



UNIVERSAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN
SIMPLE CON REEMPLAZO PARCIAL DE PUZOLANAS OBTENIDA DE LA
CALCINACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ”**

AUTOR: Wilson Mauricio Núñez Arellano

TUTORA: Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, MSc.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE CON REEMPLAZO PARCIAL DE PUZOLANAS OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ”**, elaborado por el Sr. Wilson Mauricio Núñez Arellano, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804323168, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, MSc.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Wilson Mauricio Núñez Arellano**, con C.I. 1804323168 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE CON REEMPLAZO PARCIAL DE PUZOLANAS OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del Trabajo Experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....
Wilson Mauricio Núñez Arellano

C.I. 1804323168

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, febrero 2024



.....

Wilson Mauricio Núñez Arellano

C.I. 1804323168

AUTOR

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Wilson Mauricio Núñez Arellano de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE CON REEMPLAZO PARCIAL DE PUZOLANAS OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RASTROJO DE MAÍZ”**.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Wladimir Jose Ramirez Cabrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Maria Fernanda Pico Nunez, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto ante todo a Dios ya que por el estoy en este punto de mi vida, a mis padres Norma e Iván que me enseñaron que nada es imposible si me lo propongo igualmente a mi esposa Elizabeth y mi hijo Ezequiel que son mi motor para seguir adelante y a mis hermanos Aracelly, Byron que me han estado siempre apoyando.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado, por mantener unida a mi familia, por la salud y fortaleza que me has brindado.

Agradezco a mis padres por el esfuerzo que han hecho para que me supero y pueda cumplir mis objetivos, por su comprensión, consejos, amor y disciplina que me han brindado. Ya que han velado por mi bienestar y mi futuro obsequiándome una parte de su vida.

A mis hermanos Byron y Aracelly que me han cuidado toda mi vida dándome palabras de aliento para que siga adelante.

A mi esposa Elizabeth que siempre ha permanecido a mi lado en las buenas y en las malas, la que me ayuda a levantar cuando tropiezo siendo el complemento ideal que necesitaba en mi vida.

A mi hijo Ezequiel que es mi vida y el que me da fortaleza de seguir adelante superando las adversidades que se me presentan.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2. Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	6
2.1 Materiales	6
2.1.1 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 1:	6
2.1.2 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 2:	7
2.1.3 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 3:	8
2.2. Métodos	8
2.2.1 Fase Preliminar	8
2.2.2 Fase I: Investigación de laboratorio	9
2.2.3 Fase II: Ensayos a compresión del hormigón	17
2.2.4 Fase III: Investigación comparativa	18
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1 Análisis y discusión de los resultados	19
3.1.1 Ensayos a los agregados fino y grueso	19
3.1.2 Ensayo de la densidad real del cemento	28
3.1.3 Ensayo de la densidad real de la ceniza de rastrojo de maíz	29

3.1.4 Dosificación del hormigón $f'c$ 240 Kg/cm ² y con ceniza de rastrojo de maíz	31
3.1.5 Propiedades del hormigón en estado fresco	34
3.1.6 Propiedades del hormigón en estado endurecido	38
3.1.7 Comparación de resistencia de probetas de hormigón simple con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz.....	50
3.1.7 Costo y beneficio de probetas	53
3.2. Verificación de hipótesis	55
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.1 CONCLUSIONES.....	56
4.2 RECOMENDACIONES.....	57
C. MATERIALES DE REFERENCIA	59
Referencias Bibliográficas	59
Anexos.....	61

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1.-	Probetas a ensayar	9
TABLA 2.-	Porcentaje de pasta según asentamiento.....	14
TABLA 3.-	Relación agua/cemento respecto a su resistencia	15
TABLA 4.-	Densidad óptima nomenclatura	16
TABLA 5.-	Número de capas para los cilindros.....	17
TABLA 6.-	Golpes según el diámetro de los cilindros.....	17
TABLA 7.-	Análisis granulométrico del agregado fino.....	19
TABLA 8.-	Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	20
TABLA 9.-	Densidad aparente suelta y compacta del agregado fino.....	22
TABLA 10.-	Densidad aparente suelta y compacta del agregado grueso.....	22
TABLA 11.-	Densidad aparente compactada de la mezcla (arena y grava)	23
TABLA 12.-	Densidad Real del Agregado Fino.....	24
TABLA 13.-	Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	25
TABLA 14.-	Densidad Real del Agregado Grueso	26
TABLA 15.-	Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.....	26
TABLA 16.-	Contenido de Humedad Del Agregado Fino	27
TABLA 17.-	Contenido de Humedad Del Agregado Grueso	27
TABLA 18.-	Densidad Real Del Cemento	28
TABLA 19.-	Densidad Real De La Ceniza.....	29
TABLA 20.-	Contenido de Humedad y Capacidad de Absorción de la ceniza de rastrojo de maíz.....	30
TABLA 21.-	Dosificación al peso del hormigón f'c 240kg/cm ²	31
TABLA 22.-	Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 6% de ceniza de rastrojo de maíz.....	31
TABLA 23.-	Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 8% de ceniza de rastrojo de maíz.....	32
TABLA 24.-	Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 10% de ceniza de rastrojo de maíz	32
TABLA 25.-	Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 12% de ceniza de rastrojo de maíz	33
TABLA 26.-	Propiedades del Hormigón Simple en Estado Fresco.....	34
TABLA 27.-	Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 6% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz.....	34

TABLA 28.-	Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 8% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz.....	35
TABLA 29.-	Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 10% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz.....	35
TABLA 30.-	Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 12% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz.....	36
TABLA 31.-	Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 7 días.....	38
TABLA 32.-	Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 14 días.....	39
TABLA 33.-	Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 28 días.....	40
TABLA 34.-	Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 7 días	41
TABLA 35.-	Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 14 días	44
TABLA 36.-	Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 28 días	47
TABLA 37.-	Comparación de resistencia de probetas de hormigón normal con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz.....	50
TABLA 38.-	Precios Unitarios del Hormigón Simple $f'c$ 240kg/cm ²	53
TABLA 39.-	Precios Unitarios del Hormigón con 6% de ceniza de rastrojo de maíz.....	54
TABLA 40.-	Análisis costo- beneficio	55

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICO 1.	Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	19
GRÁFICO 2.	Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	21
GRÁFICO 3.	Densidad aparente compactada de la mezcla (arena y grava)	24
GRÁFICO 4.	Resistencia a compresión a los 7 días con ceniza de rastrojo de maíz.....	42
GRÁFICO 5.	Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 7 días.....	42
GRÁFICO 6.	Comparación de densidades a los 7 días de ceniza de rastrojo de maíz.....	43
GRÁFICO 7.	Resistencia a compresión a los 14 días con ceniza de rastrojo de maíz.....	45
GRÁFICO 8.	Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 14 días.....	45
GRÁFICO 9.	Comparación de densidades a los 14 días de ceniza de rastrojo de maíz.....	46
GRÁFICO 10.	Resistencia a compresión a los 28 días con ceniza de rastrojo de maíz.....	48
GRÁFICO 11.	Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 28 días	48
GRÁFICO 12.	Comparación de densidades a los 28 días de ceniza de rastrojo de maíz.....	49
GRÁFICO 13.	Comparación de resistencia del hormigón simple y reemplazo parcial de cemento con ceniza de rastrojo de maíz a los 7, 14 y 28 días	51
GRÁFICO 14.	Resistencia del hormigón a los 7, 14 y 28 días.....	51
GRÁFICO 15.	Densidad del hormigón a los 7, 14 y 28 días	52

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se investiga la reducción del cemento ya que produce emanación de CO₂ en la fabricación, tomando como alternativa un reemplazo parcial con cenizas de rastrojo de maíz para la elaboración del hormigón simple, con la finalidad de aumentar la resistencia y así reducir la contaminación.

