



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

**USO DE CENIZA VOLCANICA COMO PUZOLANA NATURAL EN
MEZCLAS DE HORMIGON**

**TRABAJO DE TITULACION QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: ISAIAS JOSE COPPIANO GUTIERREZ

DIRECTORA DE TESIS: ING. CARMEN TERREROS DE VARELA, PHD

SAMBORONDON, SEPTIEMBRE, 2016

CERTIFICACION DE APROBACION DEL TUTOR/A

En mi calidad de tutor del estudiante **Isaías José Coppiano Gutiérrez** estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, carrera dictada en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES, certifico: Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **USO DE CENIZA VOLCANICA COMO PUZOLANA NATURAL EN MEZCLAS DE HORMIGON**, presentado por el **estudiante Isaías José Coppiano Gutiérrez** con cedula de ciudadanía N°. 1310856578, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutora: Ing. Carmen Terreros, Phd, Msc.

Samborondón, Septiembre 2016.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios primero, guiarme y bendecirme de tantas maneras para poder cumplir esta meta propuesta. A mi familia por su motivación y apoyo constante a lo largo de este camino; a mi padre como jefe y consejero, de quién he aprendido tantas cosas acerca de la profesión y quién me brindó su apoyo incondicional y fundamental para realizar esta investigación. A mi madre y a mi hermano, como formadores de mi persona y mi carácter para lograr la meta propuesta. A la Ing. Carmen Terreros de Varela, mi directora de tesis, quién más que una profesora fue mi consejera y mentora durante toda la carrera y quién me orientó constantemente con paciencia y cariño. Al Ing. Urbano Caicedo quién nos guió a lo largo de la carrera y promovió el deseo de superación y apoyo mutuo ante los estudiantes, creando un ambiente de compañerismo. A Mario Salcedo, Álvaro Loaiza, Patricio Hinojosa, Carlos Cevallos demás compañeros y profesores que brindaron su apoyo constante a lo largo de este camino y con quienes compartí experiencias y enseñanzas que ayudaron a definirme como persona y como futuro profesional. A Jorge Estrada, Norman Cevallos y el Lic. Jorge Páez por incentivar en mí las ganas de estudiar y seguir aprendiendo.

- Isaías José Coppiano Gutiérrez.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a Dios, pues mis logros no son sino los que Él permite. A mi familia, a mi hermano Jorge Andrés, a mis profesores, a mis compañeros Hernán Vela y Andrés López, y demás amigos y todas las personas que influyeron en mi para lograr ser quien soy el día de hoy.

- Isaías José Coppiano Gutiérrez.

INDICE DE CONTENIDO

<i>CERTIFICACION DE APROBACION DEL TUTOR/A</i>	<i>I</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>II</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>III</i>
<i>INDICE DE CONTENIDO</i>	<i>IV</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>VII</i>
<i>INDICE DE ILUSTRACIONES</i>	<i>IX</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>X</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>XI</i>
<i>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
1. Antecedentes	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Sistematización del Problema	2
1.4 Objetivos de la investigación	3
1.4.1 Objetivo General:	3
1.4.2 Objetivos específicos:	3
1.5 Justificación o importancia de la investigación	3
<i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</i>	<i>4</i>
2.1 Hormigón o concreto	5
2.1.2 Mortero	5
2.2 Agregados que componen el hormigón	6
2.2.1 Agua	6
2.2.2 Agregado fino y grueso	6
2.2.3 Cemento	7
2.3 Ensayos para los Agregados del Hormigón	8

2.3.1 Granulometría de los agregados fino y grueso _____	8
2.3.2 Módulo de Finura _____	9
2.3.3 Absorción de los Agregados _____	10
2.3.4 Peso volumétrico varillado y suelto de los agregados _____	11
2.4 Ensayos para la mezcla de hormigón _____	12
2.4.1 Resistencia a la compresión _____	12
2.4.2 Resistencia a la flexión _____	13
2.4.3 Asentamiento de Hormigón _____	15
2.5 Puzolana _____	17
2.5.1 Puzolana Naturales: Ceniza Volcánica _____	17
2.5.2 Propiedades Generales de las Puzolanas en las mezclas de Hormigón_	20
2.5.3 Desventajas generales del uso de puzolanas naturales o artificiales en las mezclas de hormigón _____	21
2.6 Normativas referentes a la puzolana: _____	24
2.6.1 Normativa Ecuatoriana referente a la puzolana (INEN 494-1980-11) _	24
2.6.2 Norma ASTM C618 _____	25
<i>CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL</i> _____	27
3.1 Introducción _____	28
3.2 Agregados a utilizarse y su tratamiento previo _____	28
3.2.1 Tratamiento ceniza volcánica _____	28
3.2.2 Análisis físico y químico de la ceniza _____	28
3.2.3 Comparación a la Norma Ecuatoriana (INEN 0494) _____	29
3.2.4 Comparación a la Norma Norteamericana (ASTM C-618) _____	30
3.3 Hormigón _____	31
3.3.1 Pruebas con morteros _____	32
3.3.2 Granulometría de los agregados _____	34
3.3.3 Peso volumétrico varillado, peso volumétrico suelto y absorción del agregado fino y grueso _____	36
3.4 Diseño de Hormigón _____	37
3.4.1 Diseño de Hormigón $F'c = 210$ _____	39

3.4.2 Diseño de hormigón F'c= 350	45
<i>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	52
4.1 Análisis del hormigón F'c=210.	53
4.2 Análisis del hormigón F'c=350.	53
<i>CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO</i>	55
5.1 Análisis Económico	56
<i>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	84
6.1 Conclusiones	85
<i>CAPÍTULO VII: BIBLOGRAFÍA</i>	87
7.1 Referencias Bibliográficas	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis Químico General (Prmt: Parámetro).....	23
Tabla 2: Requisitos Físicos (del Ecuador) de las puzolanas naturales o calcinadas. ..	25
Tabla 3: Requisitos Químicos (del Ecuador) de las puzolanas naturales o calcinadas. Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1981)	25
Tabla 4: Clasificación de las puzolanas según la norma ASTM C618	26
Tabla 5: Composición química (americana) requerida según la norma ASTM C618	26
Tabla 6: Análisis químico de la ceniza.....	30
Tabla 7: Análisis químico ASTM de la ceniza	31
Tabla 8: Pruebas de resistencia a la compresión de los cubos de mortero a los 7, 14 y 28 días. Fuente: Autor	33
Tabla 9: Granulometría de la arena	35
Tabla 10: Peso Volumétrico Suelto y Varillado	36
Tabla 11: Absorción de los Agregados	36
Tabla 12: Diseño de hormigón de $F'c= 210$	39
Tabla 13: Roturas de cilindros de hormigón $F'c= 210$ sin reemplazo de cemento y con el 5% de reemplazo	40
Tabla 14: Roturas de cilindros de hormigón $F'c= 210$ con el 10% y 15% de reemplazo de cemento.....	41
Tabla 15: Roturas de viguetas de hormigón $F'c= 210$ con y sin reemplazo de cemento	42
Tabla 16: Modelo Matemático para ensayos de hormigón $F'c= 210$	43
Tabla 17Diseño de hormigón de $F'c= 350$	46
Tabla 18: Roturas de cilindros de hormigón $F'c= 350$ sin reemplazo de cemento y con el 5% de reemplazo	47
Tabla 19: Roturas de cilindros de hormigón $F'c= 350$ con el 10% y 15% de reemplazo de cemento.....	48
Tabla 20: Roturas de viguetas de hormigón $F'c= 350$ con y sin reemplazo de cemento	49

Tabla 21: Modelo Matemático para ensayos de hormigón $F'c= 350$	50
Tabla 22: Análisis de resultados $F'c= 210$	53
Tabla 23: Análisis de resultados $F'c= 350$	54
Tabla 24: Presupuesto General de la obra seleccionada	79
Tabla 25: Análisis Económico Propuesto aplicado.....	83

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Muestra de mezcla de hormigón	5
Ilustración 2: Sacos de cemento marca Holcim	8
Ilustración 3: Máquinas de tamizado de los laboratorios UEES y A&E Guayaquil	9
Ilustración 4: Peso de material para ser tamizado	10
Ilustración 5: Tratamientos de Agregados para pruebas de absorción	11
Ilustración 6: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto	13
Ilustración 7: Ensayo de resistencia de la flexión del concreto.....	14
Ilustración 8: Cilindros y vigas	14
Ilustración 9: Ensayo a compresión de cilindro	15
Ilustración 10: Ensayo de asentamiento usando el cono de Abrams.....	16
Ilustración 11: Explicación del ensayo de asentamiento usando el cono de Abrams .	16
Ilustración 12: Clasificación de las puzolanas	18
Ilustración 13: Molino para trituración de ceniza	19
Ilustración 14: Ceniza volcánica triturada.....	20
Ilustración 15: Ceniza de arroz incorrectamente quemada, presenta un color negro en lugar de gris blanquinoso	22
Ilustración 16: Desempeño de los morteros sometidos ante esfuerzos de compresión	34
Ilustración 17: Elaboración de Mezclas	37
Ilustración 18: Curva parabólica del modelo matemático para ensayos de hormigón $F'_c= 210$	44
Ilustración 19: Curva Parabólica del Modelo Matemático para ensayos de hormigón $F'_c= 350$	51
Ilustración 20: Información de Licitación de Obra	56

RESUMEN

La Ingeniería puede ser definida como el conjunto de técnicas y conocimientos para inventar y aprovechar de mejor manera los recursos naturales para la industria (RAE, 2016; Construmática, 2016). Somos nosotros, los futuros ingenieros del Ecuador, quienes estaremos a cargo de ingeniar soluciones para los problemas sociales de nuestro país.

El propósito de este trabajo de titulación es analizar una posible aplicación de la ceniza volcánica en estado crudo como agregado en mezclas de hormigón para reducir costos en la construcción y estudiar posibles mejoras mecánicas de la mezcla, haciendo énfasis en la crisis económica que el Ecuador está atravesando.

Para la presente investigación se estudió el uso de ceniza volcánica de las erupciones provenientes volcán Tungurahua en mezclas de hormigón. Se procedió a recolectar el material posterior a un episodio eruptivo del volcán, se lo analizó químicamente y al cumplir con los requisitos previamente establecidos se lo adicionó de manera estudiada en diferentes proporciones en muestras de mortero. Las pruebas de mortero sirvieron de orientación para seleccionar las proporciones en las que la ceniza sería agregada a dos mezclas de hormigón diferentes. Se utilizó una mezcla de hormigón $f'c= 210$ siendo el límite inferior de resistencia para poder ser denominado hormigón estructural y hormigón $f'c= 350$ por ser un hormigón de alta resistencia, aplicado en diferentes escenarios de obras civiles.

Con estas mezclas se diseñaron cilindros y viguetas (muestras físicas) que fueron ensayadas, sometidas a esfuerzos de compresión y flexión, y mediante estos ensayos de laboratorio se estableció el proporcionamiento ideal y se procedió a analizar si sería económicamente viable la mezcla. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

ABSTRACT

Engineering is the set of techniques and knowledge used to invent and create with the use of natural resources (RAE, 2016; Construmática, 2016). We, as the future engineers of Ecuador, will be the ones who bring solutions to social problems and make positive changes to society.

The purpose of this investigation is to analyze the way concrete mixes react when raw volcanic ash is applied in the production process. It is intended to revise if there are mechanical improvements when the ash is added, and if that were the case, if it would be economically convenient to use it in construction projects.

The volcanic ash used in this investigation was retrieved from the Tungurahua volcano after the eruption in October of 2015. The material was hand collected and sent to a chemistry lab where it was analyzed, the material met all the requirements that were needed and it was added to two different concrete mixes in different proportions, replacing cement for ash. The concrete mixes selected for this investigation were both structural concrete, using $f'c = 210$ and 350 .

With both of the previously mentioned concrete mixes, physical samples were tested, subjecting the samples to compression and bending forces. With this results, the best scenario was analyzed in terms of economic costs. The results were outstanding.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1. Antecedentes

1.1 Planteamiento del Problema

Existen dos tipos de puzolana, naturales y artificiales, que al ser agregadas a las mezclas de hormigón con cemento portland, ocasionan reacciones favorables que podrían traer una variedad de mejoras a las características del hormigón; como incrementar su trabajabilidad, plasticidad, resistencia a sulfatos, permeabilidad e incluso ser un material de sustitución parcial para el cemento (Ing. Carmen Terreros de Varela, 2006).

La investigación a realizarse trata sobre el uso de ceniza volcánica en estado crudo como puzolana natural adicionada a la mezcla de hormigón; se buscará analizar el desempeño en el incremento de la resistencia del concreto.

1.2 Formulación del Problema

Identificar las mejoras o perjuicios que se presenten en el hormigón, tanto en sus características, así como en su costo de producción. Para esto se realizarán probetas para ser sometidas a pruebas de compresión y tracción, utilizando dosificaciones previamente estudiadas y elaboradas para la mezcla.

1.3 Sistematización del Problema

1. ¿Cómo afecta el uso de ceniza volcánica en estado crudo aplicada a la mezcla de hormigón?
2. ¿Esta afectación varía con la cantidad de ceniza que es adicionada en la mezcla de hormigón?
3. ¿Cuál es el proporcionamiento óptimo de ceniza que puede usado en una mezcla?
4. ¿Cuál mezcla resulta más rentable?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General:

Comparar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con diferentes cantidades de ceniza volcánica en estado crudo adicionada a la mezcla de hormigón para encontrar cuál tiene mejor desempeño.

1.4.2 Objetivos específicos:

- a) Estudiar el efecto de la ceniza volcánica al ser agregada a las mezclas de hormigón.
- b) Comparar las mezclas utilizando diferentes dosificaciones de ceniza volcánica en estado crudo establecidas en reemplazo de cemento.
- c) Investigar mediante pruebas de laboratorio los resultados de resistencia a la compresión y flexión de las probetas diseñadas para determinar las afectaciones (positivas o negativas) del uso la ceniza.
- d) Analizar y comparar desde el punto de vista económico la viabilidad de la aplicación de dicho material.

1.5 Justificación o importancia de la investigación

Se pretende, mediante los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, realizar una comparación entre la mezcla para encontrar cuál tiene mejor desempeño en el hormigón en el ámbito mecánico y económico. De conformidad con los resultados, se podría partir para futuras investigaciones y aplicaciones en construcciones.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón o concreto

El hormigón es uno de los materiales más comunes utilizados para la construcción en nuestro medio y por consiguiente un material que está siendo constantemente estudiado y evaluado. Este material se caracteriza por sus altas resistencias a esfuerzos de compresión, aunque no tiene tanta nobleza ante esfuerzos a la tracción. Para obtener hormigón se debe mezclar agua, arena, piedra, y cemento (generalmente cemento Portland) que al combinarse con el agua genera una reacción química entre los agregados. (Ing. Carmen Terreros de Varela, 2006)



Ilustración 1: Muestra de mezcla de hormigón

Fuente: Anónimo, Internet

2.1.2 Mortero

El mortero es un material cementante elaborado con cemento, arena y agua. En términos generales es utilizado principalmente para enlucidos y como pegamento para bloques, cerámicas, etc.

2.2 Agregados que componen el hormigón

2.2.1 Agua

El agua es un componente clave en el hormigón, ésta se utiliza desde la mezcla para lograr la reacción hidráulica con el cemento Portland, hasta después del fraguado de la mezcla para “curarla” debidamente.

Generalmente, en una mezcla de hormigón, se puede utilizar casi todo tipo de agua natural potable que no tenga olor ni sabor. Se deben evitar aguas duras y salobres porque actúan negativamente contra el cemento. Como regla general, se debe de tener cuidado de que el agua a ser usada sea libre de grasas, azúcares y ácidos. Un ejemplo de una normativa que vaya más a profundidad puede ser la normativa del ICC (Instituto de la Construcción y del Cemento) No. HA-58 que aconseja rechazar aguas que:

- Tengan un PH inferior a 6 o superior a 8.
- Su contenido de SO₃ sea superior a 0,3 g/Litro.
- Contengan sustancias solubles en proporción superior al 3,5%.
- No se observe la presencia de hidratos de carbono.

2.2.2 Agregado fino y grueso

Los agregados, dependiendo del diseño, pueden representar hasta el 75% del volumen de hormigón en una mezcla. Además, la calidad del agregado incide directamente en la calidad del concreto, ya que las propiedades físicas, químicas y térmicas de los agregados a usar van a afectar de manera directa a la mezcla.

