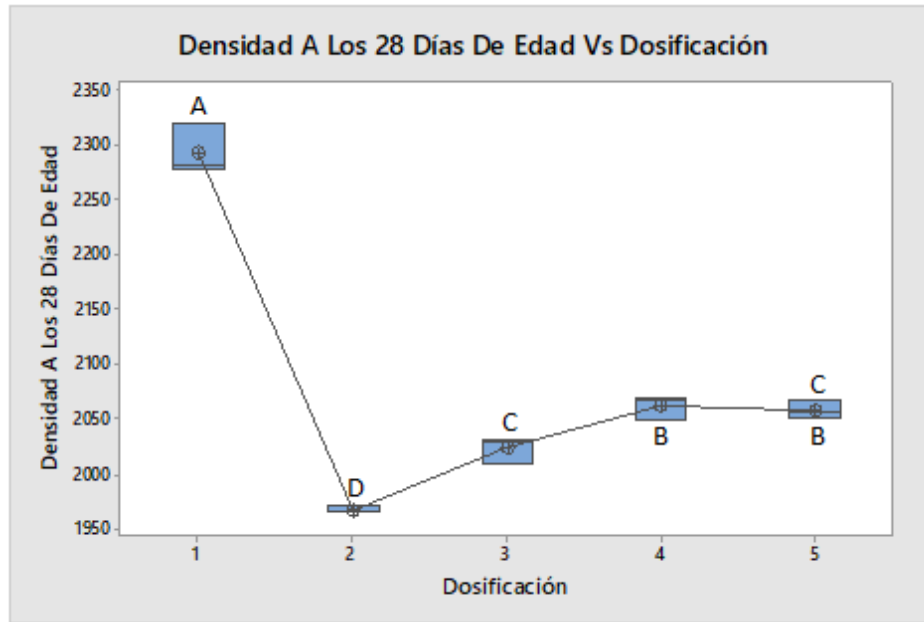


Figura 9. Densidad a los 28 días de edad del hormigón vs dosificación

Elaborado Por: Carlos Valles

5.5. Conductividad térmica de las dosificaciones realizadas

En la tabla 31, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos a conductividad térmica por cada una de las dosificaciones realizadas.

Tabla 31. Resumen de los ensayos a conductividad térmica por cada una de las dosificaciones realizadas

Dosificación	1	2	3	4	5
Conductividad Térmica	1.08	0.86	0.87	0.93	0.98
	1.09	0.86	0.84	0.86	0.82
	1.09	0.85	0.89	0.9	0.9

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 32 se observa como el Valor p determinado en el análisis de varianza ANOVA es menor que el nivel de significancia (α), de esta manera se determina que en las

medias de los ensayos a conductividad térmica existen diferencias significativas, razón por la cual la hipótesis que se ajusta a estos datos es la hipótesis alternativa.

Tabla 32. *Análisis de varianza ANOVA para la conductividad térmica obtenida a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosificación	4	0.10671	0.026677	16.01	0.00
Error	10	0.01667	0.001667		
Total	14	0.12337			

Elaborado Por: Carlos Valles

En la tabla 33 se puede observar como las dosificaciones 2, 3, 4 y 5 son significativamente iguales y únicamente presenta una diferencia significativa con la dosificación 1.

Tabla 33. *Aplicación del método de TUKEY para la conductividad térmica obtenida a los 28 días de edad del hormigón por cada dosificación realizada*

Dosificación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	Agrupación
1	3	1.08667	0.00577	(1.03415; 1.13918)	A
2	3	0.85667	0.00577	(0.80415; 0.90918)	B
3	3	0.8667	0.0252	(0.8141; 0.9192)	B
4	3	0.8967	0.0351	(0.8441; 0.9492)	B
5	3	0.9	0.08	(0.8475; 0.9525)	B

Elaborado Por: Carlos Valles

En la figura 10 se puede observar como la conductividad térmica de la dosificación 1 en la que se utilizó agregado grueso de la mina Sillahuan es mucho más alta que en las dosificaciones en las que se utilizó escoria y ceniza del volcán Tungurahua, además al ser significativamente iguales la dosificación 2 en la que se utilizó únicamente escoria del volcán, respecto de la dosificaciones 3, 4 y 5 en las que se utilizó ceniza del volcán Tungurahua como un aditivo al 5%, 10% y 15% de la masa del cemento, se puede determinar que el uso de ceniza del volcán Tungurahua no ayuda a reducir la conductividad

térmica del hormigón, sin embargo la escoria del volcán Tungurahua si ayuda a reducir la conductividad térmica del hormigón en el que se la utilice.

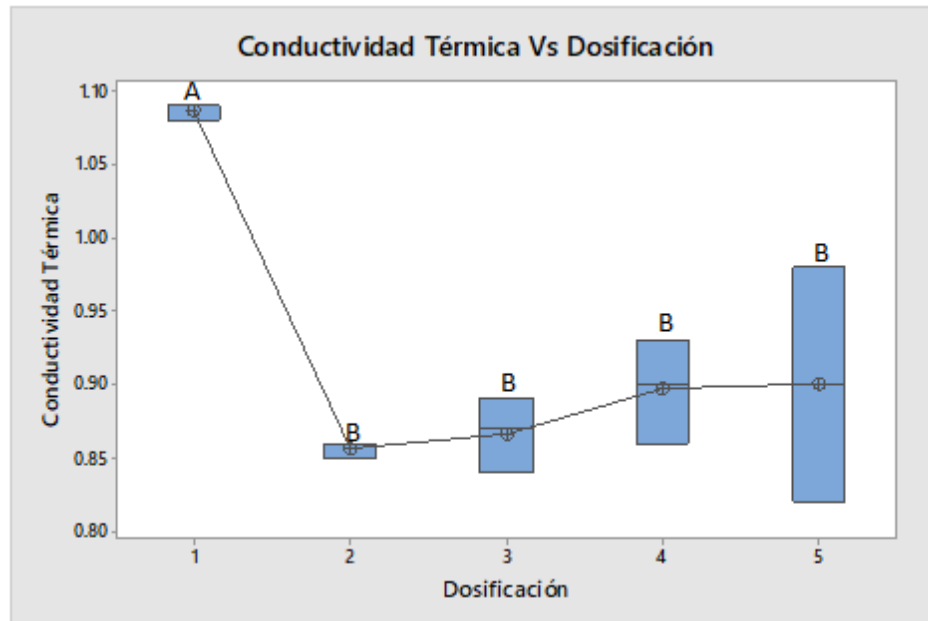


Figura 10. *Conductividad térmica del hormigón vs dosificación*

Elaborado Por: Carlos Valles

6. CONCLUSIONES

La escoria del volcán Tungurahua al ser un material alterante poroso y de masa reducida respecto al agregado grueso de la mina Sillahuan ayuda a disminuir la densidad y la conductividad térmica del hormigón en el que se lo utilice.