Se calcinó el rastrojo de maíz a temperaturas controladas entre 500 a 750 grados centígrados, se obtuvo la ceniza, se elaboraron los ensayos para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, ceniza de rastrojo de maíz y el cemento, utilizando normas NTE INEN, se demostró que los materiales eran óptimos, a continuación, se calculó la dosificación para el hormigón simple y con 6, 8, 10 y 12 por ciento de ceniza. Se realizó 12 probetas para cada dosificación por intervalos de tiempo de 7, 14 y 28 días dándonos en total 60 probetas.

Se continuó con los ensayos a compresión de las probetas anteriormente seleccionadas a los 7, 14 y 28 días de curación, las probetas de hormigón con 6 por ciento de ceniza presentó resultados positivos a los 28 días pues alcanzó una resistencia de 256.77 Kg/cm² que supera la resistencia obtenida de hormigón simple de 246.00 Kg/cm², en contraste, la resistencia del 8, 10 y 12 por ciento con valores de 210.93, 207.27, 206.89 Kg/cm² respectivamente, tuvo una disminución significativa, estos valores no alcanzan al límite inferior de resistencia de diseño de 228 Kg/cm². Finalmente se demostró que a mayor cantidad de ceniza disminuye la resistencia del hormigón.

Palabras clave: Cemento, Ceniza, Rastrojo de maíz, Compresión de hormigón, Dosificación de hormigón, Hormigón simple.

ABSTRACT

In the present experimental work, the reduction of cement is investigated since it produces CO₂ emanation in manufacturing, taking as an alternative a partial replacement with corn stover ashes for the production of simple concrete, with the purpose of increasing the resistance and thus reducing pollution.

The corn stover was calcined at controlled temperatures between 500 to 750 degrees Celsius, the ash was obtained, the tests were carried out to know the physical and mechanical properties of the aggregates, corn stover ash and cement, using NTE INEN standards. It was shown that the materials were optimal, then the dosage was calculated for simple concrete and with 6, 8, 10 and 12 percent ash. 12 test tubes were made for each dosage for time intervals of 7, 14 and 28 days, giving us a total of 60 test tubes.

The compression tests of the previously selected specimens were continued at 7, 14 and 28 days of curing. The concrete specimens with 6 percent ash presented positive results at 28 days as they reached a resistance of 256.77 Kg/cm², which exceeds the resistance obtained from simple concrete of 246.00 Kg/cm², in contrast, the resistance of 8, 10 and 12 percent with values of 210.93, 207.27, 206.89 Kg/cm² respectively, had a significant decrease, these values do not reach the limit lower design resistance of 228 Kg/cm². Finally, it was shown that the greater the amount of ash, the lower the strength of the concrete.

Keywords: Cement, Ash, Corn stubble, Concrete compression, Concrete dosage, Simple concrete.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

El uso del hormigón durante el Imperio Romano como elemento constructivo alcanzó un grado de satisfacción tanto en grandes y pequeñas estructuras en el siglo XIX, debido a la facilidad de conseguir arenas volcánicas con propiedades cementicias cerca de Roma, además de la gran habilidad constructiva que poseían.[1]

Consecuentemente a finales del siglo XVIII con el descubrimiento de lo que se conoce como aglomerantes modernos se entra en una época definitiva de la recuperación del hormigón y entre 1724-1792 según John Smeaton [2] descubrió un buen comportamiento hidráulico de la mezcla de cal y arcilla pues resistía a la acción del agua del mar, esta fue aplicada en la reconstrucción del faro de Eddystone en Inglaterra.[1]

Igualmente, en 1786-1861 que el científico francés Louis Vicat busco un material capaz de endurecerse bajo el agua con la intención de sustituir el mortero de fraguado lento por lo que realizó un estudio a profundidad del comportamiento de mezclas de piedra caliza con arcilla probando así de forma definitiva que el carácter hidráulico resultaba del cocer la cal arcilla. En 1817 Vicat publicó un tratado sobre la fabricación del cemento en la que daba a conocer la forma de obtener cal hidráulica a partir de la piedra caliza, el método usado para apagar la cal y mezclarla con arcilla pura y agua, obteniendo así una masa pegajosa en forma de bolas, finalmente realizo una explicación de la forma de introducir esta masa pegajosa al horno alcanzando un material nuevo de cualidades diversas. [2]

Seguidamente en 1824 Joseph Aspdin y James Parker patentaron el primer Cemento Portland elaborado a partir de caliza arcillosa y carbón al ser calcinados a temperaturas altas. Su nombre Portland corresponde a su color grisáceo puesto que es muy similar a la piedra de la isla de Portland del canal inglés. En 1845 Isaac Jonhson mejoró el

desarrollo de producción al aumentar la temperatura de calcinación, obteniendo así un prototipo de cemento moderno como resultado de la mezcla de caliza y arcilla calcinada dando así la formación del denominado Clinker. [3]

Con lo que en la actualidad el cemento se fabrica a partir de la unión de materiales inorgánicos y minerales, que al ser molidos y combinados con agua forman pastas que fraguan y endurecen por medio del hidrólisis, obteniendo así productos resistentes y estables en el aire como en el agua. Su endurecimiento se debe a los silicatos cálcicos hidratados y de aluminatos hidratados generados en la combinación entre el agua y los constituyentes del cemento. Esto ha hecho que el cemento sea un material importante en la construcción de edificios e infraestructuras. Además, es el adhesivo más barato y versátil por su excelencia y propiedades físicas y mecánicas que son aprovechadas en multitud de usos. [4] [5]

En otro aspecto Holcim Ecuador es una industria líder en construcción, producción de cemento, concreto y agregados que labora en el país desde 2004, ubicándose en la ciudad de Guayaquil como sede de sus oficinas administrativas. Esta cuenta con 1171 empleados, dos plantas integradas de cemento, 7 plantas de hormigón fijas y una planta de agregados.[6]

Viendo que en la industria de la construcción los componentes vitales son el cemento y su aplicación; el hormigón, el mismo que se ha desarrollado a nivel mundial a través de varias formas en su aplicación, convirtiéndose así en el material de mayor consumo después del agua. Cada año a nivel mundial se emplean 1.6 billones de toneladas de cemento al año, 10 billones de toneladas de roca y arena y un billón de toneladas de agua. Sin embargo, su utilización causa grandes problemas medioambientales como la enorme cantidad de energía consumida y CO₂ liberado durante su proceso de fabricación.[7] [8]