Se denomina agregado fino a la arena usada en la mezcla, como regla general se utiliza arena gruesa para mezclas de hormigón y arena fina para enlucidos. La arena puede ser extraída de los ríos o provenir de la trituración de piedra.

Se denomina agregado grueso la piedra que se utiliza en la mezcla de hormigón. Es un sub producto de la trituración de piedra, como regla general se utiliza piedra No. 4 para hormigón común, también se utiliza piedra No. $\frac{3}{4}$ para los casos que ameriten.

Según las normas más comunes para controlar la calidad de los agregados, como la ASTM por ejemplo, se toman en cuenta la granulometría de los mismos, su forma, absorción, pesos unitarios, desgaste por abrasión en la máquina de los Ángeles, gravedad específica, ente otras. (Ing. Carmen Terreros de Varela, Tecnología del Hormigón, 2011)

2.2.3 Cemento

El cemento es un material calcáreo que es obtenido de la incineración a altas temperaturas de piedra de cal, arcilla y diversos minerales para formar un componente denominado Clinker, que a su vez es adicionado con agregados especiales como el yeso para obtener el material en su forma final, lista para la comercialización.

Además, es un material hidráulico, ya que reacciona cuando se le añade agua formando una pasta que en conjunto con los agregados que se le añadan, fragua y obtiene una consistencia similar a la de una roca. (Ing. Carmen Terreros de Varela, 2006) Aunque el cemento mayormente utilizado es el denominado Cemento Portland tipo I, existen diferentes tipos de cemento como el cemento tipo II que es usado en caso de hormigones que serán expuestos a la acción moderada de sulfatos, o el cemento tipo III siendo este cemento de altas resistencias iniciales en caso de tener que ser desencofrados rápidamente, entre otros.



Ilustración 2: Sacos de cemento marca Holcim

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2016)

2.3 Ensayos para los Agregados del Hormigón

2.3.1 Granulometría de los agregados fino y grueso

Para este ensayo se utilizan diversos tamices y una máquina de tamizado, donde los tamices son colocados de manera ordenada descendente (de tamiz mayor a menor). Los recipientes son colocados uno encima de otro en la maquina de tamizado, la misma que vibra y golpea de manera controlada con el fin de separar las partículas del material que se desea analizar, determinando de esta manera los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices utilizados. Para la correcta realización de este ensayo se recomienda secar la muestra que se desea utilizar usando un horno de secado.

- La mezcla deberá ser sometida a 105-110 grados centígrados de temperatura por 24 horas para eliminar la humedad de la misma.
- El tiempo de vibración y golpeado en la máquina de tamizado debe de ser de 15 minutos.
- Al finalizar el ensayo se debe pesar el material retenido en los diferentes tamices para poder verificar que no se haya quedado material adherido a los cedazos.



Ilustración 3: Máquinas de tamizado de los laboratorios UEES y A&E Guayaquil

Fuente: Autor

2.3.2 Módulo de Finura

Se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices empleados en la máquina de tamizado desde el tamiz 3/8 hasta el #100. El módulo debe estar entre el rango de 2.3 a 3.1 sin estar por debajo o sobrepasar estos límites.



Ilustración 4: Peso de material para ser tamizado

Fuente: Autor

2.3.3 Absorción de los Agregados

La absorción de los agregados depende de las características físicas del material, variando con el origen, la porosidad. Este factor es requerido para poder realizar un diseño de hormigón.



Ilustración 5: Tratamientos de Agregados para pruebas de absorción

Fuente: Autor

2.3.4 Peso volumétrico varillado y suelto de los agregados

Estos dos ensayos nos permiten encontrar parámetros que se requieren para realizar el diseño de hormigón deseado. El procedimiento consiste en encontrar el peso del agregado de manera “suelta” y compararlo al peso del material confinado mediante golpes.

Procedimiento para encontrar el peso volumétrico Varillado:

- Se coloca el agregado en el recipiente de verificación hasta $1/3$ de la altura.
- Se procede a golpearlo 25 veces, de manera efectivamente distribuida, con una barra compactadora y cuidando no golpear el fondo del recipiente.
- El proceso se repite 2 veces más, llenando el recipiente a $2/3$ y golpeando 25 veces más de manera distribuida, y finalmente $3/3$ y golpeando 25 veces más con la barra de compactación.

- Se procede a determinar la masa del material restando el peso del recipiente + agregado restándole el peso del recipiente, y se divide para su volumen.

Al obtener el peso volumétrico suelto se procede a verter el agregado en un recipiente a una altura mayor a 5 centímetros y se procede a realizar los cálculos igual que en el ensayo anterior. Para realizar este ensayo se recomienda que los máximos de los agregados sean menores a 100mm.

2.4 Ensayos para la mezcla de hormigón

Las mezclas de hormigón de esta investigación se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y flexión, así como un ensayo de revenimiento de la misma.

2.4.1 Resistencia a la compresión

Se precedió elaborar cilindros de 20 x 10 centímetros de diámetro con la mezcla diseñada que serán sometidos a esfuerzos de compresión tal como lo detalla la norma ASTM C39, la que establece proceso para elaborar mezclas, tamaño de la muestra, proceso de curado y cómo realizar los ensayos.

De manera general se recomienda:

- Los ensayos se realizarán a la edad de 7, 14 y 28 días.
- El “curado” respectivo de los cilindros será sumergiéndolos en una superficie de agua.
- Se realizarán los ensayos inmediatamente al extraerlos del agua, con el fin de que conserven su humedad.
- Se aplicará carga de manera uniforme a razón de 140 kg/cm²/min hasta que la muestra falle. (Ing. Carmen Terreros de Varela, Materiales de Construcción, 2006).



Ilustración 6: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Fuente: (IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2006)

2.4.2 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se obtuvo de conformidad con la norma ASTM C78, Se procederá a diseñar una muestra de $0.15 \times 0.15 \times 0.45$ m, la misma que será sometida a cargas en los puntos tercios obteniendo así hasta un máximo del 15% de la resistencia presentada a la compresión. (Pozo, 2015) A pesar de que este ensayo es mayormente utilizando en el diseño de pavimentos, para propósitos de esta investigación será utilizado en nuestro diseño (expresado como MR o Módulo de Rotura).



Ilustración 7: Ensayo de resistencia de la flexión del concreto

Fuente: (IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2006)



Ilustración 8: Cilindros y vigas

Fuente: Autor



Ilustración 9: Ensayo a compresión de cilindro

Fuente: Autor

2.4.3 Asentamiento de Hormigón

La norma ASTM C143 y la Norma ASTO T119 detallan el procedimiento a realizarse para determinar el asentamiento del hormigón. En este caso se utilizará el Cono de Abrams para el ensayo. Este ensayo no es aplicable a hormigones no-plásticos, ni cohesivos ni cuando el agregado grueso tenga un diámetro mayor a 50 mm. Este ensayo se realiza colocando el molde cónico (cono de Abrams) sobre una base no absorbente, sujetado por los lados y colocando el hormigón dentro del mismo en tres capas diferentes, tomando la precaución de realizar 25 golpes uniformes sobre la superficie de las capas de mezcla. Al finalizar de colocar la mezcla en el cono se debe “enrasar” o dejar la mezcla a la altura del molde y retirar el molde verticalmente registrando el

asentamiento encontrado. (Ing. Carmen Terreros de Varela, Materiales de Construcción, 2006)

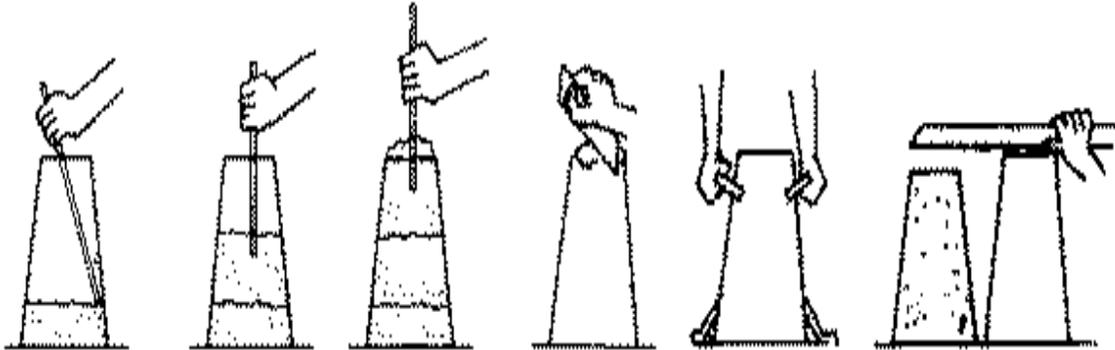


Ilustración 10: Ensayo de asentamiento usando el cono de Abrams

Fuente: (Universidad Católica del Norte, N/A)

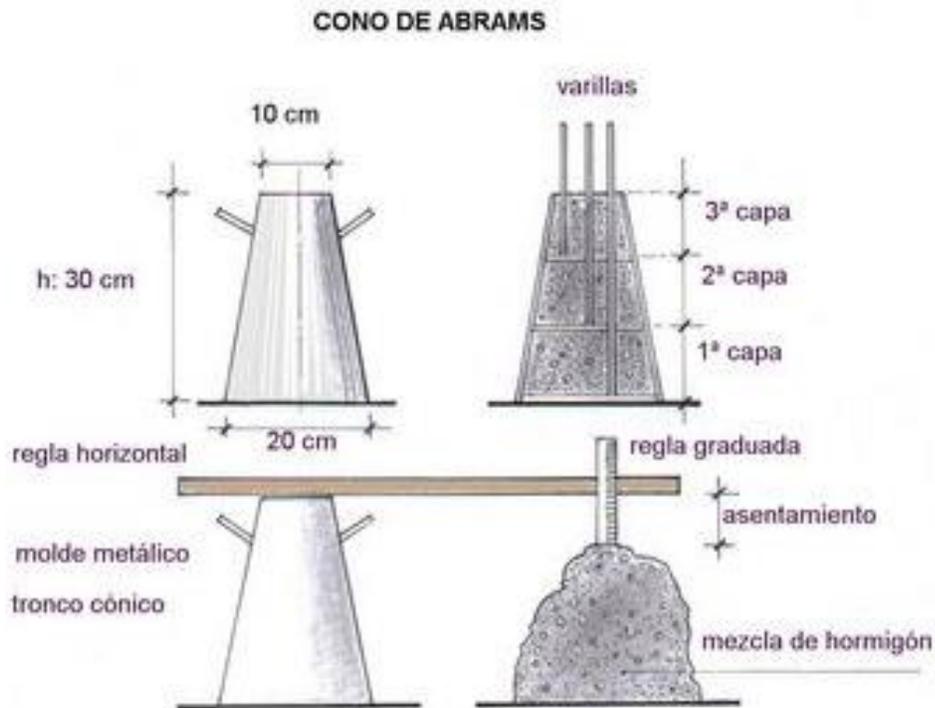


Ilustración 11: Explicación del ensayo de asentamiento usando el cono de Abrams

Fuente: (Construmática, 2016)

2.5 Puzolana

Las puzolanas son materiales que poseen en su composición química contenido de sílice y/o alúmina, que son cementantes solo al entrar en contacto con Cal y Agua (siendo un material no-cementante cuando está en contacto solo con Agua). En la actualidad las puzolanas son materiales importantes en la producción de cemento Portland.

Las puzolanas pueden ser divididas en dos grupos para su clasificación, las naturales y las artificiales. Entre las puzolanas de origen natural tenemos diferentes tipos de cenizas volcánicas y tobas, provenientes de actividades volcánicas geológicamente recientes. Por otro lado, las puzolanas artificiales son producto (muchas veces un sub-producto) de diversos procesos de las industrias agrícolas, en este grupo se encuentran las cenizas de combustible, arcillas cocidas, escorias molidas de alto horno, ceniza de cascarilla de arroz, entre otras. (INDIAN INSTITUTE OF SCIENCE, 1987)

2.5.1 Puzolana Naturales: Ceniza Volcánica

Las puzolanas naturales se pueden encontrar como cenizas de gran finura, así como grandes partículas o tufos de ceniza solidificada que al ser triturada se convierte en puzolana. Los estudios sugieren que la actividad puzolánica se produce de mejor manera mientras mayor es la finura de la puzolana a utilizarse, es por esto que las partículas de gran tamaño deben de ser triturados antes de utilizarse.

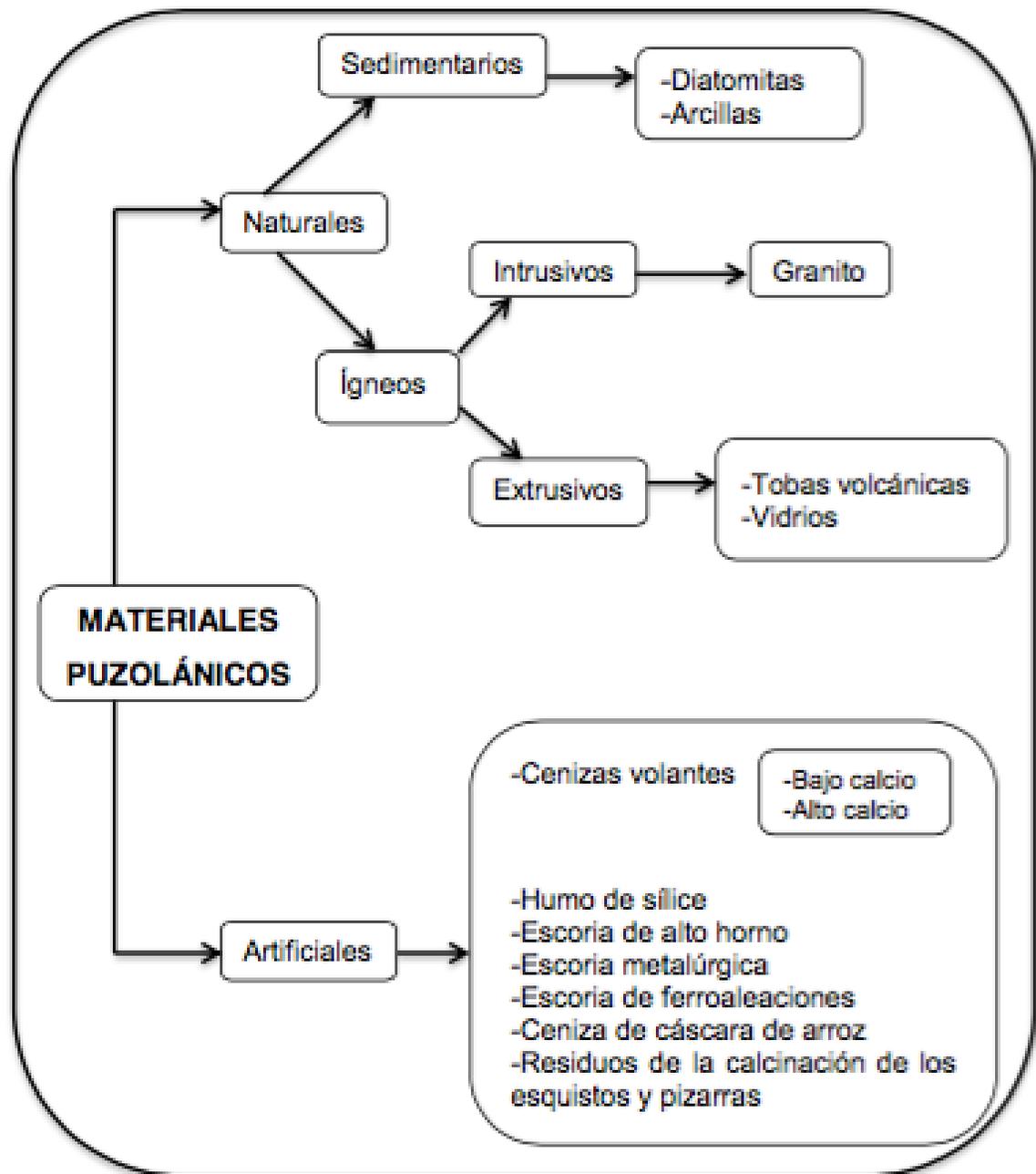


Ilustración 12: Clasificación de las puzolanas

Fuente: (Quevedo, 2012)



Ilustración 13: Molino para trituración de ceniza

Fuente: Autor

Para la investigación a realizarse, se utilizó ceniza volcánica proveniente del Volcán Tungurahua como puzolana Natural. La ceniza fue recogida a mano en las afueras de la población de Chogluntus, en la provincia de Tungurahua cerca de la ciudad de Ambato entre las fechas 12-13-14 del mes de octubre del año 2015. El volcán tuvo actividad eruptiva el 11 de octubre del 2015 alrededor de las 13:40 horas. (Instituto Geofísico de la ESPOL, 2015).