El uso de ceniza del volcán Tungurahua como un aditivo en función de la masa del cemento no ayuda a disminuir la conductividad térmica del hormigón, puesto que la conductividad térmica de las dosificaciones en las cuales se utilizó ceniza del volcán Tungurahua como un aditivo en función de la masa del cemento fueron significativamente iguales a la dosificación en la cual se utilizó escoria del volcán Tungurahua.

El uso de ceniza del volcán Tungurahua como un aditivo el cual varía entre el 5% a 15% de la masa del cemento ayuda a mejorar la resistencia del hormigón, siendo la mejor proporción el 10% de la masa del cemento puesto que la proporción al 5% de la masa del cemento presenta una resistencia menor y la proporción al 15% de la masa del cemento presenta una resistencia significativamente igual, razón por la cual no satisface su uso.

El uso de escoria del volcán Tungurahua para realizar hormigón influye en el aumento de la cantidad de cemento respecto a la dosificación con agregado grueso de la mina Sillahuan esto se debe a que la escoria del volcán Tungurahua no aporta mayor resistencia a la mezcla de hormigón.

7. RECOMENDACIONES

Puesto que los bloques que se realizaron en esta investigación fueron bloques denominados macizos cuyas dimensiones fueron 400 milímetros de largo 200 milímetros de alto y 150 milímetros de ancho los cuales obtuvieron una masa promedio a los 28 días de edad de 24.96 kilogramos, masa que constituye un problema si se desea producir este tipo de bloques a gran escala ya que no serían fáciles de manejar y aumentaría significativamente el peso para las estructuras en las que se los utilice, se recomienda que se amplíe esta investigación mediante el diseño de un sistema constructivo que permita realizar bloques alivianados mediante la utilización de los materiales manejados en esta investigación.

Recomienda se replique esta investigación añadiendo a las dosificaciones un aditivo incorporador de aire, mismo que se espera reduzca la densidad y la conductividad térmica del hormigón, considerando las alteraciones que pueden sufrir las dosificaciones originales por la aplicación de este aditivo.

Puesto que la obtención de la escoria volcánica a pequeña escala es un proceso bastante difícil y que en la actualidad no se encuentra ceniza en estado puro por el estado de calma que presenta el volcán Tungurahua se recomienda que se investigue otros materiales que sean de fácil obtención y que igualen o superen los datos obtenidos en esta investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- García, J. (2016). *Mapeo Y Determinación De Parámetros Físicos De Las Corrientes De Densidad Piroclástica Producida Por El Volcán Tungurahua Desde El 2006 (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador.
- Instituto Eduardo Torroja . (2009). *Catálogo De Elementos Constructivos Del Código Técnico De La Edificación*.
- Kaynakli, O. (2011). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Elsevier*, 16, 415-425.
- Lakatos, A. (2014). Comparison of the Thermal Properties of Different Insulating Materials. *Advanced Materials Research*, 899, 381-386.
- Larrea, P., & Dominguez, S. (2011). *Hormigón Simple Utilizando Agregado Volcánico De La Isla Galapagos San Cristobal (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politecnica De Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Le Maitre, R. W. (1976). The Chemical Variability of some Common Igneous Rocks. *Journal of Petrology*, 589-637.
- Martina, P. (2003). Comunicaciones Científicas Y Tecnológicas . *Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de los materiales*. Universidad Nacional Del Nordeste, Chaco, Argentina.
- NTE INEN. (2009). INEN 156. *Cemento Hidráulico. Determicación De La Densidad*.
- NTE INEN. (2010). INEN 855. *Áridos. Determinación De Las Impurezas Orgánicas En El Árido Fino Para Hormigón*.
- NTE INEN. (2010). INEN 856. *Áridos. Determinación De La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Agregado Fino*.
- NTE INEN. (2010). INEN 857. *Áridos. Determinación De La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Árido Grueso*.
- NTE INEN. (2010). INEN 858. *Áridos. Determinación De La Masa Unitaria (Peso Volumétrico) Y El Porcentaje De Vacíos*.
- NTE INEN. (2010). INEN 2566. *Aridos. Reducción De Muestras Al Tamaño De Ensayo*.
- NTE INEN. (2011). INEN 862. *Áridos Para Hormigón. Determinacion Del Contenido Total De Humedad*.
- NTE INEN. (2011). INEN 872. *Áridos Para Hormigón. Requisitos*.

- NTE INEN. (2011). INEN 696. *Áridos. Análisis Granulométrico De Los Áridos Fino Y Grueso.*
- NTE INEN. (2011). INEN 490. *Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos.*
- NTE INEN. (2012). INEN 2617. *Hormigón De Cemento Hidráulico. Agua Para Mezcla. Requisitos.*
- NTE INEN. (2016). INEN 3066. *Bloques De Hormigón. Requisitos Y Método De Ensayo.*
- Revelo, C. (2016). *Análisis Comparativo De La Resistencia A Compresión Del Hormigón Con: Escoria Volcánica Como Sustituto Del Agregado Grueso Y Arena Volcánica Como Sustituto Del Agregado Fino (Tesis de pregrado).* Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador.
- Suárez, A., & Urgiles, M. (2010). *Caracterización De La Ceniza Volcánica del Tungurahua Para La Fabricación De Un Aglomerante Cal-pluzolana. (Tesis de pregrado).* Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Suárez, G., & Valdéz, L. (2010). *"Hormigones Livianos"(Tesis de pregrado).* Escuela Superior Politecnica De Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Yun, T., Jeong, Y., Han, T., & Youm, K. (2013). Evaluation Of Thermal Conductivity For Thermally Insulated Concretes. *Elsevier*, 125-132.
- Zeballo, J. (1996). The Effects Of Volcanoes On Health: Preparedness in México. *Edit Health Stat Q*, 204-208.