Es por ello que en la investigación titulada “Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador” se evidenció que la producción de una tonelada de cemento consume 3.191,95MJ de energía y genera 510,57kgCO₂. Además, se demostró que el proceso que emite mayores emisiones de CO₂ es la fabricación del Clinker por sus reacciones químicas en el proceso de calcinación de caliza y por la quema de combustible fósil, por otro lado, el mayor consumo energético se da en el proceso de clinkerización.[9]

Además, el uso globalizado de cemento nos ha llevado a buscar formas que ayuden a reducir el impacto ambiental por CO₂ dado que para producción de 1kg de cemento se emite 1Kg de CO₂ aproximadamente. Una forma de reducir la huella de carbono es sustituir parcialmente el cemento en la mezcla de hormigón por alternativas más apropiadas como las puzolanas industriales o subproductos. La manera más viable de mejorar las propiedades de puzolanas provenientes de desechos agrícolas es realizar una calcinación controlada en incineradores rústicos entre 400 - 800°C, pues a estas temperaturas existe una garantía que se forme la sílice en fases amorfas, además que tenga mucha reactividad. Cabe recalcar que la temperatura es un parámetro crítico pues las temperaturas menores a 400°C pueden generar problemas de trabajabilidad y bajas resistencias debido a la existencia de partículas sin quemar, por otro lado, las temperaturas mayores a 800°C forman componentes cristalinos en la ceniza y por tanto con menor reactividad.[10][11]

Con lo que en la investigación titulada “Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia” se evidencio que el crecimiento de la población hacia los ejes centrales de la urbanización genera mayor cantidad de residuos con lo que se estima que por cada persona producen 0.7 kg/hab al día de residuos habiendo una deficiencia en la manera de ser desechado pues son arrojados en quebradas, vertederos, ríos e incinerados generando así problemas de salud ocasionada por esta mala práctica.[12]

Y según el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos en Ecuador se generan cinco millones de toneladas de desechos al año, donde el 56.2% representa a residuos orgánicos y 43.8% a inorgánicos. La deficiente clasificación ha provocado que estos sean almacenados en botaderos o sitios de disposición final que al estar confinados bajo condiciones anaeróbicas se descomponen generando lixiviados y gases de efecto invernadero. [13][14]

Por otro lado, en la investigación realizada en Lima-Perú con el título “*Análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto $F'c=210$ kg/cm² adicionando ceniza de coronta de maíz para edificaciones*” se evidenció que al emplear ceniza de coronta de maíz en 3,5 y 7% del peso del cemento en la mezcla de concreto presenta los siguientes resultados de resistencia a compresión a los 28 días. Con el 3% un valor de 204.2 kg/cm², Con el 5% un valor de 238.9 kg/cm² y con el 7 % un valor de 193.6 kg/cm², demostrando así que el porcentaje idóneo es el 5% pues la resistencia alcanzada supero a la resistencia de diseño de 214.8 kg/cm². [15]

Finalmente, en la investigación realizada en Ambato -Ecuador de 2023 María Miranda con el título “*Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional con hormigón al emplear biomasa natural torrefactada*” donde con el fin de aprovechar los recursos renovables al máximo se elaboró un hormigón con cenizas de biomasa natural en 5%,10%, 15% y 20% se evidenció que, a los 28 días, el hormigón con 10% de biomasa tuvo la mayor resistencia a compresión en comparación con el hormigón tradicional. [16]

1.2. Objetivos

Objetivo General

Analizar la resistencia a compresión entre hormigón simple y hormigón reemplazándolo parcialmente con ceniza de rastrojo de maíz.

Objetivos Específicos

- Comparar las propiedades del hormigón fresco elaborado con ceniza de rastrojo de maíz con porcentajes de 6,8,10,12% y el hormigón simple.
- Determinar la resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días de edad de las probetas de hormigón simple y con ceniza de rastrojo de maíz.
- Realizar un análisis costo-beneficio de hormigón simple y hormigón con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Los materiales para el desarrollo del presente trabajo experimental se puntualizarán a continuación exceptuando los materiales que son considerados como herramientas menores:

2.1.1 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 1:

Objetivo 1: Comparar las propiedades del hormigón fresco elaborado con ceniza de rastrojo de maíz con porcentajes de 6,8,10,12% y el hormigón simple.

Primeramente, se realizó un tratamiento al rastrojo de maíz comenzando con la eliminación de impurezas por medio del lavado y se lo dejó en agua con cal por 30 min para eliminar las grasas del maíz luego se procedió a la quema del material en un contenedor de acero con una temperatura entre 500°C a 750°C con un pirómetro industrial (Infrared DT-600) se prosiguió a moler las cenizas con molino(Corona).

Luego del tratamiento del material se realizó los ensayos respectivos según las normas INEN y ASTM.

Se comenzó con granulometría donde se colocó la muestra del agregado fino y grueso en un horno eléctrico (Humboldt) por 24 horas a una temperatura de 110°C con lo que se procedió a tamizar los materiales en tamices redondos de 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y en tamices cuadrados de 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4 respectivamente donde se los colocó en orden ascendente en finos se los hizo en la tamizadora y los gruesos a mano.

Se continuo con la densidad real y Absorción del agregado fino donde se saturó la muestra por 24 horas en agua luego se procedió a secarlo a temperatura ambiente cuando estuvo seco por fuera se ocupó el cono de absorción de arena con el pistón para

verificar si se encontraba en estado saturado superficialmente seco luego se colocó esta muestra en un picnómetro de vidrio de Boro 33 y se la peso en una balanza electrónica (CHQ-DJ) con lo que se obtuvo la densidad.

Para la densidad Real y Absorción del agregado grueso se utilizó una canastilla metálica de diámetro interno 203 mm hecha de alambre #8 reforzado tipo aro.

Se continuo con la densidad real del cemento colocando la muestra en el picnómetro y pesándolo en una balanza electrónica (CHQ-DJ) con lo que se determinó la densidad del cemento.

Para el ensayo de la densidad aparente suelta y compactada del agregado fino, grueso y mezcla se utilizó una balanza electrónica (NFC JWI-250) para pesar la muestra y se la introdujo en un molde metálico utilizado para densidad aparente de diámetro de 30cm con un peso de 9.83 kg con lo que se realizó a golpearla con una varilla compactadora y se obtuvo los datos necesarios para la dosificación.

Se elaboró la mezcla con la dosificación anteriormente mencionada en una concretera de hierro fundido y se comprobó su asentamiento con el cono de Abrams y una varilla compactadora después se colocó la mezcla en moldes cilíndricos de hierro de diámetro interno de 10 cm y 20 cm de altura se dejó secar por un día por último se los desmoldo y se tomó su peso en una balanza (NFC JWI-250) luego se introdujo las probetas en la cámara de curado.

2.1.2 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 2:

Objetivo 2: Determinar la resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días de edad de las probetas de hormigón simple y con ceniza de rastrojo de maíz.

Para el ensayo de compresión se utilizó la máquina de compresión (Shimadzu Concreto 2000x) ya que por medio de esta se realizó las pruebas en los 7,14 y 28 días con, lo que se determinó la resistencia que tuvieron en los días respectivos y se conoció la carga aplicada para llegar a estas.

2.1.3 Materiales y equipos utilizados para el objetivo 3:

Objetivo 3: Realizar un análisis costo-beneficio de hormigón simple y hormigón con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz.