Ilustración 14: Ceniza volcánica triturada

Fuente: Autor

2.5.2 Propiedades Generales de las Puzolanas en las mezclas de Hormigón

Se conoce en la actualidad que cuando existe actividad Puzolánica en las mezclas de concreto los desarrollos de resistencia de la mezcla se producen de manera más lenta en comparación a los de la hidratación del concreto. Es muy habitual observar en la utilización de puzolanas para mezclas de hormigón, cómo las resistencias ante los diferentes tipos de esfuerzo se elevan mayormente a la segunda o tercera semana, incluso se sugiere que también podrían aparecer dentro de un período más largo que el de una mezcla de cemento. Algunos autores mencionan que podría causarse un pico de elevación a los 90 días de fabricación de un concreto con puzolana, a diferencia del concreto convencional que se presenta su máxima resistencia a los 28 días.

Además, se conoce que la adición de puzolana al concreto puede mejorar:

- a) Defensa ante el agua de mar
- b) Defensa frente a agentes químicos
- c) Reducción de agrietamiento en el fraguado
- d) Resistencia ante la abrasión
- e) Corrosión del acero
- f) Trabajabilidad de la mezcla

Además de ser un potencial ahorro económico en materia prima para la elaboración de hormigón cuando se trabaja con grandes volúmenes de mezcla. (Quevedo, 2012)

El propósito de la siguiente investigación es en la resistencia de nuestras mezclas y haremos un análisis general en el ámbito económico.

2.5.3 Desventajas generales del uso de puzolanas naturales o artificiales en las mezclas de hormigón

La principal desventaja del uso de puzolanas en mezclas de hormigón aplicado al Ecuador, es el desconocimiento que se tiene al respecto y la no disponibilidad de maquinaria especializada y conocimiento técnico necesario para poder utilizar este material correctamente. A nivel industrial, en la actualidad, se conoce que algunas empresas ya emplean la puzolana en sus procesos. Diferentes empresas que producen cemento utilizan puzolana como materia prima para el mismo, pero no se estila utilizar este aditivo en las mezclas de hormigón y aplicarlo a obras civiles. Muchas veces se asumen de manera empírica que un material es puzolana o presenta actividad puzolana cuando realmente se desconoce que existe una norma ecuatoriana que establece requisitos ecuatorianos para poder definir un material como puzolana.

Un ejemplo claro de este caso es la creencia de que la cascarilla de arroz calcinada es puzolana artificial, sí podría serlo en ciertos casos, pero no es una regla

general. La que debe de ser quemada a temperaturas controladas entre 600-700 grados Centígrados por tiempos controlados y con la presencia de oxígeno (combustión) para evitar que la sílice se cristalice, perdiendo así su grado de reactividad. (Quevedo, 2012)



Ilustración 15: Ceniza de arroz incorrectamente quemada, presenta un color negro en lugar de gris blanquinoso

Fuente: Autor

En la presente investigación se intentó calcinar cascarilla de arroz de manera correcta para obtener puzolana, pero los resultados no fueron satisfactorios por lo que se optó por enfocarse en la ceniza volcánica. La cascarilla de arroz utilizada fue recolectada en el Cantón Samborondón en diferentes piladoras de arroz que la desechaban. La ceniza recolectada que estaba libre de humedad y fue tratada siguiendo los parámetros de calcinación controlada obtenidos de diferentes fuentes. Se utilizó como referencia la tesis de grado de la Ing. Belcky Juárez Quevedo de la Universidad de San Carlos de Guatemala para los procesos de calcinación. EL primer paso fue localizar un horno que permita cocinar el material a más de 500 grados centígrados, el horno que se utilizó se localiza en los laboratorios Wiesner Inox en la universidad ESPOL en la ciudad de Guayaquil. Previo a la calcinación de la cascarilla de arroz se

necesitó hacer un molde especial con las medidas del horno, de acero inoxidable con un mínimo de 3 mm de espesor para que pueda soportar las temperaturas a las que el material iba a ser sometido. Una vez elaborado el molde en mención se procedió a la quema del material. Los dos escenarios fueron los siguientes:

-En el primer escenario se calcinó la ceniza, controlando su temperatura a 600 grados centígrados por un lapso de tiempo de 2 horas.

-En el segundo escenario se llevó al horno a la temperatura de 800 grados centígrados por 1 hora y 15 minutos.

Es importante mencionar para futuras investigaciones que el material al ser calcinado produce grandes cantidades de humo por lo que se sugiere realizar estos procesos en lugares abiertos. Posterior a la quema se realizó un análisis químico de los materiales en mención, ninguna de las dos cenizas cumplió con el requisito de “Pérdida por Calcinación” establecido en los Requisitos Químico de la norma INEN 494. Máxima pérdida permitida del 10%.

Prmt.	Unid.	Ceniza Volcanica	Ceniza Arroz 1	Ceniza Arroz 2
pH 1:10	u.	7,20	9,30	6,70
CE 1:10	mmhos	0,13	1,67	1,34
SDT	%	0,75	1,06	0,81
MO		4,30	26,92	49,02
Na ₂ O		0,005	0,013	0,012
K ₂ O		0,47	0,50	0,50
CaO		0,3	0,2	0,21
MgO		0,02	0,02	0,05
P ₂ O ₅		0,003	0,180	0,130
Fe		0,17	0,31	0,27
Mn		0,02	1,80	2,57
Zn		0,55	0,124	0,40
Cu		0,013	0,020	0,022
SO ₃		0,018	0,030	0,015

Tabla 1: Análisis Químico General (Prmt: Parámetro)

Fuente: Autor

2.6 Normativas referentes a la puzolana:

A continuación, se detallan algunas de las normas existentes referentes a las Puzolanas en diferentes países:

Estados Unidos

- ASMT C618
- ASTM C593
- ASTM C311
- ASTM D5370
- Entre Otras.

Europa

- BS 3892
- BS EN 540
- BS EN 197
- DIN EN 450 (Alemania)
- B.S. 6610 (Inglaterra)

2.6.1 Normativa Ecuatoriana referente a la puzolana (INEN 494-1980-11)

La norma INEN 494-1980-11 establece los requisitos para puzolanas naturales o artificiales que vayan a ser utilizadas en obras de construcción, ya sea como agregados para mortero o cemento o morteros de cal hidratada. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1981)

REQUISITO		Unidad	Mín	Máx	METODO DE ENSAYO
Superficie específica		m ² /kg	300	–	INEN 196
Índice de actividad puzolánica	Con Cemento Portland a los 28 días	%	75	–	INEN 495
	Con cal a los 7 días	MPa	4	–	INEN 496
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	–	0,5	INEN 200

Tabla 2: Requisitos Físicos (del Ecuador) de las puzolanas naturales o calcinadas.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1981)

REQUISITO	Unidad	Mín	Máx	METODO DE ENSAYO
Oxido de magnesio soluble total	%	–	5	INEN 497
Trióxido de azufre	%	–	3	INEN 497
Pérdida por calcinación	%	–	10	INEN 498

Tabla 3: Requisitos Químicos (del Ecuador) de las puzolanas naturales o calcinadas.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1981)

2.6.2 Norma ASTM C618

La Norma ASTM C618: Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto detalla lo siguiente: (ASTM International, Norma ASTM C618, 2012)

Clase de adición mineral	Descripción
N	Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tobas y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.
F	Ceniza volante que se produce por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Esta clase de cenizas volante poseen propiedades puzolánicas.
C	Ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementantes.

Tabla 4: Clasificación de las puzolanas según la norma ASTM C618

Fuente: (ASTM International, Norma ASTM C618, 2012)

Composición química	Clase de adición mineral		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂)			
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	70,0	70,0	50,0
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), min., por ciento.			
Trióxido de azufre (SO ₃) máx., por ciento.	4,0	5,0	5,0
Contenido de humedad, máx., por ciento.	3,0	3,0	3,0
Pérdida por ignición, máx., por ciento.	10,0	6,0	6,0

Tabla 5: Composición química (americana) requerida según la norma ASTM C618

Fuente: (ASTM International, Norma ASTM C618, 2012)

CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Introducción

En esta etapa práctica del proyecto se procederá a diseñar con criterio diferentes mezclas para diferentes aplicaciones en obra ser evaluadas posteriormente. Se buscará reemplazar en diferentes mezclas el porcentaje de cemento utilizado y añadiendo ceniza volcánica, para posteriormente realizar ensayos de compresión y flexión del concreto elaborado. Se buscará estudiar la conducta de ambas mezclas, encontrando el escenario idóneo que permita su aplicación y evaluando su factibilidad económica. La investigación a realizarse es de tipo cualitativa y cuantitativa, ya que su finalidad será comprobar y comparar los efectos que presenten ambas puzolanas en el hormigón mediante pruebas de laboratorio.

3.2 Agregados a utilizarse y su tratamiento previo

3.2.1 Tratamiento ceniza volcánica

El desarrollo de esta investigación se utilizará ceniza volcánica proveniente del Volcán Tungurahua, recogida manualmente en el sector de Chogluntus, provincia de Tungurahua, República del Ecuador. La ceniza volcánica se encontró de diferentes diámetros, llegando a un máximo de 1 pulgada y con presencia de humedad por las fuertes lluvias que afectaban al sector en los meses de recolección (octubre del 2015). Por el requerimiento y uso que se pretende darle a la ceniza, se procederá a ser molida manualmente también hasta llegar a la finura deseada previo a su utilización.

3.2.2 Análisis físico y químico de la ceniza

Para definir correctamente la investigación, se decidió hacer diversos exámenes a la ceniza volcánica en estado crudo con el fin de comparar los resultados con los requerimientos ecuatorianos y norteamericanos en cuanto a la clasificación de Puzolanas. En cuanto a los análisis físicos mencionados en la normativa Ecuatoriana INEN 494 se prescindió del ensayo de Superficie Específica por deterioro / averío en

el aparato Blaine de permeabilidad al aire en los Laboratorios consultados, así como también la Expansión en Autoclave por no contar con el equipo necesario.

-Índice de actividad Puzolánica: Este ensayo puede ser comparado con las pruebas de morteros realizadas, donde aplicada la fórmula de ensayo se obtiene: 110.7% de actividad puzolánica a los 28 días.

Los análisis químicos detallados a continuación fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Agrícola y Afines, a cargo del Dr. Jorge Fuentes Carillo localizado en la ciudad de Guayaquil, provincia de Guayas, República del Ecuador.

3.2.3 Comparación a la Norma Ecuatoriana (INEN 0494)

Conforme lo establece la norma ecuatoriana, un material puede ser denominado Puzolana cuando químicamente cumpla:

- Máximo de 5% de Óxido de Magnesio (MgO) total. Resultado: 0.02%
- Máximo de 3% de Óxido de Azufre (SO₃) total. Resultado: 0.018%
- Pérdida de material orgánico por calcinación 10% máximo total. Resultado: 4.30%

Prmt.	Unid.	Ceniza Volcanica
pH 1:10	u.	7,20
CE 1:10	mmhos	0,13
SDT	%	0,75
MO		4,30
Na ₂ O		0,005
K ₂ O		0,47
CaO		0,3
MgO		0,02
P ₂ O ₅		0,003
Fe		0,17
Mn		0,02
Zn		0,55
Cu		0,013
SO ₃		0,018

Tabla 6: Análisis químico de la ceniza

Fuente: Autor

3.2.4 Comparación a la Norma Norteamericana (ASTM C-618)

Conforme lo establece la norma Norteamericana ASTM, existen tres clasificaciones diferentes de puzolana, siendo:

N- Las naturales, calcinadas o crudas.

F- Las cenizas volantes producidas por la quema de carbón bituminoso o antracita.

C- Las cenizas volantes producidas por la quema de lignito y carbón sub-bituminoso.

De acuerdo la clasificación mencionada, nuestro material corresponde a la clase N por ser ceniza volcánica cruda. Por consiguiente, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- La suma del Dióxido de Silicio (SiO₂), Óxido de Aluminio (Al₂O₃) y Óxido de Hierro (Fe₂O₃) debe de tener un valor mínimo del 70%. Resultado: 70.5%
- Máximo de 4% de Trióxido de Azufre (SO₃) total. Resultado: 0.018%
- Contenido de humedad máximo permitido de 3%. Resultado: 3%
- Pérdida de material orgánico por calcinación 10% máximo total. Resultado: 4.30%

Referencia de Muestra	SiO ₂ %	Grava %>2mm
Ceniza volcanica	→ 55,48	35,60

Referencia de Muestra	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %
Ceniza volcánica	→ 0,379	→ 0,547

Tabla 7: Análisis químico ASTM de la ceniza

Fuente: Autor

La suma de del Dióxido de Silicio (SiO₂), Óxido de Aluminio (Al₂O₃) y Óxido de Hierro (Fe₂O₃) arroja un valor de 50.406%, el mismo que por recomendación del laboratorista debe de ser multiplicado 1.25 siendo este un factor de dilución aplicable por la constante exposición a lluvias que la ceniza presentó en el momento de la recolección, llegando entonces al valor mínimo requerido por la norma ASTM C-618.

3.3 Hormigón

Se elaborarán las mezclas del hormigón correspondiente a ser estudiado en el Laboratorio de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Se decidió elaborar primero pruebas eliminales de morteros reemplazando contenido de cemento por ceniza, y de conformidad a los resultados se plantearán opciones de hormigones de diversas resistencias que cumplan con aplicaciones reales a obras civiles.

3.3.1 Pruebas con morteros

Con la finalidad de entender un poco sobre el comportamiento de la ceniza volcánica aplicada a una mezcla que tenga cemento, se partió de la elaboración de cubos de mortero de 10 x10 cm, utilizando arena gruesa de la cantera CANVER ubicada en la Vía a la Costa, Cemento Holcim y Agua. Para las pruebas elaboradas se utilizó una dosificación de 1:3 siendo 1 parte de cemento y 3 de arena. Se decidió estudiar 4 escenarios diferentes:

- Primero: Un testigo que no llevó reemplazo de cemento.
- Segundo: Reemplazando por peso el 5% del cemento de la mezcla.
- Tercero: Reemplazando por peso el 10% del cemento de la mezcla.
- Cuarto: Reemplazando por peso el 15% del cemento de la mezcla.