9. ANEXOS

Anexo 1 Masa unitaria compactada de los agregados gruesos

Tabla 34. Masa unitaria compactada de la escoria del volcán Tungurahua

Masa del recipiente (g)	A	7560
Masa del recipiente más agregado grueso (g)	B	18680 18860 18980 18920 19020
Masa del agregado grueso (g)	C=B-A	11120 11300 11420 11360 11460
Promedio masa del agregado grueso (g)	$D = \Sigma A/5$	11332
Masa de la placa de vidrio (g)	E	2860
Temperatura del agua (°C)	F	16.5
Densidad del agua (g/cm ³)	G	0.999
Masa del recipiente más placa de vidrio más agua (g)	H	24530
Volumen del recipiente (cm ³)	$I = (H - E - A)/G$	14124.90
MUC (g/cm ³)	$J = D/I$	0.80

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 35. Masa unitaria compactada del agregado grueso de la mina Sillahuan

Masa del recipiente (g)	A	7560
Masa del recipiente más agregado grueso (g)	B	27680 27660 27700 27680 27680
Masa del agregado grueso (g)	C=B-A	20120 20100 20140 20120 20120
Promedio masa del agregado grueso (g)	D=Σ A/5	20120
Masa de la placa de vidrio (g)	E	2860
Temperatura del agua (°C)	F	16.5
Densidad del agua (g/cm ³)	G	0.999
Masa del recipiente más placa de vidrio más agua (g)	H	24530
Volumen del recipiente (cm ³)	I=(H-E-A)/G	14124.90
MUC (g/cm ³)	J=D/I	1.42

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 2 Contenido de humedad de los agregados

Tabla 36. *Humedad de la escoria del volcán Tungurahua*

Descripción de la tara	Masa de la bandeja (g)	Masa de la bandeja más muestra húmeda (g)	Masa de la tara más muestra seca (g)	Humedad (%)
3	125.15	325.15	313.67	6.09
32	125.00	326.00	314.41	6.12
27	125.02	340.02	327.66	6.1
40	125.10	342.10	329.66	6.08
K	125.11	335.11	323.00	6.12
Humedad Promedio				6.10

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 37. *Humedad del agregado grueso de la mina Sillahuan*

Descripción de la tara	Masa de la bandeja (g)	Masa de la bandeja más muestra húmeda (g)	Masa de la tara más muestra seca (g)	Humedad (%)
K	125.11	315.25	313.70	0.82
32	125.00	314.84	313.37	0.78
27	125.02	318.11	316.50	0.79
3	125.15	325.60	324.01	0.78
40	125.10	341.26	339.59	0.84
Humedad Promedio				0.80

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 38. *Humedad de la arena de río de la Mina Hormigones Moreno utilizada en la dosificación número 1*

Descripción de la tara	Masa de la bandeja (g)	Masa de la bandeja más muestra húmeda (g)	Masa de la tara más muestra seca (g)	Humedad (%)
26	17.02	50.26	49.67	1.81
A	17.07	58.14	57.42	1.78
34	17.00	56.61	55.92	1.77
31	17.26	48.64	48.08	1.82
39	17.15	54.40	53.73	1.83
Humedad Promedio				1.80

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 39. *Humedad de la arena de río de la mina Hormigones Moreno utilizada en las dosificaciones número 2, 3, 4 y 5*

Descripción de la tara	Masa de la bandeja (g)	Masa de la bandeja más muestra húmeda (g)	Masa de la tara más muestra seca (g)	Humedad (%)
31	17.26	58.78	57.42	3.39
34	17.00	54.26	53.03	3.41
39	17.15	59.03	57.66	3.38
26	17.02	64.73	63.14	3.45
A	17.07	64.95	63.39	3.37
Humedad Promedio				3.40

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 3 Densidad y porcentaje de absorción de los agregados

Tabla 40. Densidad y porcentaje de absorción de la escoria del volcán Tungurahua

A	Masa seca al horno (g)	1811
B	Masa del recipiente (g)	724
C	Masa del recipiente más árido en estado SSS (g)	2724
D	Masa de la canastilla sumergida (g)	1394
E	Masa de la canastilla + árido sumergido (g)	2218
F	Masa del árido en estado SSS $F=C-B$ (g)	2000
G	Masa del árido en agua $G=E-D$ (g)	824
H	Volumen desalojado $H=F-G$	1176
I	Densidad relativa (gravedad específica) (SH) $I=A/H$ (g/cm³)	1.54
J	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) $J=F/H$ (g/cm³)	1.70
K	Densidad relativa aparente $K=A/(A-G)$ (g/cm³)	1.83
L	Porcentaje de absorción (%)	10.44
M	Densidad (SH) (kg/m³)	1536.12
N	Densidad (SSS) (kg/m³)	1696.43
O	Densidad aparente (kg/m³)	1830.27

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 41. Densidad y porcentaje de absorción del agregado grueso de la mina Sillahuan

A	Masa seca al horno (g)	1938
B	Masa del recipiente (g)	612
C	Masa del recipiente más árido en estado SSS (g)	2625
D	Masa de la canastilla sumergida (g)	1394
E	Masa de la canastilla + árido sumergido (g)	2627
F	Masa del árido en estado SSS $F=C-B$ (g)	2013
G	Masa del árido en agua $G=E-D$ (g)	1233
H	Volumen desalojado $H=F-G$	780
I	Densidad relativa (gravedad específica) (SH) $I=A/H$ (g/cm³)	2.48
J	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) $J=F/H$ (g/cm³)	2.58
K	Densidad relativa aparente $K=A/(A-G)$ (g/cm³)	2.75
L	Porcentaje de absorción (%)	3.87
M	Densidad (SH) (kg/m³)	2478.40
N	Densidad (SSS) (kg/m³)	2574.32
O	Densidad aparente (kg/m³)	2742.06