Para la obtención del costo-beneficio se utilizó una laptop (Legion 515MH05H) por medio de la introducción de datos en un software ingenieril.

2.2. Métodos

El presente trabajo experimental busca realizar el análisis comparativo de la resistencia a compresión entre hormigón simple y reemplazándolo parcialmente con ceniza de rastrojo de maíz para su realización, esta se ha dividido en las siguientes fases:

2.2.1 Fase Preliminar

En esta fase se buscó información por medio de la investigación bibliográfica acerca del procesamiento del rastrojo del maíz por medio de artículos, revistas científicas y paginas online, además se recolecto el rastrojo de maíz para limpiarlo de residuos, limpieza profunda con cal e incinerarla con lo que se obtuvo la ceniza que se usó en la mezcla de hormigón.

- **Recolectar Información**

Se extrajo la información acerca de la historia del hormigón, cemento, puzolanas, desechos del rastrojo de maíz y reemplazo parcial de la ceniza del rastrojo de maíz siendo sustituto parcial del cemento que sirvió para la fase dos.

- **Recolección de rastrojo de maíz para su calcinación**

Se recolecto rastrojo de maíz procedentes de cultivos de la Parroquia Montalvo, con lo que se continuo con la respectiva limpieza de residuos, se sumergió por 30 minutos en agua con cal para eliminar las grasas que posee y se lo dejo secar, finalmente se lo quemo en un barril de acero con una temperatura aproximada de 500 a 750 °C para la obtención de la ceniza.

Una vez realizada la investigación bibliográfica previa, se planteó las condiciones de estudio, de acuerdo a la siguiente tabla de experimentos.

TABLA 1.- Probetas a ensayar

Días de Ensayo	% de Reemplazo	Cantidad de probetas	Subtotal
7	0	4	20
	6	4	
	8	4	
	10	4	
	12	4	
14	0	4	20
	6	4	
	8	4	
	10	4	
	12	4	
28	0	4	20
	6	4	
	8	4	
	10	4	
	12	4	
		Total	60

2.2.2 Fase I: Investigación de laboratorio

En esta fase por medio de la investigación de laboratorio se realizó ensayos de laboratorio a los agregados, ceniza de rastrojo de maíz y cemento con lo que se encontró las densidades para la elaboración de las dosificaciones de las probetas donde se ocupó el método cuantitativo para la obtención de esta, según las normas NTE INEN como:

- **Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (ASTM C 136-1 y NTE INEN 696:2010)**

Se utilizó para la repartición de los agregados finos como gruesos basándose en su tamaño por medio de tamices, este análisis se colocó las muestras en el horno por 24 horas a una temperatura de 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$ con lo que se puso en los tamices de menor tamaño al mayor en forma ascendente para continuar colocándolos en la tamizadora entre 5 a 10 minutos y se obtuvo los porcentajes que se quedan en cada malla. [17]

- **Densidad real y capacidad de absorción de la arena (ASTM C 128 y NTE INEN 856:2010)**

Para el respectivo ensayo la muestra se sometió a una temperatura de 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$ cuando se enfrió se procedió a colocarla en una bandeja donde esté completamente sumergida en agua por 24 horas. Después se sacó del agua la muestra que se encuentra saturada y se secó a temperatura ambiente para llegar a saturado superficialmente seco (SSS). [18]

Se continuo con el ensayo para determinar la humedad superficial que consto de colocar la muestra (SSS) sobre una bandeja donde se colocó en tres capas y cada una de estas se compacto con 25 golpes con un pistón a una altura de 5mm y finalmente levantando el cono donde la muestra respectivamente se desprendió parcialmente con lo que llego a la condición de superficie seca. [18]

Se procedió a coger 500 gr de (SSS),se introdujo en el picnómetro con agua que llego hasta la medida de 500ml, se lo giro ligeramente con una franela con lo que se eliminó vacíos formados con el aire con lo que se pesó y se realizó la misma metodología solo utilizando agua con lo que se obtuvo el peso para el cálculo de la densidad, finalmente se cogió tres muestras y se pesó con lo que se colocó en el horno por 24 horas a temperatura de 110 °C y se tomó su peso nuevamente con lo que se obtuvo la capacidad de absorción. [18]

Se utilizaron las siguientes fórmulas para la obtención de la densidad real y la capacidad de absorción:

$$\text{Densidad Real (DRF)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$\text{Capacidad de Absorción (CA\%)} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

Donde:

A = masa de la muestra seca, g.

B = masa del picnómetro lleno con agua, g.

S = masa de la muestra SSS

- **Densidad real y capacidad de absorción del ripio (ASTM C 127 y NTE INEN 857:2010)**

Para el respectivo ensayo la muestra se sometió a una temperatura de 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$ cuando se enfrió se colocó en una bandeja donde estuvo completamente sumergida en agua por 24 horas. Después se sacó del agua la muestra que se encontró saturada y se secó con una franela para la condición saturado superficialmente seco (SSS). Se procedió a colocarla en una canastilla donde se tomó los datos del peso en el aire sumergido completamente en el agua, se continuó tomando tres muestras y se colocó por 24 horas en el horno a una temperatura de 110°C con lo que se tomó sus pesos.[19]

Se utilizaron las siguientes fórmulas para el respectivo cálculo:

$$\text{Densidad Real (DRG)} = \frac{B}{(B-C)}$$

$$\text{Capacidad de Absorción (CA\%)} = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

A = masa de la muestra seca al horno en el aire, en gramos

B = masa de la muestra SSS en el aire, en gramos

C = masa aparente en agua de la muestra SSS, en gramos

- **Densidad real del cemento (ASTM C 188 y NTE INEN 156:2010)**

Este ensayo ocupó el método del picnómetro, donde se colocó el cemento y la gasolina hasta llegar a la medida de 500 ml, donde se roto para la eliminación de las burbujas para pesarla.[20]

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Real (DRC)} = \frac{\text{Masa de cemento (g)}}{\text{Volumen de gasolina desalojada (cm}^3\text{)}}$$

- **Densidad aparente suelta y compacta de los agregados y de la mezcla (ASTM C 29 y NTE INEN 858:2010)**

Para el ensayo se utilizó agregado fino y grueso donde anticipadamente se colocó en el horno por 24 horas a 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$, luego se procedió a colocar el agregado dividiéndolo en tres capas en un molde metálico y se golpeó 25 veces con una varilla de punta redonda con esta misma se enrazo y se tomó sus pesos, se lo repitió dos veces por cada agregado y luego uniendo los agregados.[21]

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Aparente (DA)} = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

G = masa del agregado + molde, en kilogramos

T = masa del molde, en kilogramos

V = volumen del molde en m³

- **Contenido de humedad (ASTM C 566 y NTE INEN 862:2010)**

En este ensayo se colocó muestras previamente pesadas en un horno a 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas con lo que este elimino la humedad y se obtuvo el peso de la muestra sin agua esto se expresó en porcentaje.[22]

Fórmula utilizada:

$$\text{Contenido Humedad (CH\%)} = \frac{(W - D)}{D} * 100$$

Donde:

W = masa de la muestra en gramos.

D = masa de la muestra seca en gramos.