Cantidad de Reemplazo %	Prueba #1	Tiempo: 7 días		Peso	Esfuerzo	Carga
	Puzolana (Kg)	Cemento (Kg)	Arena (Kg)	(Kg)	(Kgf)	(Kg/cm2)
0	0	400	1200	0,269	2000	80
10	40	360	1200	0,280	1430	57.2
20	80	320	1200	0,241	740	29,6
30	120	280	1200	0,253	690	27,6

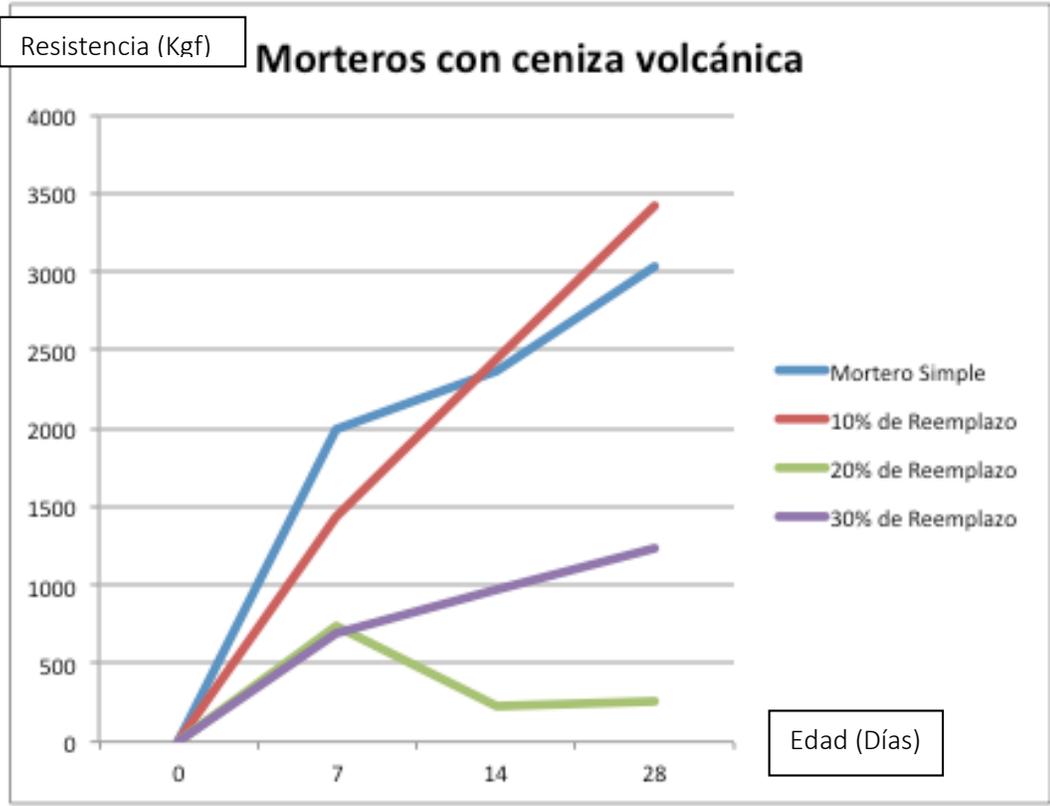
Cantidad de Reemplazo %	Prueba #2	Tiempo: 14 días		Peso	Esfuerzo	Carga
	Puzolana (Kg)	Cemento (Kg)	Arena (Kg)	(Kg)	(Kgf)	(Kg/cm2)
0	0	400	1200	0,268	2360	94.4
10	40	360	1200	0,277	2450	98
20	80	320	1200	0,246	230	9.2
30	120	280	1200	0,259	970	38.8

Cantidad de Reemplazo %	Prueba #3	Tiempo: 28 días		Peso	Esfuerzo	Carga
	Puzolana (Kg)	Cemento (Kg)	Arena (Kg)	(Kg)	(Kgf)	(Kg/cm2)
0	0	400	1200	0.274	3,030	121.2
10	40	360	1200	0,286	3420	136.8
20	80	320	1200	0,250	260	10.4
30	120	280	1200	0,258	1,230	49.2

Tabla 8: Pruebas de resistencia a la compresión de los cubos de mortero a los 7, 14 y 28 días. Fuente: Autor

Como la tabla lo demuestra, en la rotura a los 7 días la mezcla de mortero convencional mostró el mejor comportamiento frente a esfuerzos de compresión. Sin embargo, a partir del segundo ensayo de rotura (14 días) se observó como la mezcla que tiene 10% de reemplazo mostró mejoras en la resistencia a la compresión. El escenario del 20% y 30% de reemplazo presentó notables decrementos en la resistencia en comparación a la prueba patrón.

Esta prueba preliminar muestra como la utilización de ceniza sí incide en la resistencia de la mezcla, partiendo de estos resultados se pudo asumir ciertos porcentajes de reemplazo para una mezcla de hormigón.



*Se encontro una mejora en al resistencia a esfuerzos de compresión de 12.8 %

Ilustración 16: Desempeño de los morteros sometidos ante esfuerzos de compresión

Fuente: Autor

3.3.2 Granulometría de los agregados

Para las mezclas de hormigón a ser analizadas se utilizará piedra No. 3/4 adquirido en la franquicia Disensa S.A., la misma que es estandarizada por la franquicia

y está libre de impurezas y polvos. La arena que se utilizará será arena homogenizada proveniente de la cantera CANVER S.A. ubicada en la vía a la Costa.

Granulometrías	
# tamiz	(g)
3/8	0
4	25.3
8	41.5
16	664.1
30	167.2
50	2.2
100	5

Tamiz	Peso Parcial (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	ASTM C-33
3/8"	1.4	0.12	0.12	100	100
No.4	12.11	1.01	1.13	99.00	95 a 100
No.8	90.11	7.51	8.64	91.36	80 a 100
No.16	394.91	32.91	41.55	58.45	50 a 85
No.30	295.81	24.65	66.20	33.80	25 a 60
No.50	330.71	27.56	93.76	6.24	5 a 30
No.100	34.31	2.86	96.62	3.38	0 a 10
Fondo	40.61	3.38	100.00	0.00	
Total	1200.00	M.F.:	3.08		

Muestra: 1200 g.

Tabla 9: Granulometría de la arena

Fuente: Autor

El módulo de finura encontrado después de analizar granulométricamente la arena utilizada arroja un valor de 3.08, estando dentro del límite permitido que es 3.1.

Siendo la fórmula del módulo de finura:

$$\text{Modulo de Finura} = \frac{\sum \%RA}{100}$$

3.3.3 Peso volumétrico varillado, peso volumétrico suelto y absorción del agregado fino y grueso

Agregado Grueso Piedra 3/4"

$P.V.V.= \frac{Mc}{V}$	$P.V.V.= \frac{17.55 - 6.045}{0.00879}$	$P.V.V.= 1308.879 \text{ Kg}$
------------------------	---	-------------------------------

$P.V.S.= \frac{Ms}{V}$	$P.V.S.= \frac{16.67 - 6.045}{0.00879}$	$P.V.S.= 1208.759 \text{ Kg}$
------------------------	---	-------------------------------

Agregado Fino Arena Homogenizada

P.V.S.=

$P.V.S.= \frac{Ms}{V}$	$P.V.S.= \frac{16.47 - 6.045}{0.00879}$	$P.V.S.= 1186.006 \text{ Kg}$
------------------------	---	-------------------------------

Tabla 10: **Peso Volumétrico Suelto y Varillado**

Fuente: Autor

Agregado fino - Arena gruesa	Agregado grueso - Piedra 3/4"
Muestra: 110 g	Muestra: 500 g
Hora: 16h45.	Hora: 13h20
P24:	P24: 509 g
$Abs = \frac{P24 - P}{P}$	$Abs = \frac{P24 - P}{P}$
$Abs = \frac{113 - 110}{110}$	$Abs = \frac{509 - 500}{500}$
Abs= 2%	Abs= 2%

Tabla 11: **Absorción de los Agregados**

Fuente: Autor

3.4 Diseño de Hormigón

Una vez analizados los agregados se procede a diseñar el hormigón para estudiar. Se partió de la realización de dos diseños de hormigón aplicables a obras civiles en el Ecuador.

- Se eligió un hormigón de $f'c = 210$ por ser el más utilizado en obras civiles de manera general.
- Se eligió un hormigón de $f'c = 350$ por ser un hormigón de alta resistencia, usado en pavimento rígido y en obras de mayor importancia como puentes y pilotes.

Además, al elegir estos dos diseños se busca estudiar cómo reacciona la ceniza en diferentes mezclas donde, respecto al volumen total de mezcla, la cantidad de material cementante es significativamente diferente.

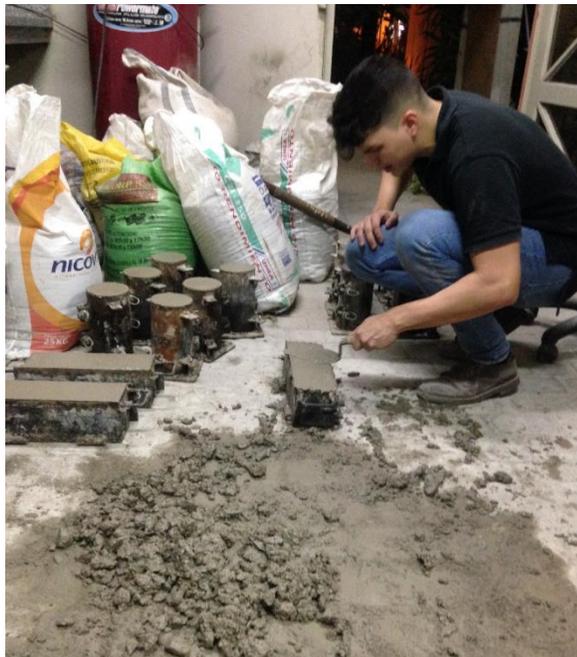


Ilustración 17: Elaboración de Mezclas

Fuente: Autor

De acuerdo al diseño propuesto:

- En el diseño de hormigón $f'c= 210$ el cemento ocupa el 15% de del volumen total de mezcla.
- Este porcentaje mencionado corresponde a 6.6 sacos de 50 kg.
- En el diseño de hormigón de $f'c= 350$ el cemento ocupa el 30% del volumen total de la mezcla.
- Este porcentaje mencionado corresponde a 10.7 sacos de 50 kg.

Se pretende estudiar cómo reaccionará la ceniza al estar en contacto con diferentes cantidades de cemento en una misma mezcla, con el fin de estudiar su reacción en conjunto con los otros agregados de la mezcla.

En ambos diseños se ensayarán cilindros y viguetas, habiendo 4 escenarios diferentes.

- El primero será hormigón sin reemplazo.
- El segundo será hormigón reemplazando por peso el 5% del cemento.
- El tercero será hormigón reemplazando por peso el 10% del cemento.
- El cuarto será hormigón reemplazando por peso el 15% del cemento.

Se realizarán pruebas de esfuerzo a la compresión y flexión para encontrar cuál reemplazo ocasiona un mejor desempeño en la mezcla, y con la mejor dosificación encontrada se procederá a analizar económicamente.

3.4.1 Diseño de Hormigón $f'c=210$

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO					
OBRA: Tesis de Grado			LOCALIZACION: Samborondón		
ORDENADO POR: Isaías Coppiano Gutiérrez					Fecha: Junio 16 del 2016.
Grava: 3/4"			Arena: Gruesa		
Resistencia a la compresión $f'c$ (k/cm²):			210		
Revenimiento pedido: 5. cm					
AGREGADO GRUESO T.Máx. = 3/4 "			AGREGADO FINO		
P.V.V. =	1309	k / m ³	P-V.S. =	1186	k / m ³
P.V.S. =	1209	k / m ³	Ds.s.s. =	2702	k / m ³
D.s.s.s.=	2353	k / m ³	M.F. =	3.08	
Absorción =	2	%	Absorción =	2	%
Abs.real =	2.2	%	Abs.real =	2.2	%
a/c =	0.6				
Agua (litros)	190		cemento (k/m ³):	330.60	# sacos /m ³ : 6.612
Aire (%):	2		Coeficiente V.A.G.C.:		0.6
V.Total de agua:	198.36				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON			PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON		
CEMENTO	0.105	m ³	CEMENTO:	330.60	kg.
AGUA:	0.198	m ³	AGUA:	198.36	kg.
PIEDRA:	0.334	m ³	ARENA:	731.36	kg.
AIRE:	0.02	m ³	PIEDRA:	955.35	kg.
ARENA:	0.343	m ³		2215.672	
P+A:	0.677	x 0.40 =	0.271		mín. de arena
Piedra:	0.406				
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO			VOLUMEN SUELTO		
CEMENTO:	50		ARENA:	0.0932644	m ³
AGUA:	30		PIEDRA:	0.1195095	m ³
ARENA:	110.61				
PIEDRA:	144.49				
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..					
ARENA:	2.91				
PIEDRA:	3.73				
AGUA:	30	litros			

Tabla 12: Diseño de hormigón de $f'c=210$

Fuente: Autor

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de ceniza	Días	Masa (g)	Densidad (g/cm3)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm2)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	210	0	7	3682	2,34	10280	130,9	62,33%
2	210	0	7	3671	2,34	10050	128,0	60,93%
3	210	0	14	3636	2,31	13240	168,6	80,27%
4	210	0	14	3640	2,32	13520	172,1	81,97%
5	210	0	28	3667	2,33	16620	211,6	100,77%
6	210	0	28	3641	2,32	16210	206,4	98,28%
7	210	5	7	3633	2,31	6220	79,2	37,71%
8	210	5	7	3607	2,30	6060	77,2	36,74%
9	210	5	14	3640	2,32	9810	124,9	59,48%
10	210	5	14	3625	2,31	10060	128,1	60,99%
11	210	5	28	3654	2,33	11300	143,9	68,51%
12	210	5	28	3626	2,31	11020	140,3	66,81%

Tabla 13: Roturas de cilindros de hormigón f'c= 210 sin reemplazo de cemento y con el 5% de reemplazo

Fuente: Propia

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de ceniza	Días	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
13	210	10	7	3662	2,33	5330	67,86	32,32%
14	210	10	7	3666	2,33	5470	69,65	33,16%
15	210	10	14	3639	2,32	8020	102,11	48,63%
16	210	10	14	3634	2,31	7810	99,44	47,35%
17	210	10	28	3644	2,32	9140	116,37	55,42%
18	210	10	28	3601	2,29	8920	113,57	54,08%
19	210	15	7	3679	2,34	5400	68,75	32,74%
20	210	15	7	3623	2,31	5270	67,10	31,95%
21	210	15	14	3625	2,31	7070	90,02	42,87%
22	210	15	14	3618	2,30	6890	87,73	41,77%
23	210	15	28	3617	2,30	8310	105,81	50,38%
24	210	15	28	3618	2,30	8100	103,13	49,11%

Tabla 14: Roturas de cilindros de hormigón $f'c=210$ con el 10% y 15% de reemplazo de cemento

Fuente: Autor

Vigueta N°	F'c	Porcentaje de ceniza	Días	Volumen (cm3)	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm2)
1	210	0	14	2610	5720	1150	36,42
2	210	5	14	2610	5750	1130	35,78
3	210	10	14	2610	5756	1180	37,37
4	210	15	14	2610	5755	960	30,40
5	210	0	28	2610	5820	1300	41,17
6	210	5	28	2610	5830	1280	40,53
7	210	10	28	2610	5827	1230	38,95
8	210	15	28	2610	5832	1210	38,32

Tabla 15: Roturas de viguetas de hormigón $f'c=210$ con y sin reemplazo de cemento

Fuente: Autor

	0	0	0	1		Y=	129,5	0
	125	25	5	1			78,2	5
A=	1000	100	10	1			68,91	10
	3375	225	15	1			67,93	15
							Resultado	% de Remp.
	0	125	1000	3375				
At=	0	25	100	2				
	0	5	10	15			A	-
	1	1	1	1		X=	B	1,5142
							C	-
							D	129,5
	12406250	862500	61250	4500				
	109875	11075	1155	127				
C =AT *A	61250	4500	350	30				
	4500	350	30	4			129,5	0
							78,2	5
	-8,00977E-06	-0,00014652	0,001999512	0,001333333			68,91	10
	0,000202002	0,003369963	0,049899878	0,04			67,93	15
C-1 =	-0,001267888	-0,018315018	0,316605617	0,366666667			41,56	20
	0,000844933	0,007326007	0,257753358	1				
	-0,001333333	0,004	-0,004	0,001333333				
	0,04	-0,1	0,08	-0,02				
	-0,366666667	0,6	-0,3	0,066666667				
P =	1	-3,9968E-15	1,77636E-15	0				