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 42. *Densidad y porcentaje de absorción de la arena de río de la mina Hormigones Moreno*

Masa del recipiente (gr)	125
Masa del agregado SSS mas recipiente (gr)	625
Masa del agregado SSS (gr)	500
Masa del picnómetro calibrado + agua (gr)	1045
Masa del picnómetro calibrado + agua + agregado (gr)	1338
Masa del agregado seco al horno mas recipiente (gr)	617
Masa del recipiente (gr)	124.81
Masa del agregado seco al horno (gr)	492.19
Densidad relativa (SH)	2.38
Densidad relativa (SSS)	2.42
Densidad relativa aparente	2.47
Densidad (SH) (Kg/m³)	2372
Densidad (SSS) (Kg/m³)	2409
Densidad aparente (Kg/m³)	2465
% de absorción	1.6

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 4 Densidad del cemento

Tabla 43. Densidad del cemento Chimborazo mediante el uso del frasco Le Chatelier

A	Temperatura inicial de la gasolina (°C) A=B	21.1
B	Temperatura final de la gasolina (°C) B=A	21.1
C	Masa del cemento (g)	64
D	Volumen inicial de la gasolina en el frasco de Le Chatelier (cm ³)	0.5
E	Volumen final de la gasolina más el cemento en el frasco de Le Chatelier (cm ³)	21.8
F	Densidad del cemento (g/cm ³) F=C/(E-D)	3.00

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 5 Determinación de la dosificación

Determinación de la resistencia mínima característica

Debido a que no tenemos datos previos de resistencias alcanzadas en hormigones utilizando los agregados propuestos para la investigación se utilizará la tabla siguiente.

Tabla 44. Resistencia mínima característica

f'_c (kg/cm ²)	f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos De 210	$f'_c + 70$
210 - 350	$f'_c + 84$
>350	$f'_c + 98$

Fuente: Adaptado del Comité 211 Del ACI (1994)

$$f'_{cr} = (f'_c + 70) \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = (150 + 70) \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 220 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del contenido de aire atrapado

Para determinar el contenido de aire atrapado utilizaremos la tabla que se encuentra a continuación y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 45. *Contenido de aire atrapado*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (pulg)	Aire atrapado (%)
3/8	3
1/2	2.5
3/4	2
1	1.5
1 1/2	1
2	0.5
3	0.3
4	0.2

Fuente: Adaptado del Comité 211 Del ACI (1994)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso= 1 pulgada.

Contenido de aire atrapado= 1.5%

Determinación del contenido de agua

Para determinar el contenido de agua utilizaremos la siguiente en la cual se debe identificar el asentamiento que deseamos alcanzar en el hormigón y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 46. *Volumen unitario de agua*

	Agua en L/m³, para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicada.							
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1"-2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3"-4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6"-7"	243	228	216	202	190	178	160	
Concreto con aire incorporado								
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Adaptado del Comité 211 Del ACI (1994)

Asentamiento = 1" – 2"

Contenido de agua = 179 L/m^3

Determinación de la relación agua/cemento (a/c)

Para determinar la relación agua cemento (a/c) utilizaremos la tabla que se encuentra a continuación, para lo cual se usara la resistencia mínima requerida (f'_{cr}), en caso de que en la tabla no encontremos el valor de la resistencia mínima requerida (f'_{cr}) se obtendrá dos valores donde la resistencia mínima requerida (f'_{cr}) sea un valor intermedio y se procederá a interpolar para determinar la relación agua cemento (a/c).

Tabla 47. Relación agua/cemento

f'cr	Concreto sin aire incorporado.	Concreto con aire incorporado.
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: Adaptado del Comité 211 Del ACI (1994)

$$y_x = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (y_1 - y_0)$$

$$y_x = 0.7 + \frac{220 - 200}{250 - 200} (0.62 - 0.7)$$

$$y_x = 0.668$$

Relación agua/cemento (a/c) = 0.668

Determinación del contenido de cemento

Contenido de agua obtenido en el paso tres= $179 \text{ L/m}^3 = 179 \text{ kg/m}^3$

Relación agua cemento (a/c) obtenido en el paso cuatro=0.668

$$(a/c) = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del cemento}}$$

$$0.668 = \frac{179 \text{ kg/m}^3}{\text{Peso del cemento}}$$

$$\text{Masa del cemento} = \frac{179 \text{ kg/m}^3}{0.668}$$

$$\text{Masa del cemento} = 267.96 \text{ kg/m}^3$$

Determinación de la masa del agregado grueso

Para determinar la masa del agregado grueso utilizaremos la tabla siguiente, para lo cual se usará el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso, si el módulo de finura no se encuentre en la tabla se obtendrá dos valores donde el módulo de finura del agregado fino sea un valor intermedio entre estos y se procederá a interpolar de la misma forma como se determinó la relación agua cemento.

Módulo de finura del agregado fino= 2.68

Tamaño máximo nominal del agregado grueso= 1”

Masa unitaria compactada del agregado grueso (MUC.A.G)= 800kg/m^3

Volumen del agregado grueso, seco y compactado (V.A.G.S.C).

Tabla 48. Masa del agregado grueso por unidad de volumen

	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del hormigón, para diferentes módulos de finura del agregado fino.			
Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	2.4	2.6	2.8	3
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.70
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado del Comité 211 Del ACI (1994)

$$y_x = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (y_1 - y_0)$$

$$y_x = 0.69 + \frac{2.68 - 2.60}{2.80 - 2.60} (0.67 - 0.69)$$

$$y_x = 0.682$$

$$(V. A. G. S. C) = 0.682$$

$$Masa\ del\ agregado\ grueso\ (M. A. G) = (V. A. G. S. C) * (MUC. A. G)$$

$$(M. A. G) = 0.682 * 800 \frac{kg}{m^3}$$

$$(M. A. G) = 545.60 \frac{kg}{m^3}$$

Dosificación para un metro cubico en estado seco

Contenido de aire obtenido en el paso numero dos=1.5% = 0.015m³

Contenido de agua obtenido en el paso número tres= 179 kg/m³

Contenido de cemento obtenido en el paso número cinco=267.97kg/m³

Contenido de agregado grueso obtenido en el paso número seis= 545.60kg/m³

Puesto que el aire posee una masa demasiado pequeña esta se le considerará igual a cero y para determinar el volumen de los demás materiales utilizados en la dosificación se procederá a multiplicar la masa que estos poseen por su respectiva densidad.