- **Elaboración de probetas de hormigón simple y adición de ceniza de rastrojo de maíz.**

Con los datos obtenidos de las propiedades de los materiales se realizó la mezcla para un hormigón de 240kg/cm² y adicionado 6%, 8%, 10% y 12% de ceniza de rastrojo de maíz con lo que se sustituyó parcialmente el cemento por medio del método de densidades optimas que se utilizó para un diseño de hormigones con su resistencia específica.

- **Contenido de humedad (ASTM C 566 y NTE INEN 862:2010)**

En este ensayo se colocó muestras previamente pesadas en un horno a 110°C con un error de $\pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas con lo que este elimino la humedad y se obtuvo el peso de la muestra sin agua esto se expresó en porcentaje.[22]

Fórmula utilizada:

$$\text{Contenido Humedad (CH\%)} = \frac{(W - D)}{D} * 100$$

Donde:

W = masa de la muestra en gramos.

D = masa de la muestra seca en gramos.

- **Elaboración de probetas de hormigón simple y adición de ceniza de rastrojo de maíz.**

Con los datos obtenidos de las propiedades de los materiales se realizó la mezcla para un hormigón de 240kg/cm² y adicionado 6%, 8%, 10% y 12% de ceniza de rastrojo de maíz con lo que se sustituyó parcialmente el cemento por medio del método de densidades optimas que se utilizó para un diseño de hormigones con su resistencia específica.

Se utilizó las siguientes fórmulas para la elaboración de la dosificación siguiendo el determinado orden del cálculo:

- **Densidad real de la mezcla**

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

- **Porcentaje óptimo de vacíos**

$$POV\% = \frac{(DRM - DOM)}{DRM}$$

- **Cantidad de pasta**

TABLA 2.- Porcentaje de pasta según asentamiento

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta (%)
0 – 3	POV + 2% + 0.03(POV)
3 – 6	POV + 2% + 0.06(POV)
6 - 9	POV + 2% + 0.08(POV)
9 – 12	POV + 2% + 0.11(POV)
12 – 15	POV + 2% + 0.13(POV)

Fuente:[23]

$$CP = POV + 2\% + 0.08(POV)$$

- **Relación agua cemento**

TABLA 3.- Relación agua/cemento respecto a su resistencia

Resistencia a los 28 días (kg/cm²)	Relación w/c
320	0.51
300	0.52
280	0.53
250	0.56
240	0.57
210	0.58
180	0.62
150	0.7

Fuente:[23]

- **Cantidad de Cemento**

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

- **Cantidad de agua**

$$W = \frac{W}{C} * C$$

- **Cantidad de arena**

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRA * POA}{100}$$

- **Cantidad de ripio**

$$R = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100}$$

- **Dosificación al peso de los materiales**

$$\text{Dosificación (W, A, R)} = \frac{\text{cantidad de mat. de mezclado(W, A, R)} * m^3}{\text{cantidad de cemento}}$$

- **Calculo de la cantidad de materiales para un saco de cemento**

$$\text{Cantidad (W, A, R)} = \frac{\text{Dosificación (W, A, R)} * 50\text{kg}}{1}$$

- **Corrección de la dosificación por humedad**

$$\text{Corrección por humedad de la arena} = \left(\frac{CAA - CHA}{100\%} \right) * A$$

$$\text{Corrección por humedad del ripio} = \left(\frac{\text{CAR} - \text{CHR}}{100\%} \right) * R$$

$$\text{Corrección por humedad de la ceniza} = \left(\frac{\text{CA} - \text{CH}}{100\%} \right) * \text{CN}$$

TABLA 4.- Densidad óptima nomenclatura

Nomenclatura	Descripción	Nomenclatura	Descripción
DRC	Densidad real del cemento	CAA	Capacidad de absorción de la arena
DRA	Densidad real de la arena	CAR	Capacidad de absorción del ripio
DRR	Densidad real del ripio	CHA	Contenido de humedad de la arena
DSA	Densidad aparente suelta de la arena	CHR	Contenido de humedad del ripio
DSR	Densidad aparente suelta del ripio	CHN	Contenido de humedad de la ceniza
DCA	Densidad aparente compactada de la arena	CAN	Capacidad de absorción de la ceniza
DCR	Densidad aparente compactada del ripio	C	Cemento
POA	Porcentaje óptimo de la arena	W	Agua
POR	Porcentaje óptimo del ripio	A	Arena
DOM	Densidad óptima de la mezcla	R	Ripio

Se realizó la mezcla con los porcentajes obtenidos para la mezcla y después se hizo el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams donde se colocó este en una superficie plana y se lo lleno de mezcla en tres capas y en cada una de estas se golpeó 25 veces con una varilla de compactación con lo que se retiró el cono y se lo colocó al lado de la mezcla y se puso encima la varilla para medir en forma vertical el asentamiento producido.

Luego se colocó la mezcla en los moldes cilíndricos en dos capas y en cada una de estas se golpeó 25 veces con la varilla de compactación y se golpeó la parte externa con un martillo de goma de 10 a 15 veces por capa y se enrazo para tomar sus pesos respectivos luego se los desmolde al cabo de 24 horas con lo que se les colocó en la cámara de curado para su respectivo ensayo.

TABLA 5.- Número de capas para los cilindros

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de consolidación	Número de capas aproximadamente Igual profundidad
Cilindros		
Diámetro, mm(plg)		
75 a 100 (3 o 4)	Varillado	2
150(6)	Varillado	3
225(9)	Varillado	4
Hasta 225(9)	Varillado	2

Fuente: NTE-INEN 3124[24]

TABLA 6.- Golpes según el diámetro de los cilindros

Cilindros		
Diámetro del cilindro, mm(plg)	Diámetro de la varilla , mm(plg)	Número de golpes/capa
75(3) hasta < 150(6)	$10 \pm 2(3/8 \pm 1/16)$	25
150(6)	$16 \pm 2(5/8 \pm 1/16)$	250
200(8)	$16 \pm 2(5/8 \pm 1/16)$	50
250(10)	$186 \pm 2(5/8 \pm 1/16)$	75

Fuente: NTE-INEN 3124[24]

2.2.3 Fase II: Ensayos a compresión del hormigón

Durante esta fase interfirió la investigación exploratoria se realizó el ensayo a compresión basado en la norma NTE INEN 1573:2010 de las probetas elaboradas con hormigón simple y con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz a los 7, 14 y 28 días de curado, en la cual se sometió a una carga uniforme en la cara superior del cilindro con lo que aumento la carga paulatinamente hasta llegar a la rotura, finalmente se obtuvo la resistencia a cada edad mostrando así si existen un aumento o si se mantienen entre limites inferiores y superiores.