Tabla 16: Modelo Matemático para ensayos de hormigón $f'c=210$

Fuente: Autor

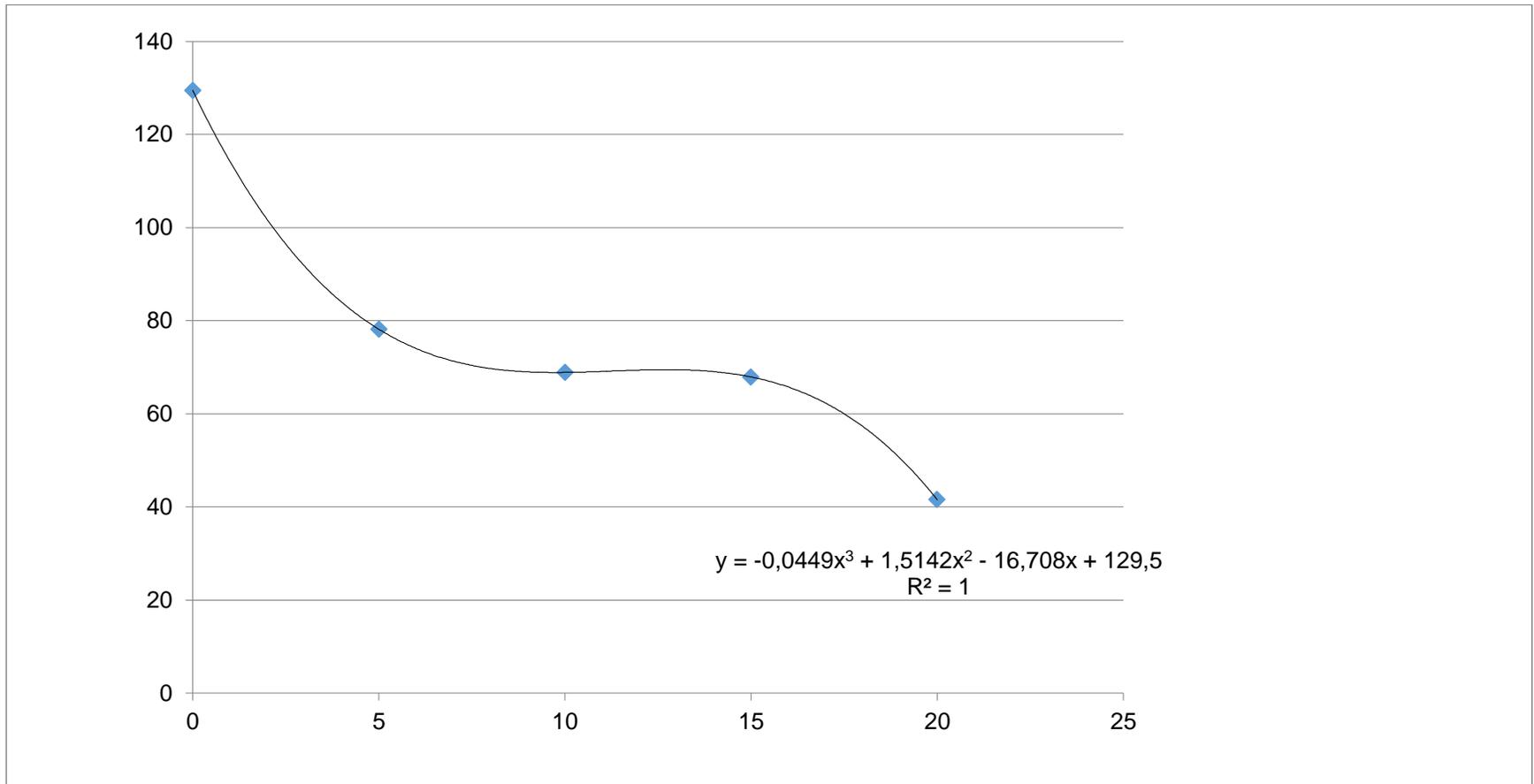


Ilustración 18: Curva parabólica del modelo matemático para ensayos de hormigón $f'c= 210$

Eje Y: Resistencia, Eje X: Porcentaje de Ceniza. Fuente: Autor

3.4.2 Diseño de hormigón $f'c = 350$

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO			
OBRA:		LOCALIZACION:	
ORDENADO POR:		Fecha:	
Grava:		Arena:	
Resistencia a la compresión $f'c$			
(k/cm^2):		350	
Revenimiento			
pedido:	10	cm	
AGREGADO	T.Máx.= 3/4		AGREGADO
GRUESO	"		FINO
P.V.V. =	1497 k / m^3		P-V.S. = 1350 k / m^3
P.V.S. =	1366 k / m^3		Ds.s.s. = 2000 k / m^3
D.s.s.s.=	1550 k / m^3		M.F. = 3
Absorción			
Absorción =	1,52 %		= 2,2 %
Abs.real =	1,72 %		Abs.real = 2,4 %
a/c =	0,4		
			#
		cemento	sacos
Agua (litros)	205	(k/m^3):	533,615 /m³: 10,672
Aire (%) :	2	Coefficiente V.A.G.C.:	0,59
V.Total de			
agua:	213,45		

VOLUMEN PARA 1 m³ DE PESO EN KG. PARA 1 m³ DE

HORMIGON

CEMENTO	0,169	1,377248677	CEMENTO:	533,62	kg.
AGUA:	0,213	1,735333333	AGUA:	213,45	kg.
PIEDRA:	0,570	4,632730134	ARENA:	477,72	kg.
AIRE:	0,02	m ³	PIEDRA:	555,352	kg.
ARENA:	0,027	m ³		1780,135	
				mín.	de
P+A:	0,597	40%	0,239	arena	
Piedra:	0,358				

VOLUMEN

PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO SUELTO

CEMENTO:	50	ARENA:	0,0332	m ³
AGUA:	20	PIEDRA:	0,0381	m ³
ARENA:	44,763			
PIEDRA:	52,037			

NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X

0,20 m..

ARENA:	1,04	
PIEDRA:	1,19	
AGUA:	20	litros

Tabla 17Diseño de hormigón de f'c= 350

Fuente: Autor

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de ceniza (%)	Días	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
1	350	0	7	3753	2,39	16700	212,630507	60,75%
2	350	0	7	3762	2,39	16780	213,649096	61,04%
3	350	0	14	3769	2,40	22730	289,406672	82,69%
4	350	0	14	3797	2,42	23630	300,865801	85,96%
5	350	0	28	3810	2,43	27600	351,413293	100,40%
6	350	0	28	3820	2,43	27540	350,649351	100,19%
7	350	5	7	3756	2,39	15200	193,531958	55,29%
8	350	5	7	3769	2,40	15320	195,059842	55,73%
9	350	5	14	3770	2,40	23400	297,937357	85,12%
10	350	5	14	3763	2,40	24080	306,595365	87,60%
11	350	5	28	3784	2,41	24380	310,415075	88,69%
12	350	5	28	3709	2,36	25870	329,3863	94,11%

Tabla 18: Roturas de cilindros de hormigón f'c= 350 sin reemplazo de cemento y con el 5% de reemplazo

Fuente: Autor

Cilindro N°	F'c	Porcentaje de ceniza	Días	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Porcentaje de Resistencia de Diseño
13	350	10	7	3746	2,38	16980	216,195569	61,77%
14	350	10	7	3789	2,41	16850	214,540362	61,30%
15	350	10	14	3801	2,42	25610	326,075885	93,16%
16	350	10	14	3750	2,39	24730	314,871403	89,96%
17	350	10	28	3814	2,43	27250	346,956965	99,13%
18	350	10	28	3841	2,45	27700	352,686529	100,77%
19	350	15	7	3777	2,40	17890	227,782022	65,08%
20	350	15	7	3796	2,42	18050	229,8192	65,66%
21	350	15	14	3767	2,40	21770	277,183601	79,20%
22	350	15	14	3743	2,38	22510	286,605551	81,89%
23	350	15	28	3809	2,42	27260	347,084288	99,17%
24	350	15	28	3808	2,42	25660	326,712503	93,35%

Tabla 19: Roturas de cilindros de hormigón f'c= 350 con el 10% y 15% de reemplazo de cemento

Fuente: Autor

Vigüeta N°	F'c	Porcentaje de ceniza	Días	Masa (g)	Carga (kg)	Módulo de Resistencia (kg/cm ²)
1	350	0	14	5900	1210	38,32
2	350	5	14	5902	1220	38,63
3	350	10	14	5913	1320	41,80
4	350	15	14	5920	1490	47,18
5	350	0	28	6190	1400	44,33
6	350	5	28	6230	1680	53,20
7	350	10	28	6229	1900	60,17
8	350	15	28	6245	1710	54,15

Tabla 20: Roturas de vigüetas de hormigón $f'c=350$ con y sin reemplazo de cemento

Fuente: Autor

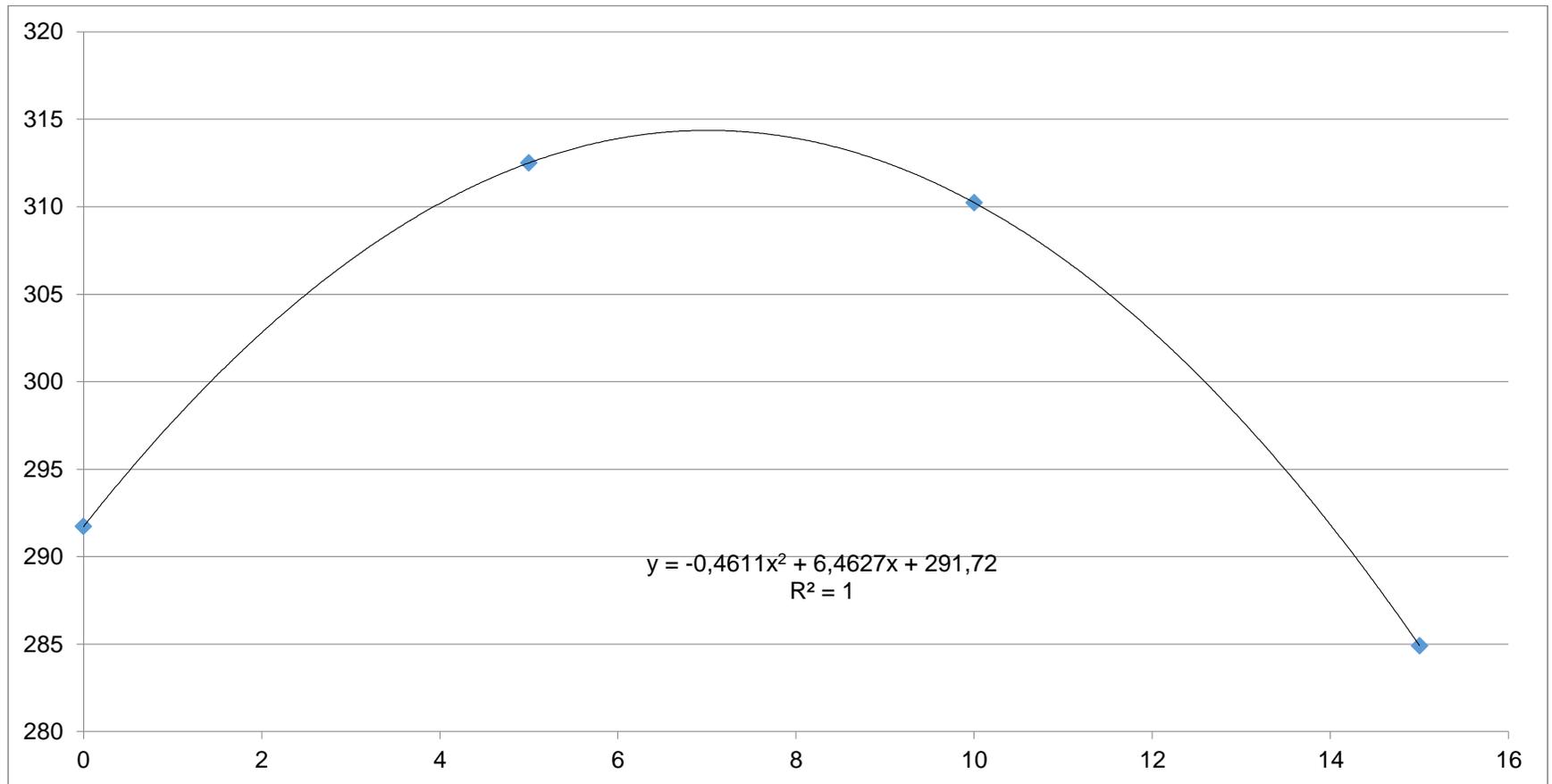


Ilustración 19: Curva Parabólica del Modelo Matemático para ensayos de hormigón $f'c= 350$

Eje Y: Resistencia, Eje X: Porcentaje de Ceniza. Fuente: Autor

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis del hormigón $f'c=210$.

El análisis de los resultados permite hacer las siguientes consideraciones. Conforme lo muestran los ensayos de compresión y flexión, los resultados obtenidos al reemplazar cemento por ceniza volcánica en estado crudo no fueron satisfactorios para ningún porcentaje de reemplazo. La resistencia a la compresión de los cilindros ensayados se vio perjudicada notablemente, ninguno de los cilindros elaborados para los diferentes porcentajes de reemplazo llegó a la resistencia a la compresión deseada. De los 3 escenarios ensayados, el 5% de reemplazo de cemento por ceniza volcánica cruda fue el mejor escenario, en donde:

- La resistencia a esfuerzos de compresión de la mezcla llegó al 67.9% de la resistencia diseñada.
- La resistencia a esfuerzos de flexión llegó al 98.4% de valor alcanzado por la mezcla sin ceniza

Hormigón $F'c= 210$	R Compresión (Carga)	R Flexión (Carga)
Sin reemplazo de cemento.	16620 Kg	1300 Kg
10% de reemplazo.	11160 Kg	1280 Kg

Tabla 22: Análisis de resultados $f'c= 210$

Fuente: Autor.

4.2 Análisis del hormigón $f'c=350$.

Para la mezcla de hormigón de $f'c= 350$ los resultados fueron positivos. Conforme lo indican los resultados de las muestras ensayadas, el mejor escenario fue el reemplazo del 10% de cemento por ceniza volcánica en estado crudo. Los resultados fueron los siguientes:

- La resistencia a esfuerzos de compresión de la mezcla llegó 100% de la resistencia diseñada.

*Se notó la particularidad de que la resistencia a la compresión a los 14 días, se incrementó 8.6% de la referencial. Igualándose a los 28 días.

- La resistencia a esfuerzos de flexión se incrementó 35% de la referencial.

*Se notó la particularidad de que la resistencia a la flexión a los 14 días, se incrementó 9% de la referencial.

Hormigón F'c= 350	Compresión (Carga) 14 días	Compresión (Carga) 28 días	R Flexión (Carga) 14 días	R Flexión (Carga) 28 días
Sin reemplazo de cemento.	23180 Kg	27570 Kg	1210 Kg	1400 Kg
10% de reemplazo.	25270 Kg	27475 Kg	1320 Kg	1900 Kg

Tabla 23: Análisis de resultados f'c= 350

Fuente: Autor.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Análisis Económico

Una vez encontrados los resultados de la adición de ceniza volcánica en estado crudo a la mezcla de hormigón de $f'c=350$, se procedió a idealizar una aplicación a una obra real que haya sido ejecutada o esté en proceso de Ejecución en el Ecuador. Se pretende evaluar en de manera concreta cuál sería el ahorro económico real cuando se use la ceniza.

Para este análisis se eligió idealizar una aplicación a la Construcción del nuevo puente que unirá Guayaquil – Samborondón, sobre el río Daule. Proceso que puede ser encontrado en el portal de compras públicas, SOCE (Sistema Oficial de Contratación del Estado) con código LICO-MIMG-016-2015, objeto de contratación: “CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO DAULE, QUE INCLUYE PASO ELEVADO EN LA AVENIDA SAMBORONDÓN, VÍA DE ACCESO, PUENTE VÍA DE ACCESO, PASO ELEVADO SOBRE LA AVENIDA NARCISA DE JESÚS MARTILLO MORÁN Y VIADUCTO HACIA LA AVENIDA JOSÉ MARÍA EGAS” siendo contratado por la Municipalidad de Guayaquil.