Debido a que hasta el momento no se tiene ni la masa ni el volumen del agregado fino y se realizó la dosificación para un metro cubico de hormigón el volumen del agregado fino (V.A.F) será igual a él volumen total del hormigón menos el volumen de los demás materiales utilizados en la dosificación.

$$V.A.F = 1m^3 - (V.A) - (V.Agua) - (V.C) - (V.A.G)$$

$$V.A.F = 1m^3 - (0.015m^3) - (0.179m^3) - (0.089m^3) - (0.355m^3)$$

$$V.A.F = 0.362m^3$$

Una vez determinado el volumen del agregado fino este se multiplicó por la densidad (SH) del agregado fino para así determinar su masa.

$$\delta(SH).A.F = \frac{M.A.F.S}{V.A.F.S}$$

$$M.A.F.S = (\delta(SH).A.F) * (V.A.F.S)$$

$$M.A.F = \left(2372 \frac{kg}{m^3}\right) * (0.362m^3)$$

$$M.A.F.S = 858.664kg$$

Tabla 49. *Presentación del diseño en estado seco*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0	0.015
Agua	179	0.179
Cemento	267.96	0.089
Agregado Grueso	545.6	0.355
Agregado Fino	858.664	0.362
Total	1851.22	1

Elaborado Por: Carlos Valles

Corrección por humedad

Debido a que en el paso anterior se obtuvo la masa de los agregados en estado seco estos deben ser corregidos en función del contenido de agua que poseen los agregados, para de esta manera evitar que el exceso de agua disminuya la resistencia y aumente el asentamiento en el hormigón.

Masa Del Agregado Grueso (M.A.G)

Masa Del Agregado Grueso Seco (M.A.G.S)

Masa Del Agregado Fino (M.A.F)

Masa Del Agregado Fino Seco (M.A.F.S)

$$(M. A. G) = (M. A. G. S) * \left(\frac{(\% . W. A. G)}{100} + 1 \right)$$

$$(M. A. G) = (545.6kg) * \left(\frac{6.1}{100} + 1 \right)$$

$$(M. A. G) = 578.882kg$$

$$(M.A.F) = (M.A.F.S) * \left(\frac{(\% . W . A . F)}{100} + 1 \right)$$

$$(M.A.F) = (858.664kg) * \left(\frac{3.4}{100} + 1 \right)$$

$$(M.A.F) = 887.859kg$$

Aporte de agua a la mezcla

Para determinar el aporte de agua a la mezcla debido a la humedad de los agregados se utiliza las siguientes formulas:

Aporte De Agua Agregado Fino (A.A.A.F)

Humedad Del Agregado Fino (% W.A.F.)

Aporte De Agua Agregado Grueso (A.A.A.G)

Humedad Del Agregado Grueso (% W.A.F.)

Porcentaje De Absorción Agregado Fino (% Abs.A.F)

Porcentaje De Absorción Agregado Grueso (% Abs.A.G)

Aporte De Agua Agregado Fino Y Grueso (A.A.A.F.G)

$$(A.A.A.F) = \frac{(\% . W . A . F) - (\% . Abs . A . F)}{100} * (M.A.F)$$

$$(A.A.A.F) = \frac{3.4 - 1.6}{100} * (887.859kg)$$

$$(A.A.A.F) = 15.981kg$$

$$(A.A.A.G) = \frac{(\% . W . A . G) - (\% . Abs . A . G)}{100} * (M.A.G)$$

$$(A.A.A.F) = \frac{6.1 - 10.44}{100} * (578.882kg)$$

$$(A.A.A.F) = -25.123kg$$

$$A.A.A.F.G = (A.A.A.F) + (A.A.A.G)$$

$$A.A.A.F.G = (15.981kg) + (-25.123kg)$$

$$A.A.A.F.G = -9.142kg$$

Agua efectiva

Agua Efectiva (A. E)

Masa De Agua Para Un Metro Cubico En Estado Seco (M.A.E.S)

$$A.E = (M.A.E.S) - (A.A.A.F.G)$$

$$A.E = (179kg) - (-9.142kg)$$

$$A.E = 188.142kg$$

Proporcionamiento de diseño

Con la masa de los agregados obtenidos en la corrección por humedad y el agua efectiva calculada se realiza el mismo proceso descrito en la dosificación para un metro cubico.

Tabla 50. *Presentación del diseño en estado húmedo*

Material	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0	0.015
Agua	188.142	0.188
Cemento	267.960	0.089
Agregado Grueso	578.882	0.377
Agregado Fino	887.859	0.374
Total	1922.840	1.043

Elaborado Por: Carlos Valles

Dosificación para el volumen requerido

Debido a que el proporcionamiento de diseño se determinó para un metro cubico de hormigón este debe ser reducido para un volumen de 0.15 metros cúbicos que es el volumen calculado para las probetas realizadas por cada dosificación.