2.2.4 Fase III: Investigación comparativa

Mediante los resultados de resistencia a compresión se realizó una investigación comparativa, con ello se determinó cual es el porcentaje idóneo de reemplazo parcial de ceniza, además se analizó su comportamiento a los 7, 14 y 28 días con la finalidad de entender que es lo que pasa con los respectivos reemplazos parciales, con lo que se tuvo un panorama para la elaboración de presupuestos por medio del método cuantitativo haciendo referencia el costo-beneficio con lo que se tomó en cuenta el tiempo y costo de la producción de la ceniza y los precios a comparación del cemento en el mercado.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Para el cumplimiento de este capítulo se realizó los siguientes ensayos:

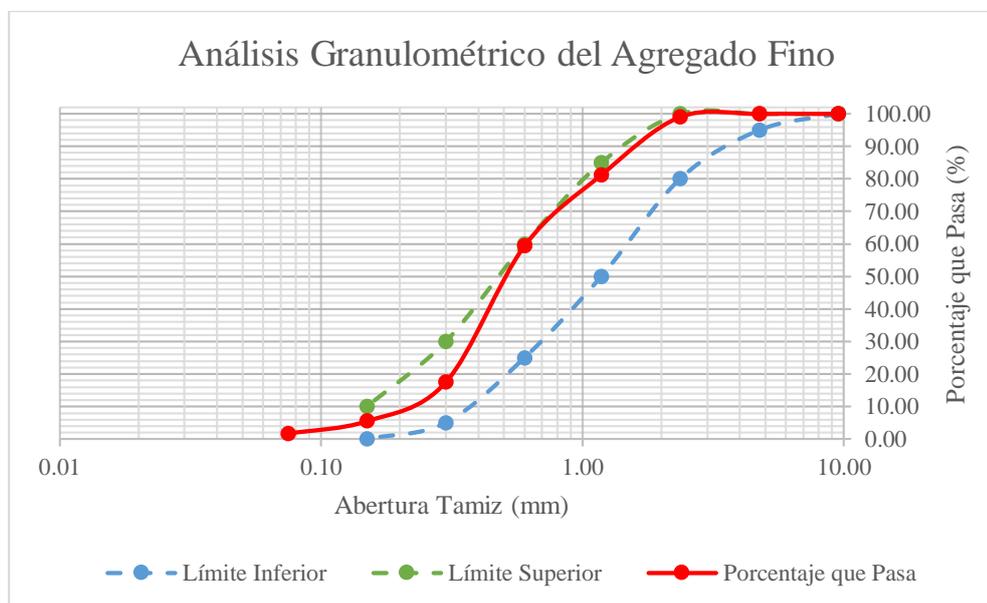
En el objetivo 1 para la obtención de las propiedades del hormigón fresco se realizó:

3.1.1 Ensayos a los agregados fino y grueso

TABLA 7.- Análisis granulométrico del agregado fino

Origen:		Cantera Las Viñas						
Fecha:		23/10/2023						
Ensayado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio						
Norma:		NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136						
Muestra (gr):		600.10		Pérdida de la muestra:			0.27%	
Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite Inferior (%) NTE INEN 872	Límite Superior (%) NTE INEN 872
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
No. 4	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	95.00	100.00
No. 8	2.36	5.66	5.66	0.94	0.94	99.06	80.00	100.00
No. 16	1.18	106.85	112.51	17.81	18.75	81.25	50.00	85.00
No. 30	0.60	130.98	243.49	21.83	40.57	59.43	25.00	60.00
No. 50	0.30	251.23	494.72	41.86	82.44	17.56	5.00	30.00
No. 100	0.15	71.79	566.51	11.96	94.40	5.60	0.00	10.00
No. 200	0.075	22.87	589.38	3.81	98.21	1.79	-	-
Bandeja		9.1	598.48	1.52	99.73	0.27	-	-
Módulo de Finura:				2.371				

GRÁFICO 1. Análisis Granulométrico del Agregado Fino



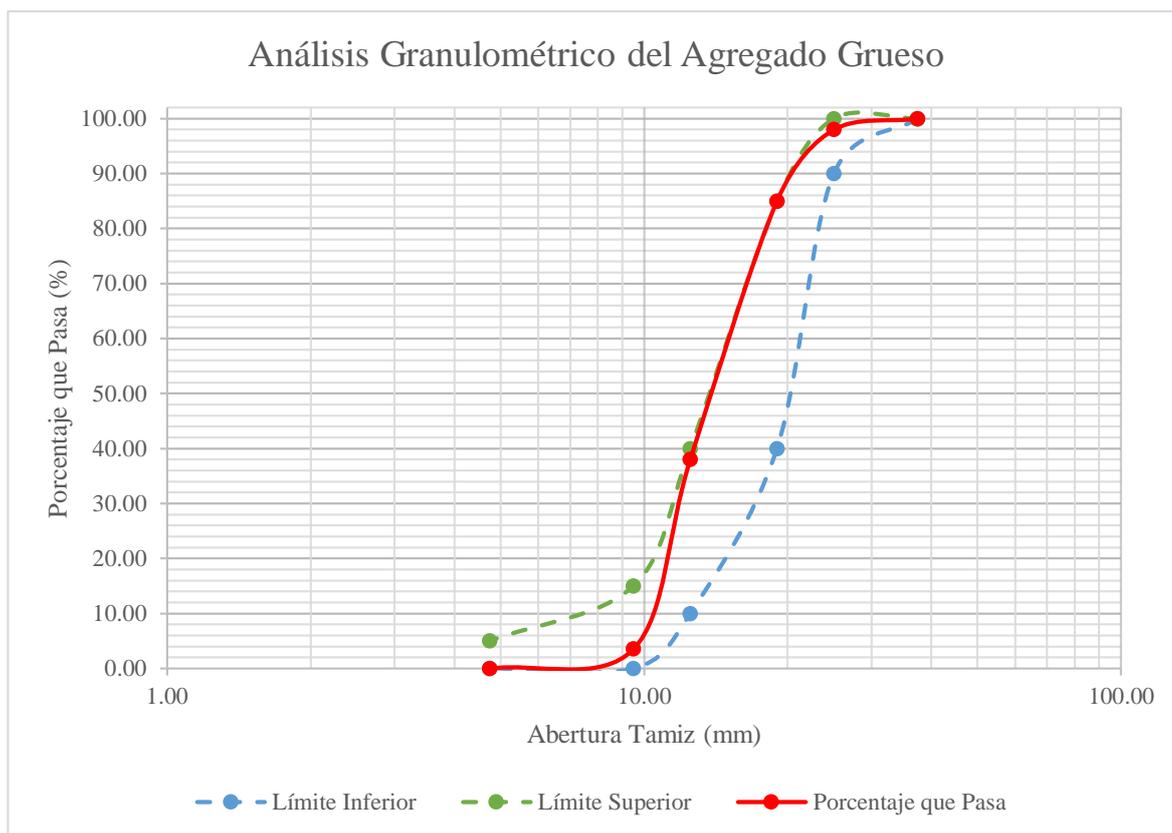
Análisis:

En la tabla 7, los datos obtenidos en el ensayo de granulometría del agregado fino con un módulo de finura de 2.37 que se encuentra dentro del rango de 2.3-3.1 y, por otra parte, en la gráfica 1 se observa que el material se encuentra entre el límite superior e inferior, basándose en la Norma NTE INEN 872 se establece que el agregado fino es idóneo para la fabricación de hormigones.