Ilustración 20: Información de Licitación de Obra

Fuente: Documento Público

PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RIO DAULE, QUE INCLUYE PASO ELEVADO EN LA AV. SAMBORONDON, VIA DE ACCESO, PUENTE VIA DE ACCESO, PASO ELEVADO SOBRE LA AV. NARCISA DE JESUS MARTILLO MORÁN Y VIADUCTO HACIA LA AV. JOSE MARIA EGAS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
RAMAL VIAL GUAYAQUIL				
Terraceria				
DESBROCE, DESBOSQUE Y LIMPIEZA (INC. DESALOJO)	HA	0,38	1.294,91	496,96
EXCAVACION SIN CLASIFICACION (INC. DESAL.)	M3	13.064,40	3,55	46.378,61
MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (INC.TRANSPORTE 20 KM)	M3	2.598,78	13,86	36.019,10
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), DENSIDAD = 30KG/M3	M3	2.500,00	147,79	369.475,00
		subtotal		452.369,67
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
MEJOR AMIENTO/SUB-RASAN.C/MATER.SELECCION.(INC TRANS)PEDRAPLEN	M3	1.791,84	15,31	27.433,08
SUB-BASE CLASE 1 (INC. TRANSPORTE 20 KM)	M3	1.065,42	21,32	22.714,73
BASE CLASE 1 (INC.TRANSPORTE 20KM.)	M3	1.452,84	24,60	35.739,95
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANT A E=11CM.(INC.IMP.)	M2	4.842,81	14,35	69.494,35
			SUBTOTAL	155.382,11
DRENAJES Y ALCANTARILLAS				

EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS (INC.DESALOJO)	M3	84,00	8,06	677,04
HORM.STRUCT./CEM.PORTL.CL-B F'C=210 KG/CM2 (INC.ENC.CURAD)	M3	142,00	179,44	25.480,48
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	14.200,00	2,27	32.234,00
HORM.STRUCT./CEM.PORTL.CL-B F'C=280 KG/CM2 (INC. ENC.CURAD)	M3	236,00	224,48	52.977,28
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBO DE PVC 16" = 400 MM	M	200,00	78,74	15.748,00
SUMIDERO SENCILLO DE HORMIGON SIMPLE (INC.REJILLA Y EXCAV.)	U	10,00	130,43	1.304,30
			SUBTOTAL	128.421,10
ENCAUZAMIENTO Y PROTECCION				
ESCOLLERA DE PIEDRA SUELTA (INC. TRANSPORTE)	M3	7.572,00	32,04	242.606,88
SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL NT - 4000	M2	7.872,00	5,21	41.013,12
			SUBTOTAL	283.620,00
SEÑALIZACION				
MARCAS C/PINTURA TERMOPLASTICA SOBRE PAVIM.E=2 3MM.(10-13)CM	M	4.014,00	1,98	7.947,72
MARCAS CON PINTURA SOBRE PAVIMENTO	M2	27,60	8,46	233,50
TACHAS REFLECTIVA	U	704,00	8,57	6.033,28
CONSTRUC.E INSTAL. /TABLERO METALICO /SEÑALIZACION P/PARANTE	M2	61,22	154,24	9.442,96
SUMINISTRO E INSTAL/TUBO.DADO H.S/SENAL/SEGUR.PREV	M	70,00	18,64	1.304,80
PORTICOS PARA SEÑALIZACION TIPO BANDERA H= 7.20, L= 4.00 M (MIN)	U	5,00	994,00	4.970,00

SUMIN.E	INSTAL/GUARDACAMINO				
SENCILLO (TIPO-FLEX-BEAM)		M	200,00	63,35	12.670,00
			subtotal		42.602,25
			Total		1.062.395,13
VIADUCTO SECTOR GUAYAQUIL					
INFRAESTRUCTURA					
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION		M3	773,49	320,35	247.788,20
SUMINISTRO E INSTALACION DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A -588) PILOTES TUBULARES (INC. TRANSPORTE)		KG	1.453.902,80	3,35	4.870.574,38
HINCADA DE PILOTES DE ACERO EN TIERRA		U	79,00	8.057,76	636.563,04
PRUEBAS PDA EN PILOTES		U	20,00	5.000,00	100.000,00
PROTECCION CATODICA EN PILOTES (CON MANTENIMIENTO A 15 AÑOS)		U	79,00	16.279,08	1.286.047,32
SONDEOS EXPLORATORIOS DE VERIFICACION		M	10,00	300,00	3.000,00
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2		KG	99.259,16	2,27	225.318,30
SUMINISTRO E INSTALACION DE APOYOS ELASTOMERICOS TIPO POT FIJOS		U	101,00	1.816,42	183.458,42
SUMINISTRO E INSTALACION DE APOYOS ELASTOMERICOS TIPO POT 1 SOLA DIRECCION		U	21,00	1.443,95	30.322,95
SUMINISTRO E INSTALACION DE APOYOS ELASTOMERICOS TIPO POT BIDIRECCIONALES		U	7,00	2.403,95	16.827,65
			subtotal		7.599.900,26
SUPERESTRUCTURA					

SUMINISTRO Y FABRICACION DE ESTRUCTURA METALICA (INC. TRANSPORTE Y PINTURA)	KG	1.187.411,76	3,97	4.714.024,67
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION)	M3	2.382,60	320,35	763.266,92
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	266.915,05	2,27	605.897,17
LOSETA PREFABRICADAS	U	1.440,00	212,74	306.345,60
BARANDALES DE ACERO PARA PEATONES	M	430,00	34,21	14.710,30
BARANDALES DE ACERO PARA CICLISTAS	M	430,00	29,51	12.689,30
MONTAJE DE VIGAS METALICAS	U	45,00	7.892,64	355.168,80
MONTAJE DE VIGAS CABEZAL	U	5,00	44.704,21	223.521,05
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANTA E=5CM. (INC.IMPRIM.)	M2	9.637,28	8,78	84.615,32
JUNTAS TIPO TRANSFLEX MODELO 2000 O SIMILAR	M	53,20	6.703,91	356.648,01
BARRAS DE ARRIOSTRAMIENTO DEL TABLERO (L=2,7M, FPU= 1030 MPA)	U	1.440,00	25,14	36.201,60
BARRERAS-SEGUR-(H=1,10; A1=0,80 A2=0,25)	M	490,00	180,42	88.405,80
BARRERAS-SEGUR-(H=1,00; A1=0,30 A2=0,13)	M	1.395,43	130,34	181.880,35
		subtotal		7.743.374,89
OBRAS ELECTRICAS				
CUARTO ELECTRICO				
MALLA DE TIERRA DE 3X3 MTS CON CABLE 2/0 Y 4 VARRILLA DE 3/8" X 8"	U	1,00	788,89	788,89
TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 50KVA MONOFASICO 7960/120-240V	U	1,00	6.099,38	6.099,38
ALIMENTADOR 2#350MCM+N#4/0+T#2 THHN 600V	M	15,00	72,05	1.080,75

TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	24,00	85,00	2.040,00
TABLERO DE MEDICION EN BT MEDIDOR CL-20	U	1,00	2.787,89	2.787,89
TABLERO TDP-CE2	U	1,00	3.412,97	3.412,97
TABLERO DE CONTROL DE LUCES TC	U	2,00	6.528,20	13.056,40
CANALETA GALVANIZADA TIPO ESCALERA DE 30X10 CM. SOPORTERÍA	M	24,00	96,34	2.312,16
ALIMENTADOR 2#2 + T#6	M	30,00	12,94	388,20
ALIMENTACION EN MEDIA TENSION				
ALIMENTADOR 1#2 XLPE DE 15KV AL 133% + TIERRA #2 THHN	M	200,00	26,65	5.330,00
TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	8,00	85,00	680,00
TUBERIA PVC DE 3"	M	400,00	13,96	5.584,00
CAJA DE REVISION DE 1,0X1,0M.	U	5,00	494,56	2.472,80
ALIMENTADORES DE CIRCUITOS EN BAJA TENSION				
ALIMENTADOR 3X16 THHN	M	1.135,00	1,99	2.258,65
ALIMENTADOR 2#4 + T#8 THHN	M	1.386,38	14,75	20.449,11
ALIMENTADOR 2#8 + T#10 THHN	M	2.851,04	5,83	16.621,56
TUBERIA PVC ELECTRICA DE 1 1/2"	M	4.237,42	16,26	68.900,45
CAJA DE REVISION DE 1,0X1,0M.	U	82,00	494,56	40.553,92
ALUMBRADO				
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON DOBLE BRAZO DE 9MTS DE ALTURA	U	23,00	2.844,14	65.415,22
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON UN SOLO BRAZO DE 6MTS DE ALTURA	U	59,00	2.372,47	139.975,73
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 105W/240V MVOLT	U	46,00	1.396,75	64.250,50

LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 52W / 240V MVOLT	U	59,00	1.320,95	77.936,05
			SUBTOTAL	542.394,63
IMPACTOS AMBIENTALES				
AGUA PARA CONTROL DE POLVO	M3	700,00	2,54	1.778,00
ALQUILER DE BATERIA SANITARIA/ SERVICIO PUBLICO	U/MES	72,00	176,62	12.716,64
CHARLAS DE CONCIENCIACION	U	230,00	148,07	34.056,10
VOLANTES INFORMATIVAS	U	2.500,00	0,58	1.450,00
COMUNICACIONES RADIALES	U	150,00	4,20	630,00
COMUNICADOS DE PRENSA ESCRITA (1/4 DE PAGINA)	U	4,00	2.979,37	11.917,48
SEÑALES LUMINOSAS DE PREVENCION	U	6,00	99,47	596,82
SEÑALES A LADO DE LA CARRETERA (AMBIENTALES)(1,20X2,40)	U	30,00	99,47	2.984,10
PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA	U	1,00	346,08	346,08
CONTROL DE NIVELES DE RUIDO	U	3,00	51,77	155,31
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	U	3,00	209,92	629,76
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA	U	30,00	599,89	17.996,70
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO	U	2,00	726,00	1.452,00
MONITOREO DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS	U	30,00	1.545,00	46.350,00
PLAN DE SEGURIDAD VIAL Y LABORAL				
TANQUE PROTECTOR VIAL DE POLIETILENO H=1.02M. D=0.62M C/BASE	U	15,00	228,38	3.425,70
PARANTE VIAL DE POLIETILENO H= 1.41 M D= 0.74 M INC.BASE	U	70,00	84,17	5.891,90
CINTAS PLASTICAS DE SEGURIDAD (COLOR REFLECTIVO)	M	3.000,00	0,19	570,00

CONSTRUCCION E INSTALAC/LETRERO-METAL. REFLECTIV/SENAL. SEGUR	M2	16,00	119,50	1.912,00
PROTECCION PARA TRABAJADOR	U	100,00	69,00	6.900,00
CONOS DE SEGURIDAD	U	100,00	25,39	2.539,00
			SUBTOTAL	154.297,59
		Total		16.039.967,36
PUENTE L= 780M				
Infraestructura				
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	M3	1.675,05	320,35	536.603,02
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	225,52	2,27	511,93
SUMINISTRO E INSTALACION DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A -588) PILOTES TUBULARES (INC. TRANSPORTE)	KG	1.464.706,80	3,35	4.906.767,77
HINCADA DE PILOTES DE ACERO EN AGUA	U	70,00	24.255,30	1.697.871,00
PRUEBAS PDA EN PILOTES	U	14,00	5.000,00	70.000,00
PROTECCION CATODICA EN PILOTES (CON MANTENIMIENTO A 15 AÑOS)	U	70,00	16.279,08	1.139.535,60
SONDEOS EXPLORATORIOS DE VERIFICACION	M	200,00	300,00	60.000,00
		subtotal		8.411.289,32
Superestructura				
SUMINISTRO, FABRICACION DE ESTRUCTURA METALICA (INC. TRANSPORTE Y PINTURA)	KG	4.602.475,16	3,97	18.271.826,39
MONTAJE DE VIGAS METALICAS	U	117,00	7.892,64	923.438,88

HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	M3	5.187,00	320,35	1.661.655,45
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	778.050,00	2,27	1.766.173,50
LOSETA PREFABRICADAS	U	6.720,00	212,74	1.429.612,80
JUNTAS TIPO TRANSFLEX MODELO 2000 O SIMILAR	M	53,20	6.703,91	356.648,01
MONTAJE DE VIGAS CABEZAL	U	14,00	44.704,21	625.858,94
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANTA E=5CM. (INC.IMPRIM.)	M2	10.640,00	8,78	93.419,20
BARANDALES DE ACERO PARA PEATONES	M	1.560,00	34,21	53.367,60
BARANDALES DE ACERO PARA CICLISTAS	M	1.560,00	29,51	46.035,60
BARRERAS-SEGUR-(H=1,10; A1=0,80 A2=0,25)	M	780,00	180,42	140.727,60
BARRERAS-SEGUR-(H=1,00; A1=0,30 A2=0,13)	M	780,00	130,34	101.665,20
SUMINISTRO Y COLOCAC MORTERO EPOXICO PARA ANCLAJE-NIVEL.HORM	M	150,00	10,73	1.609,50
		subtotal		25.472.038,67
OBRAS ELECTRICAS				
ALIMENTADORES DE CIRCUITOS EN BAJA TENSION				
ALIMENTADOR 2#4 + T#8 THHN	M	4.190,04	14,75	61.803,09
ALIMENTADOR 2#8 + T#10 THHN	M	5.846,28	5,83	34.083,81
ALIMENTADOR 3X16 THHN	M	2.158,00	1,99	4.294,42
TUBERIA PVC ELECTRICA DE 1 1/2"	M	10.036,32	16,26	163.190,56
CAJA PVC PARA EXTERIOR DE 855 x 590 x 360.	U	154,00	1.145,93	176.473,22
ALUMBRADO				

POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON DOBLE BRAZO DE 9MTS DE ALTURA	U	52,00	2.844,14	147.895,28
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON UN SOLO BRAZO DE 6MTS DE ALTURA	U	102,00	2.372,47	241.991,94
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 105W/240V MVOLT	U	104,00	1.396,75	145.262,00
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 52W / 240V MVOLT	U	102,00	1.320,95	134.736,90
			SUBTOTAL	1.109.731,23
Señalización				
MARCAS C/PINTURA TERMOPLASTICA SOBRE PAVIM.E=2 3MM.(10-13)CM	M	2.334,00	1,98	4.621,32
MARCAS CON PINTURA SOBRE PAVIMENTO	M2	19,55	8,46	165,42
TACHAS REFLECTIVA	U	226,00	8,57	1.936,82
CONSTRUC.E INSTAL./TABLERO METALICO /SEÑALIZACION P/PARANTE	M2	2,18	154,24	336,68
SUMINISTRO E INSTAL/TUBO.DADO H.S/SENAL/SEGUR.PREV	M	70,00	18,64	1.304,80
PORTICOS PARA SEÑALIZACION TIPO BANDERA H= 7.20, L= 4.00 M (MIN)	U	2,00	994,00	1.988,00
SUMIN.E INSTAL/GUARDACAMINO SENCILLO (TIPO-FLEX-BEAM)	M	600,00	63,35	38.010,00
		subtotal		48.363,04
		Total		35.041.422,25
VIADUCTO METALICO SAMBORONDON				
Infraestructura				
EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS (INC.DESALOJO)	M3	50,00	8,06	403,00

HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	M3	850,76	320,35	272.540,97
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	105.041,11	2,27	238.443,32
SUMINISTRO E INSTALACION DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A -588) PILOTES TUBULARES (INC. TRANSPORTE)	KG	910.571,44	3,35	3.050.414,33
HINCADA DE PILOTES DE ACERO EN TIERRA(INC. ACCESO A MANGLAR)	U	84,00	17.779,68	1.493.493,12
PRUEBAS PDA EN PILOTES	U	20,00	5.000,00	100.000,00
PROTECCION CATODICA EN PILOTES (CON MANTENIMIENTO A 15 AÑOS)	U	84,00	16.279,08	1.367.442,72
SONDEOS EXPLORATORIOS DE VERIFICACION	M	200,00	300,00	60.000,00
		subtotal		6.582.737,45
Superestructura				
SUMINISTRO, FABRICACION DE ESTRUCTURA METALICA (INC. TRANSPORTE Y PINTURA)	KG	1.416.345,10	3,97	5.622.890,07
MONTAJE DE VIGAS METALICAS	U	135,00	7.892,64	1.065.506,40
PLACAS DE APOYO-NEOPRENO DUREZA SHORE 60(500X300X70MM)	U	171,00	196,42	33.587,82
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	M3	1.782,87	320,35	571.140,80
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	189.191,24	2,27	429.464,11
LOSETA PREFABRICADAS	U	3.660,00	212,74	778.628,40