Tabla 51. *Presentación del diseño para el volumen requerido*

Materia	Masa (kg)	Volumen (m³)
Aire	0	0.00216
Agua	27.04	0.02704
Cemento	38.40	0.0128
Agregado Grueso	83.29	0.05422
Agregado Fino	127.59	0.05379
Total	276.32	0.150

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 6 Resultados de los ensayos realizados a las probetas de hormigón

Tabla 52. *Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 1*

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Promedio (MPa)
	Largo (m)	Ancho (m)	Área (mm²)			
	A	B	C=A*B*100³	D	J=D/C	K=(Σ J)/3
1	0.398	0.151	60098	434466	7.23	
2	0.399	0.151	60249	451827	7.50	7.45
3	0.398	0.151	60098	457327	7.61	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 53. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 2

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	11	0.399	0.151			
12	0.398	0.152	60496	662421	10.95	
13	0.399	0.153	61047	641453	10.51	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 54. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 3

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	21	0.400	0.152			
22	0.401	0.152	60952	796167	13.06	
23	0.398	0.150	59700	680221	11.39	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 55. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 4

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	31	0.400	0.150			
32	0.400	0.153	61200	840235	13.73	
33	0.400	0.152	60800	890211	14.64	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 56. Ensayo a compresión a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 5

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	41	0.400	0.153			
42	0.400	0.153	61200	860327	14.06	
43	0.402	0.151	60702	860170	14.17	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 57. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 1

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	4	0.399	0.150			
5	0.400	0.151	60400	776658	12.86	
6	0.400	0.150	60000	719760	12.00	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 58. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 2

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
	14	0.399	0.152			
15	0.398	0.152	60496	859178	14.20	
16	0.400	0.153	61200	967901	15.82	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 59. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 3

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
24	0.400	0.151	60400	1069001	17.7	
25	0.400	0.151	60400	1046678	17.33	17.48
26	0.398	0.152	60496	1052473	17.4	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 60. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 4

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
34	0.400	0.151	60400	1317721	21.82	
35	0.400	0.152	60800	1233864	20.29	20.34
36	0.400	0.151	60400	1142977	18.92	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 61. Ensayo a compresión a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 5

Bloque N.-	Dimensiones			Carga (N) D	Esfuerzo (MPa) J=D/C	Esfuerzo Promedio (MPa) K=(Σ J)/3
	Largo (m) A	Ancho (m) B	Área (mm ²) C=A*B*100 ³			
44	0.400	0.153	61200	1274930	20.83	
45	0.401	0.152	60952	1319001	21.64	21.21
46	0.401	0.151	60551	1280786	21.15	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 62. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 1

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
1	0.398	0.151	0.199	27.024	0.012	2252.000	
2	0.399	0.151	0.200	27.297	0.012	2274.750	2261.056
3	0.398	0.151	0.202	27.077	0.012	2256.417	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 63.** Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 2

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
11	0.399	0.151	0.200	23.367	0.012	1947.250	
12	0.398	0.152	0.200	23.558	0.012	1963.167	1963.306
13	0.399	0.153	0.201	23.754	0.012	1979.500	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 64.** Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 3

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
21	0.400	0.152	0.200	24.116	0.012	2009.667	
22	0.401	0.152	0.200	24.086	0.012	2007.167	2012.861
23	0.398	0.150	0.200	24.261	0.012	2021.750	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 65.** Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 4

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
31	0.400	0.150	0.200	24.578	0.012	2048.167	
32	0.400	0.153	0.200	24.424	0.012	2035.333	2042.083
33	0.400	0.152	0.200	24.513	0.012	2042.750	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 66. Densidad a los 7 días de edad del hormigón de la dosificación número 5

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
41	0.400	0.153	0.200	24.149	0.012	2012.417	
42	0.400	0.153	0.200	24.431	0.012	2035.917	2021.028
43	0.402	0.151	0.200	24.177	0.012	2014.750	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 67.** Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 1

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
4	0.399	0.150	0.200	27.376	0.012	2281.333	
5	0.400	0.151	0.200	27.831	0.012	2319.250	2292.861
6	0.400	0.150	0.200	27.336	0.012	2278.000	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 68.** Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 2

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
14	0.399	0.152	0.200	23.584	0.012	1965.333	
15	0.398	0.152	0.201	23.655	0.012	1971.250	1966.889
16	0.400	0.153	0.201	23.569	0.012	1964.083	

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 69.** Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 3

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
24	0.400	0.151	0.200	24.105	0.012	2008.750	
25	0.400	0.151	0.200	24.352	0.012	2029.333	2023.000
26	0.398	0.152	0.200	24.371	0.012	2030.917	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 70. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 4

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
34	0.400	0.151	0.200	24.824	0.012	2068.667	
35	0.400	0.152	0.200	24.591	0.012	2049.250	2061.139
36	0.400	0.151	0.200	24.786	0.012	2065.500	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 71. Densidad a los 28 días de edad del hormigón de la dosificación número 5

Bloque N.-	Dimensiones (m)			Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
	Largo	Ancho	Altura				
	A	B	C				
44	0.400	0.153	0.200	24.805	0.012	2067.083	
45	0.401	0.152	0.200	24.664	0.012	2055.333	2057.666
46	0.401	0.151	0.200	24.607	0.012	2050.583	

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 72. Conductividad térmica de los bloques 1 y 2 de la dosificación número 1

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	22.90	22.7	22.70	22.60	22.60	22.60	22.70
T2 (°C)	22.70	22.7	22.60	22.50	22.60	22.60	22.60
T3 (°C)	14.80	14.8	14.80	14.80	14.90	14.90	15.00
T4 (°C)	14.80	14.8	14.80	14.80	14.80	14.90	14.90
V (V)	18.80	18.8	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
T (K)	8.10	7.90	7.90	7.80	7.70	7.70	7.70
A (m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	1.04	1.07	1.07	1.08	1.10	1.10	1.10
λ Promedio (W/m*K)				1.08			

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 73. Conductividad térmica de los bloques 3 y 4 de la dosificación número 1

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	21.40	21.50	22.00	21.80	22.30	22.40	21.00
T2 (°C)	21.20	21.50	22.00	21.80	22.20	22.30	20.90
T3 (°C)	13.80	14.70	15.10	14.90	15.20	15.00	13.50
T4 (°C)	13.90	14.80	15.20	15.00	15.20	15.10	13.60
V (V)	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.20
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.78
T (K)	7.60	6.80	6.90	6.90	7.10	7.40	7.50
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	1.03	1.15	1.13	1.13	1.10	1.06	1.05
λ Promedio (W/m*K)	1.09						

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 74.** Conductividad térmica de los bloques 5 y 6 de la dosificación número 1