TABLA 8.- Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
Origen:		Cantera Las Viñas						
Fecha:		23/10/2023						
Ensayado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio						
Norma:		NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136						
Muestra (gr):		5080.00		Pérdida de la muestra:			0.00%	
Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite Inferior (%NTE INEN 872)	Límite Superior (%NTE INEN 872)
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	102.00	102.00	2.01	2.01	97.99	90.00	100.00
3/4"	19.00	660.00	762.00	12.99	15.00	85.00	40.00	85.00
1/2"	12.50	2388.00	3150.00	47.01	62.01	37.99	10.00	40.00
3/8"	9.50	1750.00	4900.00	34.45	96.46	3.54	0.00	15.00
No. 4	4.75	180.00	5080.00	3.54	100.00	0.00	0.00	5.00
Bandeja		0	5080.00	0.00	100.00	0.00	-	-
Tamaño Nominal Máximo:				1"				

GRÁFICO 2. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso



Análisis:

Se observa en la tabla 8, los datos obtenidos del ensayo de granulometría del agregado grueso con un tamaño nominal máximo de 1” lo que se considera aceptable. Asimismo, en la gráfica 2 se observa que el material se encuentra entre el límite superior e inferior, basándose en la Norma NTE INEN 872 se establece que el agregado grueso es idóneo para la fabricación de hormigones.

TABLA 9.- Densidad aparente suelta y compacta del agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Origen:	Cantera Las Viñas			
Fecha:	24/10/2023			
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio			
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29			
Descripción		Unidad	Valor	
Masa del recipiente:		Kg	9.95	
Altura del recipiente:		cm	28.50	
Diámetro del recipiente:		cm	29.90	
Volumen del recipiente:		dm ³	20.01	
Densidad Aparente	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Densidad Aparente (Kg/dm ³)	Densidad Aparente Promedio (Kg/dm ³)
Suelta	39.100	29.150	1.457	1.460
	39.250	29.300	1.464	
Compactada	42.250	32.300	1.614	1.614
	42.232	32.282	1.613	

TABLA 10.-Densidad aparente suelta y compacta del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Origen:	Cantera Las Viñas			
Fecha:	24/10/2023			
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio			
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29			
Fecha:	6/10/2022			
Descripción		Unidad	Valor	
Masa del recipiente:		Kg	9.95	
Altura del recipiente:		cm	28.50	
Diámetro del recipiente:		cm	29.90	
Volumen del recipiente:		dm ³	20.01	
Densidad Aparente	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Densidad Aparente (Kg/dm ³)	Densidad Aparente Promedio (Kg/dm ³)
Suelta	36.100	26.150	1.307	1.324
	36.800	26.850	1.342	
Compactada	38.830	28.880	1.443	1.449
	39.070	29.120	1.455	

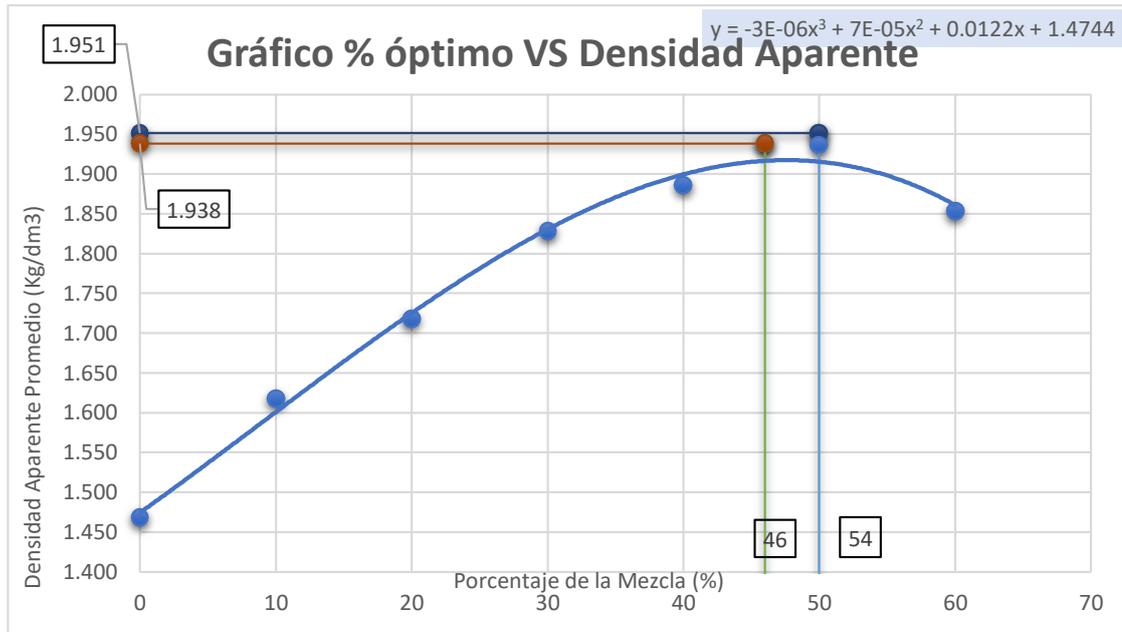
Análisis:

Se analizó en las tablas 9 y 10, los resultados de la densidad aparente promedio suelta de los agregados, teniendo así un valor de 1.460 Kg/dm³ de la arena y 1.324 Kg/dm³ de la grava, en cuanto a la densidad compacta se obtuvo valores de 1.614 Kg/dm³ y 1.449 Kg/dm³ respectivamente, con lo que se determina que por medio del varillado se reduce el porcentaje de vacíos, de igual manera esto depende del material pues el agregado fino se compacta con mayor facilidad debido a su dimensión y forma.

TABLA 11.-Densidad aparente compactada de la mezcla (arena y grava)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
Origen:		Cantera Las Viñas					
Fecha:		24/10/2023					
Ensayado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio					
Norma:		NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29					
Masa del recipiente:		9.95	Kg	Diámetro del recipiente:		29.90	cm
Altura del recipiente:		28.50	cm	Volumen del recipiente:		20.01	dm ³
Porcentaje de Mezcla (%)	Cantidad (Kg)		Agregado Fino Añadido (Kg)	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm ³)	Densidad Aparente Promedio (Kg/dm ³)
	A. Grueso	A. Fino					
		A. Grueso	A. Fino	A. Fino	Agregado Fino + Agregado Grueso		
100	0	40.00	0.00	0.00	39.320	29.370	1.468
					39.321	29.371	1.468
90	10	40.00	4.44	4.44	42.360	32.410	1.620
					42.280	32.330	1.616
80	20	40.00	10.00	5.56	44.520	34.570	1.728
					44.120	34.170	1.708
70	30	40.00	17.14	7.14	46.560	36.610	1.829
					46.520	36.570	1.827
60	40	40.00	26.67	9.52	47.360	37.410	1.869
					48.020	38.070	1.902
50	50	40.00	40.00	13.33	48.440	38.490	1.923
					48.980	39.030	1.950
40	60	40.00	60.00	20.00	46.950	37.000	1.849
					47.120	37.170	1.857
Porcentaje Máximo de Agregado Fino						50	%
Porcentaje Máximo de Agregado Grueso						50	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino						46	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Grueso						54	%
Densidad Aparente Máxima del Agregado (Mezcla)						1.951	Kg/dm ³
Densidad Aparente Óptimo del Agregado (Mezcla)						1.938	Kg/dm ³

GRÁFICO 3. Densidad aparente compactada de la mezcla (arena y grava)



Análisis:

En la tabla 11 se visualizó, los datos obtenidos de la densidad aparente óptima de la mezcla (agregado fino + grueso) con un valor de 1.93 Kg/dm³ y su porcentaje óptimo del agregado fino y grueso fue de 46% y 54% respectivamente.