JUNTAS TIPO TRANSFLEX MODELO 2000 O SIMILAR	M	108,00	6.703,91	724.022,28
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANTA E=5CM. (INC.IMPRIM.)	M2	11.172,00	8,78	98.090,16
BARRAS DE ARRIOSTRAMIENTO DEL TABLERO (L=2,7M, FPU= 1030 MPA)	U	1.440,00	25,14	36.201,60
BARRERAS-SEGUR-(H=1,10; A1=0,80 A2=0,25)	M	420,00	180,42	75.776,40
BARRERAS-SEGUR-(H=1,00; A1=0,30 A2=0,13)	M	840,00	130,34	109.485,60
BARANDALES DE ACERO PARA PEATONES	M	840,00	34,21	28.736,40
BARANDALES DE ACERO PARA CICLISTAS	M	840,00	29,51	24.788,40
		subtotal		9.598.318,44
		Total		16.181.055,89
VIA SECTOR SAMBORONDON				
TERRACERIA				
DESBROCE, DESBOSQUE Y LIMPIEZA (INC. DESALOJO)	HA	3,11	1.294,91	4.021,52
EXCAVACION SIN CLASIFICACION (INC. DESAL.)	M3	23.715,00	3,55	84.188,25
MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (INC.TRANSPORTE 20 KM)	M3	18.670,16	13,86	258.768,42
BLOQUES DE POLIESTIRENO ESPANDIDO	M3	3.500,00	147,79	517.265,00
		SUBTOTAL		864.243,19
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
MEJOR AMIENTO/SUB-RASAN.C/MATER.SELECCION.(INC TRANS)PEDRAPLEN	M3	5.849,70	15,31	89.558,91
SUB-BASE CLASE 1 (INC. TRANSPORTE 20 KM)	M3	3.478,20	21,32	74.155,22
BASE CLASE 1 (INC.TRANSPORTE 20KM.)	M3	4.743,00	24,60	116.677,80

CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANT A E=11CM.(INC.IMP.)	M2	15.810,00	14,35	226.873,50
		SUBTOTAL		507.265,43
DRENAJES Y ALCANTARILLAS				
EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS (INC.DESALOJO)	M3	84,00	8,06	677,04
HORM.STRUCT./CEM.PORTL.CL-B F'C=210 KG/CM2 (INC.ENC.CURAD)	M3	165,00	179,44	29.607,60
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	19.800,00	2,27	44.946,00
HORM.STRUCT./CEM.PORTL.CL-B F'C=280 KG/CM2 (INC. ENC.CURAD)	M3	150,00	224,48	33.672,00
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBO DE PVC 16" = 400 MM	M	249,40	78,74	19.637,76
SUMIDERO SENCILLO DE HORMIGON SIMPLE (INC.REJILLA Y EXCAV.)	U	14,00	130,43	1.826,02
		SUBTOTAL		130.366,42
ENCAUZAMIENTO Y PROTECCION				
ESCOLLERA DE PIEDRA SUELTA (INC. TRANSPORTE)	M3	3.750,00	32,04	120.150,00
SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL NT - 4000	M2	10.000,00	5,21	52.100,00
		SUBTOTAL		172.250,00
SEÑALIZACION				
MARCAS C/PINTURA TERMOPLASTICA SOBRE PAVIM.E=2 3MM.(10-13)CM	M	2.334,00	1,98	4.621,32
MARCAS CON PINTURA SOBRE PAVIMENTO	M2	19,55	8,46	165,42
TACHAS REFLECTIVA	U	226,00	8,57	1.936,82

CONSTRUC.E INSTAL./TABLERO METALICO /SEÑALIZACION P/PARANTE	M2	2,18	154,24	336,68
SUMINISTRO E INSTAL/TUBO.DADO H.S/SENAL/SEGUR.PREV	ML	70,00	18,64	1.304,80
PORTICOS PARA SEÑALIZACION TIPO BANDERA H= 7.20, L= 4.00 M (MIN)	U	2,00	994,00	1.988,00
SUMIN.E INSTAL/GUARDACAMINO SENCILLO (TIPO-FLEX-BEAM)	M	480,00	63,35	30.408,00
			SUBTOTAL	40.761,04
OBRAS ELECTRICAS				
CUARTO ELECTRICO				
MALLA DE TIERRA DE 3X3 MTS CON CABLE 2/0 Y 4 VARRILLA DE 3/8" X 8"	U	1,00	788,89	788,89
TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 50KVA MONOFASICO 7960/120-240V	U	1,00	6.099,38	6.099,38
ALIMENTADOR 2#350MCM+N#4/0+T#2 THHN 600V	M	15,00	72,05	1.080,75
TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	24,00	85,00	2.040,00
TABLERO DE MEDICION EN BT MEDIDOR CL-20	U	1,00	2.787,89	2.787,89
TABLERO TDP-CE2	U	1,00	3.412,97	3.412,97
TABLERO DE CONTROL DE LUCES TC	U	2,00	6.528,20	13.056,40
CANALETA GALVANIZADA TIPO ESCALERA DE 30X10 CM. SOPORTERÍA	M	24,00	96,34	2.312,16
ALIMENTADOR 2#2 + T#6	M	30,00	12,94	388,20

ALIMENTADORES DE CIRCUITOS EN BAJA TENSION				
ALIMENTADOR 1#2 XLPE DE 15KV AL 133% + TIERRA #2 THHN	M	600,00	26,65	15.990,00
TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	8,00	85,00	680,00
TUBERIA PVC DE 3"	M	1.200,00	13,96	16.752,00
CAJA DE REVISION DE 1,0X1,0M.	U	13,00	494,56	6.429,28
ALIMENTADORES DE CIRCUITOS EN BAJA TENSION				
ALIMENTADOR 3X16 THHN	M	2.000,00	1,99	3.980,00
ALIMENTADOR 2#4 + T#8 THHN	M	2.820,14	14,75	41.597,07
ALIMENTADOR 2#8 + T#10 THHN	M	4.087,04	5,83	23.827,44
TUBERIA PVC ELECTRICA DE 1 1/2"	M	6.907,18	16,26	112.310,75
CAJA DE REVISION DE 1,0X1,0M.	U	69,00	494,56	34.124,64
ALUMBRADO				
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON DOBLE BRAZO DE 9MTS DE ALTURA	U	47,00	2.844,14	133.674,58
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON UN SOLO BRAZO DE 6MTS DE ALTURA	U	96,00	2.372,47	227.757,12
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 105W/240V MVOLT	U	94,00	1.396,75	131.294,50
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 52W / 240V MVOLT	U	96,00	1.320,95	126.811,20
			SUBTOTAL	907.195,22
IMPACTOS AMBIENTALES				
AGUA PARA CONTROL DE POLVO	M3	1.500,00	2,54	3.810,00
ALQUILER DE BATERIA SANITARIA/SERVICIO PUBLICO	U/MES	72,00	176,62	12.716,64
CHARLAS DE CONCIENCIACION	U	5,00	148,07	740,35

VOLANTES INFORMATIVAS	U	2.500,00	0,58	1.450,00
COMUNICACIONES RADIALES	U	10,00	4,20	42,00
COMUNICADOS DE PRENSA ESCRITA (1/4 DE PAGINA)	U	4,00	2.979,37	11.917,48
MURO AMBIENTAL MITIGACION DE RUIDO	M2	1.000,00	486,90	486.900,00
SEÑALES LUMINOSAS DE PREVENCION	U	6,00	99,47	596,82
SEÑALES A LADO DE LA CARRETERA (AMBIENTALES)(1,20X2,40)	U	10,00	99,47	994,70
AREA PLANTADA (ARBOLES Y ARBUSTOS)	U	2.500,00	1,75	4.375,00
PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA	U	1,00	346,08	346,08
CONTROL DE NIVELES DE RUIDO	U	3,00	51,77	155,31
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	U	3,00	209,92	629,76
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA	U	30,00	599,89	17.996,70
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO	U	2,00	726,00	1.452,00
MONITOREO DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS	U	30,00	1.545,00	46.350,00
PLAN DE SEGURIDAD VIAL Y LABORAL				
TANQUE PROTECTOR VIAL DE POLIETILENO H=1.02M. D=0.62M C/BASE	U	15,00	228,38	3.425,70
PARANTE VIAL DE POLIETILENO H= 1.41 M D= 0.74 M INC.BASE	U	70,00	84,17	5.891,90
CINTAS PLASTICAS DE SEGURIDAD (COLOR REFLECTIVO)	M	3.000,00	0,19	570,00
CONSTRUCCION E INSTALAC/LETRERO-METAL. REFLECTIV/SENAL. SEGUR	M2	16,00	119,50	1.912,00
PROTECCION PARA TRABAJADOR	U	100,00	69,00	6.900,00
CONOS DE SEGURIDAD	U	200,00	25,39	5.078,00
			SUBTOTAL	614.250,44
		TOTAL 3		3.236.331,73

SOLUCION VIAL SECTOR LICEO PANAMERICANO				
TERRACERIA				
DESBROCE, DESBOSQUE Y LIMPIEZA (INC. DESALOJO)	HA	1,47	1.294,91	1.905,38
EXCAVACION SIN CLASIFICACION (INC. DESAL.)	M3	22.732,50	3,55	80.700,38
REMOCION DE CARPETA DE HORMIGON ASFALTICO	M3	22,62	1,19	26,92
MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (INC.TRANSPORTE 20 KM)	M3	22.732,50	13,86	315.072,45
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), DENSIDAD = 30KG/M3	M3	3.941,28	147,79	582.481,77
			SUBTOTAL	980.186,89
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				0,00
MEJORAMIENTO/SUB-RASAN.C/MATER.SELECCION.(INC TRANS)PEDRAPLEN	M3	6.860,91	15,31	105.040,53
SUB-BASE CLASE 1 (INC. TRANSPORTE 20 KM)	M3	4.079,46	21,32	86.974,09
BASE CLASE 1 (INC.TRANSPORTE 20KM.)	M3	5.562,90	24,60	136.847,34
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANT A E=11CM.(INC.IMP.)	M2	18.543,00	14,35	266.092,05
			SUBTOTAL	594.954,01
DRENAJES Y ALCANTARILLAS				
EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS (INC.DESALOJO)	M3	150,00	8,06	1.209,00
HORM.STRUCT./CEM.PORTL.CL-B F'C=210 KG/CM2 (INC.ENC.CURAD)	M3	85,00	179,44	15.252,40

ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	12.750,00	2,27	28.942,50
			SUBTOTAL	45.403,90
INFRAESTRUCTURA				
EXCAVACION Y RELLENO PARA ESTRUCTURAS (INC.DESALOJO)	M3	0,00	8,06	0,00
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'C= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	m3	61,18	320,35	19.599,82
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	9.177,38	2,27	20.832,65
SUMINISTRO E INSTALACION DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A -588) PILOTES TUBULARES (INC. TRANSPORTE)	KG	1.323.589,00	3,35	4.434.023,13
HINCADA DE PILOTES DE ACERO EN TIERRA	U	50,00	8.057,76	402.888,00
PRUEBAS PDA EN PILOTES	U	10,00	5.000,00	50.000,00
PROTECCION CATODICA EN PILOTES (CON MANTENIMIENTO A 15 AÑOS)	U	50,00	16.279,08	813.954,00
SONDEOS EXPLORATORIOS DE VERIFICACION	M	200,00	300,00	60.000,00
			SUBTOTAL	5.801.297,60
SUPERESTRUCTURA				
SUMINISTRO DE ESTRUCTURA METALICA (INC. TRANSPORTE Y PINTURA)	KG	47.443,92	3,97	188.352,38
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'C= 350 KG/CM2 (INC. INHIBIDOR A LA CORROSION	M3	1.552,40	320,35	497.312,30
ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY =4200KG/CM2	KG	598.500,00	2,27	1.358.595,00
LOSETA PREFABRICADAS	U	261,00	212,74	55.525,14

MONTAJE DE VIGAS METALICAS	U	110,00	7.892,64	868.190,40
CAPA/RODADURA/H.ASFALT.MEZC/PLANTA E=5CM. (INC.IMPRIM.)	M2	8.023,05	8,78	70.442,38
JUNTAS TIPO TRANSFLEX MODELO 200 O SIMILAR	M	53,20	6.703,91	356.648,01
JUNTAS TIPO TRANSFLEX MODELO 1600 O SIMILAR	M	53,20	6.703,91	356.648,01
BARRERAS-SEGUR-(H=1,10; A1=0,80 A2=0,25)	M	400,00	180,42	72.168,00
BARRERAS-SEGUR-(H=1,00; A1=0,30 A2=0,13)	M	800,00	130,34	104.272,00
PLACAS DE APOYO-NEOPRENO DUREZA SHORE 70(500X400X36MM)	U	171,00	178,42	30.509,82
			SUBTOTAL	3.958.663,44
OBRAS ELECTRICAS				
ALIMENTADORES DE CIRCUITOS EN BAJA TENSION				
ALIMENTADOR 2#4 + T#8 THHN	M	3.113,00	14,75	45.916,75
ALIMENTADOR 3X16 THHN	M	1.044,00	1,99	2.077,56
TUBERIA PVC ELECTRICA DE 1 1/2"	M	3.700,00	16,26	60.162,00
CAJA PVC PARA EXTERIOR DE 555 x 460 x 260.	U	74,00	409,46	30.300,04
ALUMBRADO				
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON DOBLE BRAZO DE 9MTS DE ALTURA	U	23,00	2.844,14	65.415,22
POSTES METALICO ACERO INOXIDABLE CON UN SOLO BRAZO DE 9MTS DE ALTURA	U	48,00	2.507,51	120.360,48
LUMINARIA TIPO LED IP66 DE 105W/240V MVOLT	U	94,00	1.396,75	131.294,50
CUARTO ELECTRICO				
MALLA DE TIERRA DE 3X3 MTS CON CABLE 2/0 Y 4 VARRILLA DE 3/8" X 8"	U	22,00	788,89	17.355,58

TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 25KVA MONOFASICO 7960/120-240V	U	1,00	2.985,76	2.985,76
ALIMENTADOR 2#350MCM+N#4/0+T#2 THHN 600V	M	15,00	72,05	1.080,75
TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	4,00	85,00	340,00
TABLERO DE MEDICION EN BT MEDIDOR CL-200	U	1,00	404,22	404,22
TABLERO DE CONTROL DE LUCES TC	U	1,00	6.528,20	6.528,20
CANALETA GALVANIZADA TIPO ESCALERA DE 30X10 CM. SOPORTERÍA	M	12,00	96,34	1.156,08
ALIMENTACION EN MEDIA TENSION				
ALIMENTADOR 1#2 XLPE DE 15KV AL 133% + TIERRA #2 THHN	M	170,00	26,65	4.530,50
TUBERIA RÍGIDA DE 4" - CODO Y REVERSIBLE DE 4"	M	12,00	85,00	1.020,00
TUBERIA PVC DE 3"	M	300,00	13,96	4.188,00
CAJA DE REVISION DE 1,0X1,0M.	U	5,00	494,56	2.472,80
			SUBTOTAL	497.588,44
SEÑALIZACION				
MARCAS C/PINTURA TERMOPLASTICA SOBRE PAVIM.E=2 3MM.(10-13)CM	M	1.100,00	1,98	2.178,00
MARCAS CON PINTURA SOBRE PAVIMENTO	M2	27,14	8,46	229,63
TACHAS REFLECTIVA	U	313,00	8,57	2.682,41
CONSTRUC.E INSTAL./TABLERO METALICO /SEÑALIZACION P/PARANTE	M2	4,69	154,24	722,80
SUMINISTRO E INSTAL/TUBO.DADO H.S/Para Señalización y Seguridad.	M	70,00	18,64	1.304,80
SEMAFORIZACION				

SUMINISTRO DE REGULADOR COMPLETO DE SEMAFORO PARA 2 A 12 GRUPOS INCL. UPS	U	1,00	14.523,60	14.523,60
SUMINISTRO DE TARJETA DE DETECTOR DE DOS CANALES PARA LAZOS MAGNETICOS	U	1,00	433,15	433,15
SUMINISTRO E INSTALACION DE ESPIRA DETECTORA DE VEHICULOS	U	16,00	297,96	4.767,36
SUMINISTRO DE SEMAFOROS DE TRES MODULOS 3/300 PARA PASO DE VEHÍCULOS, EN POLICARBONATO REFORZADO Y LÁMPARAS DE LED'S	U	10,00	782,02	7.820,20
SUMINISTRO DE SISTEMA DE PULSADOR DE ESPERA PARA PASOS PEATONALES	U	8,00	246,06	1.968,48
SUMINISTRO DE SEMAFOROS DE DOS MODULOS 12" ANIMADOS PARA PASOS DE PEATONES, EN POLICARBONATO REFORZADO Y CON LAMPARAS DE LED'S	U	8,00	934,09	7.472,72
SUMINISTRO DE BACULO COMPLETO (incluye columna vertical, curva o angulo , brazo de 2,5 hasta 7,0 m.) EN CHAPA DE ACERO GALVANIZADO Y CAPUCHON	U	5,00	552,00	2.760,00
SUMINISTRO DE COLUMNA ALARGADA SEMAFORICA VEHICULAR 110mm DE DIÁMETRO, EN CHAPA DE ACERO GALVANIZADO CON PINTURA Y CAPUCHÓN.	U	1,00	336,00	336,00
SUMINISTRO DE SOPORTE SENCILLO CON FIJACION EN DOS PUNTOS PARA SEMAFOROS, SOBRE COLUMNAS O BÁCULO	U	5,00	74,40	372,00
SUMINISTRO DE SOPORTE BAJANTE BACULO O MENSULA	U	5,00	116,40	582,00