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	21.40	21.10	20.30	20.10	20.20	20.50	20.70
T2 (°C)	21.40	21.20	20.20	20.10	20.20	20.50	20.70
T3 (°C)	13.70	13.80	12.90	12.80	13.00	13.80	13.70
T4 (°C)	13.80	13.80	12.90	12.80	13.00	13.80	13.70
V (V)	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.10	18.20
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.78
T (K)	7.70	7.30	7.40	7.30	7.20	6.70	7.00
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	1.02	1.07	1.06	1.07	1.09	1.17	1.13
λ Promedio (W/m*K)	1.09						

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 75. *Conductividad térmica de los bloques 11 y 12 de la dosificación número 2*

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	23.00	23.00	23.00	22.90	22.80	22.90	23.00
T2 (°C)	22.90	22.90	22.80	22.70	22.80	22.90	22.90
T3 (°C)	14.50	14.50	14.50	14.40	14.50	14.60	14.60
T4 (°C)	14.40	14.40	14.30	14.30	14.40	14.40	14.50
V (V)	17.40	17.40	17.40	17.50	17.40	17.40	17.40
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.63	1.63	1.63	1.64	1.63	1.63	1.63
T (K)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.30	8.30	8.40
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.85	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87	0.86
λ Promedio (W/m*K)	0.86						

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 76.** *Conductividad térmica de los bloques 13 y 14 de la dosificación número 2*

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	22.30	22.40	22.60	22.30	22.30	22.30	22.40
T2 (°C)	22.10	22.20	22.40	22.20	22.20	22.20	22.30
T3 (°C)	14.00	14.00	14.20	14.00	14.00	14.00	14.10
T4 (°C)	13.80	13.90	14.40	14.50	13.70	13.70	13.70
V (V)	17.30	17.40	17.40	17.30	17.30	17.30	17.30
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.61	1.63	1.63	1.61	1.61	1.61	1.61
T (K)	8.30	8.40	8.40	8.30	8.30	8.30	8.30
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
λ Promedio (W/m*K)	0.86						

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 77. *Conductividad térmica de los bloques 15 y 16 de la dosificación número 2*

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	23.00	22.90	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
T2 (°C)	22.90	22.70	22.90	22.90	22.90	22.80	22.80
T3 (°C)	14.60	14.40	14.50	14.60	14.50	14.50	14.50
T4 (°C)	14.50	14.30	14.40	14.50	14.40	14.30	14.30
V (V)	17.40	17.50	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.62	1.64	1.63	1.62	1.62	1.62	1.62
T (K)	8.40	8.50	8.50	8.40	8.50	8.50	8.50
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.86	0.86	0.85	0.86	0.85	0.85	0.85
λ Promedio (W/m*K)	0.85						

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 78.** *Conductividad térmica de los bloques 21 y 22 de la dosificación número 3*

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	22.90	22.80	22.90	22.90	22.90	22.90	22.90
T2 (°C)	22.90	22.80	22.90	22.90	22.90	22.90	22.90
T3 (°C)	14.60	14.60	14.70	14.60	14.60	14.60	14.60
T4 (°C)	14.60	14.50	14.60	14.50	14.50	14.50	14.50
V (V)	17.36	17.36	17.30	17.36	17.36	17.36	17.36
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.62	1.62	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
T (K)	8.30	8.20	8.20	8.30	8.30	8.30	8.30
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.87	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
λ Promedio (W/m*K)	0.87						

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 79. Conductividad térmica de los bloques 23 y 24 de la dosificación número 3

Hora	16H00	16H30	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00
T1 (°C)	23.40	23.30	23.40	23.60	23.70	23.70	23.70
T2 (°C)	23.40	23.50	23.50	23.70	23.70	23.60	23.70
T3 (°C)	15.30	15.50	15.80	16.00	16.10	16.10	16.00
T4 (°C)	14.60	14.80	15.10	15.30	15.90	16.00	16.10
V (V)	17.44	17.45	16.85	16.88	16.84	16.84	16.85
I (A)	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Q (W)	1.63	1.56	1.41	1.42	1.41	1.41	1.41
T (K)	8.10	7.80	7.60	7.60	7.60	7.60	7.70
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.90	0.89	0.82	0.83	0.82	0.82	0.81
λ Promedio (W/m*K)				0.84			

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 80.** Conductividad térmica de los bloques 25 y 26 de la dosificación número 3

Hora	16H00	16H30	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00
T1 (°C)	23.60	23.50	23.50	23.60	23.60	23.70	23.70
T2 (°C)	23.50	23.50	23.60	23.70	23.70	23.80	23.70
T3 (°C)	15.20	15.40	15.90	16.00	16.10	16.30	16.00
T4 (°C)	14.50	14.70	15.20	15.30	15.80	16.20	16.10
V (V)	17.44	17.45	16.85	16.78	16.84	16.74	16.85
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.63	1.64	1.52	1.51	1.52	1.50	1.52
T (K)	8.40	8.10	7.60	7.60	7.50	7.40	7.70
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.86	0.90	0.89	0.88	0.90	0.90	0.88
λ Promedio (W/m*K)				0.89			

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 81. *Conductividad térmica de los bloques 31 y 32 de la dosificación número 4*

Hora	16H00	16H30	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00
T1 (°C)	23.90	23.70	23.80	23.80	23.80	23.80	23.70
T2 (°C)	23.90	23.70	23.80	23.80	23.90	23.90	23.80
T3 (°C)	14.90	15.20	15.50	15.30	15.20	15.20	15.20
T4 (°C)	15.00	14.80	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30
V (V)	18.22	18.24	18.26	18.25	18.23	18.23	18.23
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78
T (K)	9.00	8.50	8.30	8.50	8.60	8.60	8.50
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.88	0.93	0.96	0.94	0.92	0.92	0.93
λ Promedio (W/m*K)				0.93			

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 82.** *Conductividad térmica de los bloques 33 y 34 de la dosificación número 4*

Hora	14H00	14H30	15H00	15H30	16H00	16H30	17H00
T1 (°C)	21.10	21.00	21.40	20.80	20.70	20.90	21.00
T2 (°C)	21.00	21.10	21.40	20.80	20.70	21.00	21.00
T3 (°C)	13.00	13.10	13.40	12.70	12.70	13.20	13.20
T4 (°C)	13.00	13.10	13.40	12.80	12.80	13.20	13.20
V (V)	16.91	17.04	16.96	16.96	16.96	16.96	16.88
I (A)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.54	1.56	1.54	1.54	1.54	1.54	1.53
T (K)	8.10	7.90	8.00	8.10	8.00	7.70	7.80
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.84	0.88	0.86	0.85	0.86	0.89	0.87
λ Promedio (W/m*K)				0.86			