SUMINISTRO DE CABLE DE TEFLON 1x14 AWG DE SECCION EN COBRE PARA ESPIRAS MAGNÉTICAS	M	150,00	0,60	90,00
SUMINISTRO DE CABLE TIPO MANGUERA PARA SEMAFORO DE 3 x 14 AWG DE COBRE	M	150,00	1,80	270,00
SUMINISTRO DE CABLE TIPO MANGUERA PARA SEMAFORO DE 4 x 14 AWG DE COBRE	M	300,00	2,52	756,00
SUMINISTRO DE CABLE UNIPOLAR BICOLOR PARA TIERRA DE ARMARIOS DE 16mm ² DE SECCIÓN DE COBRE	M	10,00	1,51	15,10
SUMINISTRO E INSTALACION DE PLACAS O PICAS DE TOMAS DE TIERRA	U	1,00	65,33	65,33
SUMINISTRO DE CABLE PARA INTERCONEXION DE ESPIRA A REGULADOR PARA TRANSMISION DE DATOS.	M	400,00	0,96	384,00
BASAMENTO DE HORMIGON PARA CENTRALES DE ZONA O REGULADOR DE 12 GRUPOS	U	1,00	136,45	136,45
BASAMENTO DE HORMIGON PARA BACULO (BRAZO L=2,5 M. HASTA L=7,0 M.)	U	5,00	126,85	634,25
BASAMENTO DE HORMIGON PARA COLUMNA VEHICULAR Y PEATONAL	U	10,00	123,32	1.233,20
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC E/C 55MM X91PSIX1 VIA	M	50,00	4,51	225,50
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC E/C 110MM X91PSIX1 VIA	M	40,00	14,23	569,20
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC E/C 110MM X91PSIX2 VIAS	M	60,00	18,88	1.132,80
CAJA DE REVISION CON TAPA	U	8,00	105,92	847,36

INSTALACION DE POSTE TIPO COLUMNA VEHICULAR O PEATONAL	U	5,00	29,10	145,50
INSTALACION DE POSTE TIPO BACULO COMPLETO (BRAZO L=2,5 M. HASTA L=7,0 M.)	U	5,00	16,86	84,30
TENDIDO DE CABLE (SEMAFOROS VEHICULARES Y PEATONALES, BOTONERAS, INTERCONEXION DETECTORES, TIERRAS)	M	860,00	1,39	1.195,40
INSTALACION DE SEMAFOROS DE TRES MODULOS 3/300 VEHICULARES O SEMAFOROS DE DOS MODULOS PARA PEATONES Y VEHICULOS	U	10,00	28,31	283,10
INSTALACION DE SEMAFOROS DE TRES MODULOS VEHICULARES 1/300 + 2/200 y 3/300	U	10,00	34,25	342,50
INSTALACION DE PULSADORES PEATONALES	U	10,00	17,22	172,20
MONTAJE DE REGULADOR (ARMARIO) INCLUYE LA IMPERMEABILIZACION, HERMETIZACION Y CABLEADO INTERNO	U	1,00	483,16	483,16
PLANEAMIENTO DE TRAFICO, PROGRAMACION DE EQUIPOS, PROGRAMACION DE NUEVOS NODOS EN LA CENTRAL, PUESTA EN SERVICIO	U	1,00	4.800,00	4.800,00
			SUBTOTAL	62.018,50
			TOTAL	11.940.112,78
		TOTAL SOLUCION VIAL		83.501.285,16

Tabla 24: Presupuesto General de la obra seleccionada

Fuente: Documento Público

De este presupuesto, se procedió a seleccionar solo los rubros donde se utilice hormigón de $f'c = 350$, y se realizó un análisis donde se establecía un costo estimado referencial de recolección y transporte de la ceniza volcánica en estado crudo hacia la localización de la obra seleccionada.

Del presupuesto referencial del proyecto, que tiene un total de USD \$85'501.285,16 (ochenta y cinco millones quinientos un mil doscientos ochenta y cinco 16/100 dólares) se destinaron USD\$ 4'569.907,48 para la fundición de 14.265,36 m³ de hormigón estructural de cemento $f'c = 350$.

Para poder realizar el análisis correspondiente, se debió tomar en cuenta los siguientes factores:

- La ceniza volcánica, como materia prima no tiene costo.
- El sitio de recolección de la ceniza utilizada fue cerca de la ciudad de Baños de Agua Santa, en la provincia de Tungurahua, en la zona de Chogluntus.
- La distancia entre la zona de recolección y la ciudad de Guayaquil es de 286 km.
- Se estableció un costo aproximado referencial de zarandeo, cargada y transporte de ceniza desde la zona de recolección a Guayaquil de USD \$0.18 por cada m³/km, estimado mediante la referencia de costos de Transporte (m³/km) que establece el MTOP.
- Un saco de cemento tiene el volumen igual al de una parigüela de 0.40 x 0.40 x 0.20, es decir 0.032 m³.
- Un m³ de ceniza, transportada a razón del costo estimado (18 centavos m³/km) multiplicado por los kilómetros establecidos (286 km) conllevaría a un costo de USD \$51,48 cada m³ de ceniza transportada a la obra.
- Un saco de cemento transportado, tiene el volumen de 0.032 m³, por regla de tres podemos determinar que 31.25 sacos de cemento equivalen a un metro cúbico, el cual sería reemplazado por ceniza volcánica.

- Por lo tanto, el costo de USD \$ 51.48, dividido para la 31.25 sacos (que conforman un metro cúbico) corresponde a USD \$ 1.65 por cada saco de ceniza volcánica.
- De acuerdo al diseño de hormigón $f'c=350$ realizado, se requerían 10.67 sacos de cemento para elaborar un m³ de hormigón.
- El volumen total de obra (14,265.36 m³ de hormigón estructural $f'c= 350$) representarían la utilización de 152,239.90 sacos de cemento.
- Si aplicamos ceniza volcánica, reemplazando el 10% del cemento por la ceniza volcánica en estado crudo, la cantidad se vería reducida de *152,239.90 sacos de cemento a 137,015.91 sacos de utilización.
- Esto representa la adquisición de 15,223.99 sacos menos.
- Si cada saco vale \$7,65, entonces se tiene un ahorro de USD \$ 116.462,52.
- Aplicando el costo de la ceniza previamente establecido (USD \$1.65), el costo total de transporte y recolección de la misma al reemplazar el 10% del cemento total utilizado es de USD \$ 25,199.58.
- La diferencia de ambos valores establecidos, que representa el valor de ahorro real, corresponde a USD \$ 91,343.94. Representando un 7,84% de ahorro en el rubro de Hormigón Estructural $f'c=350$.

OBRA REFERENCIAL: CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RIO DAULE, QUE INCLUYE PASO ELEVADO EN LA AV. SAMBORONDON, VIA DE ACCESO, PUENTE VIA DE ACCESO, PASO ELEVADO SOBRE LA AV. NARCISA DE JESUS MARTILLO MORÁN Y VIADUCTO HACIA LA AV. JOSE MARIA EGAS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM2	M3	773,49	320,35	247.788,20
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM3	M3	2.382,60	320,35	763.266,92
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM4	M3	1.675,05	320,35	536.603,02
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM5	M3	5.187,00	320,35	1.661.655,45
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM6	M3	850,76	320,35	272.540,97
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM7	M3	1.782,87	320,35	571.140,80
HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F'c= 350 KG/CM8	m3	61,18	320,35	19.599,82

HORMIGÓN ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND CLASE "A" F´C= 350 KG/CM9	M3	1.552,40	320,35	497.312,30
SUBTOTAL HORMIGON F´C= 350 KG/CM2				14.265,36
COSTO TOTAL DE LA SOLUCION VIAL				83.501.285,16

ANALISIS ECONOMICO DE CENIZA VOLCANICA TRANSPORTADA DESDE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
TRANSPORTE DE CENIZA VOLCANICA; INC. ZARANDEADA Y CARGADA	M3/KM	286,00	0,18	51,48
COSTO POR SACO DE CENIZA	M3	0,032	51,48	1,65

ANALISIS ECONOMICO DE AHORRO REEMPLAZANDO 10% DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR CENIZA VOLCANICA

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
VOLUMEN TOTAL DE HORMIGON F´C= 350 KG/CM2	M3	14.265,36		
CANTIDAD CORRESPONDIENTE DE CEMENTO EN SACOS DE 50 KG	SACO	152.239,90	7,65	1.164.635,25

CANTIDAD DE CEMENTO NECESARIA UTILIZANDO CENIZA VOLCANICA (10%)	SACO	137.015,91	7,65	1.048.171,72
AHORRO DE CEMENTO REEMPLAZADO POR CENIZA	SACO	15.223,99	7,65	116.463,52
COSTO DE CENIZA TRANSPORTADA DESDE TUNGURAHUA	SACO	15.223,99	1,65	25.119,58
AHORRO TOTAL EN COSTO DE CEMENTO REEMPLAZADO POR CENIZA VOLCANICA				91.343,94

PORCENTAJE DE AHORRO DEL MONTO GLOBAL DEL HORMIGON F´C= 350 KG/CM2 DE LA OBRA

DESCRIPCION	TOTAL
MONTO TOTAL DE HORMIGON SIN CENIZA	1.164.635,25
MONTO TOTAL DE HORMIGON CON CENIZA	1.048.171,72
DESCUENTO POR UTILIZACION DE CENIZA	91.343,94
PORCENTAJE DE AHORRO UTILIZANDO CENIZA VOLCANICA	7,843%

Tabla 25: Análisis Económico Propuesto aplicado

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La ceniza volcánica en estado crudo es un material que podría ser aprovechado en diferentes situaciones para ser aplicada a mezclas de hormigón por su potencial aporte en diferentes ámbitos. Al agregar ceniza en diferentes proporciones a los diseños de hormigón $f'c= 210$ y $f'c=350$ se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1- La resistencia a la flexión se vio mejorada un 35% en comparación a la alcanzada en la muestra patrón (sin comprometer la resistencia a la compresión del diseño). Esta mejora es de gran importancia debido a la ductilidad presentada en el material, la ductilidad de un material puede ser definida como su capacidad de resistir esfuerzos sin romperse, de aquí la posible aplicación de estos resultados en diferentes escenarios, sobre todo ante sismos.
- 2- La aplicación de ceniza volcánica en estado crudo podría permitir además un ahorro económico del 7,8% del costo del m³ de hormigón $f'c= 350$, siendo este un porcentaje de gran importancia.
- 3- Pasado cierto límite de adición, la ceniza deja de aportar a las características mecánicas del hormigón $f'c= 350$ y perjudica la capacidad de resistir esfuerzos de compresión y flexión.
- 4- La ceniza volcánica en estado crudo se comporta de diferente manera dependiendo de la cantidad de masa cementante en el volumen total de la mezcla de hormigón.
- 5- Es de suma importancia estudiar en más detalle las características e identificar los diferentes yacimientos de puzolana en el país, además de las características de la ceniza volcánica que podría ser puzolana.
- 6- Este material de construcción se sugiere sea normado y aprovechado para la utilización en localidades donde haya disponibilidad y que son constantemente afectadas por erupciones volcánicas. Al ser un país volcánico, se podrían crear y normar métodos de recolección de ceniza para su posterior comercialización y utilización en la construcción.

6.2 Recomendaciones

Debido a que esta investigación se enfocó en los ensayos de resistencia y una aplicación económica real al mercado ecuatoriano, hay factores que todavía pueden tomarse en cuenta para futuras investigaciones:

1. Se recomienda estudiar cómo afecta la ceniza volcánica después de ser calcinada.
2. Se pueden analizar otros factores de reacción ante la ceniza, como la trabajabilidad de las mezclas con ceniza, la resistencia a los sulfatos de la mezcla, la defensa ante agua de mar y por consiguiente su aplicación a obras portuarias, la reducción de agrietamiento de la mezcla y resistencia a corrosión del acero y abrasión.
3. Se sugiere analizar cómo actúa la ceniza en hormigones de diferentes resistencias que también son aplicados a obras, $f'c=280$ y $f'c= 320$ por ejemplo, así como su adición en menores proporciones (menos del 5%) a mezclas de hormigón estructural de $f'c= 210$.
4. Se sugiere analizar otros yacimientos de ceniza volcánica del país, y diferentes volcanes activos en sus erupciones con el fin de determinar las características del material piro-clástico que es expulsado.
5. A pesar de que en esta investigación no se lograron resultados favorables tratando la cascarilla de arroz, no deberá ser descartada su utilización para investigaciones futuras, buscando métodos de calcinación alternativos y su uso en diferentes escenarios.
6. En base a la experimentación realizada, se sugiere el análisis y actualización de las normas vigentes referentes a la puzolana, partiendo de la inferencia que debe haber sido realizada tomando en cuenta yacimientos de puzolana más no cenizas volantes en ámbitos específicos como la ceniza volcánica.
7. Se recomienda finalmente, realizar investigaciones posteriores con el fin de clasificar la ceniza volcánica del Ecuador, encontrando sus diferentes características y ubicación.

CAPÍTULO VII: BIBLOGRAFÍA

7.1 Referencias Bibliográficas

-Universidad Católica del Norte. (N/A de N/a de N/A). *UCDN, Chile*. Recuperado el 22 de Febrero de 2016, de Tecnología del hormigon: <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/conoT7.htm>

-ASTM International, Norma ASTM C618. (27 de MARzo de 2012). *ASTM International*, Volumen 04.02. (S. C09.24, Editor) Recuperado el 22 de Febrero de 2016, de American Society for Testing Materials: <http://www.astm.org/Standards/C618-SP.htm>

-Construmática. (2016). Recuperado el 7 de Septiembre de 2016, de http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

-INDIAN INSTITUTE OF SCIENCE. (N/A de N/A de 1987). *Centre for Ecological Sciences*, Única. (CES, Editor, & C. f. Sciences, Productor) Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de IISS Indian Insitute of Science: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms09.htm>

-Ing. Carmen Terreros de Varela, P. (2006). *Materiales de Construcción* (Primera Edición ed., Vol. 1). (F.I.C.T., Ed.) Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL.

-Ing. Carmen Terreros de Varela, P. (2011). *Tecnología del Hormigón* (Primera Edición ed., Vol. 1). (ESPOL, Ed.) Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL - Centro de Difusión y Publicaciones.

-Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1981). En INEN, *Norma Técnica Ecuatoriana* (pág. 2). Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.

-Instituto Geofísico de la ESPOL. (2015). *Informe Especial Volcán Tungurahua No. 16-2015*. Escuela Politécnica Nacional, Observatorio Volcán Tungurahua. Quito: ESPOL.

-IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1 de Junio de 2006). *Catálogo compresión*. Recuperado el 22 de Febrero de 2016, de Concreto en la Obra: Resistencia a la compresión: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

-IMCYC: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1 de Diciembre de 2006). *Catálogo Flexión*. Recuperado el 22 de Febrero de 2016, de Concreto en la Obra: Resistencia a la Flexión: <http://www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2008/pdf/DICIEMBRE.pdf>

-Holcim Ecuador S.A. (7 de Septiembre de 2016). *Holcim Ecuador*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2016, de <http://www.holcim.com.ec>

-Quevedo, B. M. (2012). Universidad de San Carlos. En B. M. Quevedo, & E. d. Civil (Ed.), *La Utilización De Cáscara De Arroz Bajo el Proceso De Calcinación Controlada Como Puzolana Artificial En El Diseño De Morteros Para Acabados* (Única ed., pág. 34 (3)). Ciudad de Guatemala, Guatemala: UDSCG.

-Pozo, I. C. (1 de Febrero de 2015). Uso de Fibra de Acero en vigas se Hormigón Armado. *Uso de Fibra de Acero en vigas se Hormigón Armado , I , I*, 16. (UEES, Ed.) Ecuador, Guayas, Samborondón: Universidad de Especialidades Espíritu Santo.

-RAE. (2016). *Real Academia Española*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2016, de <http://dle.rae.es/?id=La5bCfD>