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 83. *Conductividad térmica de los bloques 35 y 36 de la dosificación número 4*

Hora	16H00	16H30	17H00	17H30	18H00	18H30	19H00
T1 (°C)	23.40	23.20	23.30	23.30	23.30	23.30	23.20
T2 (°C)	23.40	23.50	23.30	23.30	23.40	23.40	23.30
T3 (°C)	14.30	14.20	14.50	14.30	15.20	14.20	14.20
T4 (°C)	14.20	14.80	15.30	15.30	15.30	15.30	14.30
V (V)	18.22	18.24	18.26	18.25	18.23	18.23	18.23
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78
T (K)	9.10	9.00	8.80	9.00	8.10	9.10	9.00
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.87	0.88	0.90	0.88	0.98	0.87	0.88
λ Promedio (W/m*K)				0.90			

Elaborado Por: Carlos Valles**Tabla 84.** *Conductividad térmica de los bloques 41 y 42 de la dosificación número 5*

Hora	14H00	14H30	15H00	15H30	16H00	16H30	17H00
T1 (°C)	22.50	22.50	22.40	22.40	22.60	22.50	22.60
T2 (°C)	22.60	22.40	22.40	22.40	22.70	22.60	22.60
T3 (°C)	14.70	14.80	15.20	15.10	15.50	15.40	15.40
T4 (°C)	14.10	14.30	14.60	14.60	15.00	14.90	15.00
V (V)	17.73	17.15	17.25	17.26	17.31	17.31	17.31
I (A)	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Q (W)	1.69	1.58	1.60	1.60	1.61	1.61	1.61
T (K)	7.80	7.70	7.20	7.30	7.10	7.10	7.20
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.96	0.91	0.99	0.97	1.01	1.01	0.99
λ Promedio (W/m*K)				0.98			

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 85. Conductividad térmica de los bloques 43 y 44 de la dosificación número 5

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	23.00	23.00	23.00	22.90	22.90	22.80	22.90
T2 (°C)	23.10	23.00	23.00	22.90	22.80	22.80	22.80
T3 (°C)	16.20	15.68	15.67	15.60	15.70	15.80	15.80
T4 (°C)	15.40	14.80	14.70	14.70	14.80	14.90	14.90
V (V)	15.75	15.68	15.67	15.62	16.04	15.50	15.65
I (A)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08
Q (W)	1.33	1.32	1.32	1.31	1.38	1.29	1.32
T (K)	6.80	7.32	7.33	7.30	7.20	7.00	7.10
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.87	0.80	0.80	0.80	0.85	0.82	0.82
λ Promedio (W/m*K)	0.82						

Elaborado Por: Carlos Valles

Tabla 86. Conductividad térmica de los bloques 45 y 46 de la dosificación número 5

Hora	7H00	7H30	8H00	8H30	9H00	9H30	10H00
T1 (°C)	23.10	23.20	23.20	23.40	23.30	23.40	23.30
T2 (°C)	23.40	23.50	22.90	23.60	23.40	23.20	23.60
T3 (°C)	14.20	14.20	14.50	14.60	14.40	14.60	14.70
T4 (°C)	14.60	14.60	14.40	14.50	14.80	14.40	14.50
V (V)	18.22	18.24	18.22	18.25	18.23	18.22	18.23
I (A)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Q (W)	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78
T (K)	8.90	9.00	8.70	8.80	8.90	8.80	8.60
A (m²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
λ (W/m*K)	0.89	0.88	0.91	0.90	0.89	0.90	0.92
λ Promedio (W/m*K)	0.90						

Elaborado Por: Carlos Valles

Anexo 7 Certificación de la realización de los ensayos de conductividad térmica en la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE



CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA

Por medio de la presente debo CERTIFICAR, que, en el Laboratorio de Conversión de la Energía, perteneciente al DECEM (Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica), de la Universidad De las Fuerzas Armadas ESPE, se realizaron los ensayos de conductividad térmica del proyecto denominada "Hormigón de baja conductividad térmica para su uso en mampuestos utilizando como agregados escoria y ceniza del volcán Tungurahua" propuesto por el Sr. Carlos Valles.

Me despido de ustedes.

Muy Atentamente

Jaime Roberto Buenaño Abarza
Telf.0983501563

Campus Politécnico Sangolquí: Av General Rumiñahui s/n /PBX (593-02)3 989 400
Fax: (593-02)2334 952 / Código Postal:171-5-231-B/Sangolquí – Ecuador
E-mail:marketing@espe.edu.ec/Página Web:WWW.espe.edu.ec

Anexo 8 Evidencias Fotográficas



Fotografía 1: Recolección de la escoria en la quebrada Quilluyaco



Fotografía 2: Trituración de la escoria en la mina Sillahuan



Fotografía 3: Ensayo granulométrico de los agregados gruesos



Fotografía 4: Ensayo granulométrico de la arena de río de la mina Hormigones Moreno



Fotografía 5: Ensayo de densidad y porcentaje de absorción de la arena de río de la mina Hormigones Moreno



Fotografía 6: Ensayo de densidad del cemento Chimborazo



Fotografía 7: Colorimetría de la arena de río de la mina Hormigones Moreno



Fotografía 8: Colorimetría de la ceniza del volcán Tungurahua



Fotografía 9: Armado de los moldes de MDF



Fotografía 10: Determinación de la masa de los materiales para elaborar el hormigón



Fotografía 11: Determinación del asentamiento del hormigón



Fotografía 12: Varillado del hormigón en los moldes de MDF



Fotografía 13: Desmoldado de las probetas de hormigón



Fotografía 14: Colocación de las probetas en la piscina de curado y llenado de agua de la misma



Fotografía 15: Realización de los ensayos de compresión simple



Fotografía 16: Realización de los ensayos de conductividad térmica