TABLA 12.- Densidad Real del Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Origen:	Cantera Las Viñas		
Fecha:	25/10/2023		
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	148.40
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	648.40
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	957.32
m4 = m3 - m2	Masa de agua añadida	gr	308.92
m5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de agua	gr	646.80
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm ³ de agua	gr	498.40
DA = m6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.997
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	189.48
Msss = m2 - m1	Masa del agregado	gr	500.00
Vsss = m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	190.09
DRA = Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.630

Análisis:

Por medio de la tabla 12, el resultado de la densidad real de la arena de valor 2.63 gr/cm³, siendo este un material óptimo para la elaboración de hormigones puesto que la densidad del agregado fino no debe ser menor a 2.3 gr/cm³ basándose en el rango establecido por la norma NTE INEN 856.

TABLA 13.-Capacidad de Absorción del Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
Origen:	Cantera Las Viñas				
Fecha:	25/10/2023				
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio				
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m8	Masa del recipiente	gr	1.85	1.85	1.85
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	84.94	92.20	77.37
m10 = m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	83.09	90.35	75.52
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	83.35	90.22	76.10
m12 = m11 - m8	Masa de la muestra seca	gr	81.50	88.37	74.25
$CA = ((m10 - m12)/m12) * 100$	Capacidad de absorción	%	1.95	2.24	1.71
$CAA = (CA1 + CA2 + CA3) / 3$	Capacidad de absorción promedio de la arena	%	1.97		

Análisis:

En la tabla 13 se muestra el resultado del ensayo de absorción del agregado fino de valor 1.97 %, siendo este resultado aceptable pues se encuentra en el rango de 0.2% a 2% según la norma NTE INEN 856.

TABLA 14.-Densidad Real del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Origen:	Cantera Las Viñas		
Fecha:	25/10/2023		
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-128		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1239.00
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1165.00
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4240.00
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	2975.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.000
m5 = m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3001.00
m6 = m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1810.00
VR = (m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1191.00
DRR = m5/VR	Densidad real del ripio	gr/cm3	2.520

Análisis:

Se aprecia en la tabla 14, el resultado de densidad real del agregado grueso de valor 2.52 gr/cm³, de esta manera se consideró a este material como óptimo para la elaboración de hormigones ya que la densidad del agregado grueso no debe ser menor a 2.3 gr/cm³ basándose en el rango establecido por la norma NTE INEN 857.

TABLA 15.-Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
Origen:	Cantera Las Viñas				
Fecha:	25/10/2023				
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio				
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m7	Masa del recipiente	gr	1.90	1.90	1.90
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	96.80	89.60	93.70
m9 = m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	94.90	87.70	91.80
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	94.70	86.70	91.60
m11 = m10 - m7	Masa de la muestra seca	gr	92.80	84.80	89.70
CA = ((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	2.26	3.42	2.34
CAR = (CA1+CA2+CA3)/3	Capacidad de absorción promedio del ripio	%	2.67		

Análisis:

Se visualiza en la tabla 15, el resultado de la capacidad de absorción promedio del ripio de valor 2.67%, demostrando con ello que es un material óptimo para la elaboración de hormigones pues se encuentra entre el rango permisible de 0.2% a 4% según la norma NTE INEN 857.

TABLA 16.-Contenido de Humedad Del Agregado Fino

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Origen:	Cantera Las Viñas					
Fecha:	26/10/2023					
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio					
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566					
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor			
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
m1	Masa del recipiente	gr	1.90	1.90	1.90	7.50
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	51.30	52.00	54.90	73.70
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	49.40	50.10	53.00	66.20
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	49.92	50.91	53.32	73.30
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	48.02	49.01	51.42	65.80
CH	Contenido de Humedad	%	2.87	2.22	3.07	0.61
CHA	Contenido de Humedad promedio de la arena	%	2.72			

TABLA 17.-Contenido de Humedad Del Agregado Grueso

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Origen:	Cantera Las Viñas					
Fecha:	26/10/2023					
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio					
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566					
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor			
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
m1	Masa del recipiente	gr	1.90	1.90	1.90	7.20
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	75.00	74.10	74.30	100.90
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	73.10	72.20	72.40	93.70
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	74.70	73.90	74.10	97.10
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	72.80	72.00	72.20	89.90
CH	Contenido de Humedad	%	0.41	0.28	0.28	4.23
CHR	Contenido de Humedad promedio del ripio	%	0.32			

Análisis:

Se observa en las tablas 16 y 17, el contenido de humedad de la arena y el ripio de valor de 2.72% y 0.32% respectivamente, esto se lo obtuvo del promedio del contenido de humedad de los recipientes basándose en la norma NTE INEN 862.

3.1.2 Ensayo de la densidad real del cemento

TABLA 18.-Densidad Real Del Cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Origen:	Cantera Las Viñas		
Fecha:	26/10/2023		
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Norma:	NTE INEN 156 /ASTM C-188		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	145.40
m2	Masa del picnómetro + Cemento	gr	209.40
m3	Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	gr	567.10
m4 = m3 - m2	Masa de gasolina añadida	gr	357.70
m5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	gr	520.10
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm ³ de gasolina	gr	374.70
DG = m6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0.749
m7 = m6 - m4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	gr	17.00
Mc = m2 - m1	Masa del cemento	gr	64.00
Vc = m7/DG	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	22.68
DRC = Msss/Vsss	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2.821

3.1.3 Ensayo de la densidad real de la ceniza de rastrojo de maíz

TABLA 19.-Densidad Real De La Ceniza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Origen:	Cantera Las Viñas		
Fecha:	26/10/2023		
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	gr	145.40
m2	Masa del picnómetro + Ceniza	gr	209.40
m3	Masa del picnómetro + Ceniza + Gasolina	gr	566.00
m4 = m3 - m2	Masa de gasolina añadida	gr	356.60
m5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	gr	520.10
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm ³ de gasolina	gr	374.70
DG = m6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0.749
m7 = m6 - m4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	gr	18.10
Mc = m2 - m1	Masa de la ceniza	gr	64.00
Vc = m7/DG	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	24.15
DRC = Msss/Vsss	Densidad real de ceniza de rastrojo de maíz	gr/cm ³	2.650

Análisis:

Mediante la tabla 18 y 19 se observó, la densidad real del cemento y de la ceniza de valor de 2.82 gr/cm³ y 2.65 gr/cm³ respectivamente.

El valor de la densidad real del cemento obtenida en laboratorio es muy cercana (ligeramente menor) al valor de densidad límite inferior conocido del cemento que es de 2.90 gr/cm³ por lo que se considera aceptable.

Por otro lado, la densidad de la ceniza, es menor a la densidad del cemento, sin embargo, se considera aceptable debido a que estos datos se utilizarán en esta investigación la cual posee una hipótesis que se pretende probar, además de que es bien conocido que el rastrojo de maíz es una puzolana por excelencia.

TABLA 20.-Contenido de Humedad y Capacidad de Absorción de la ceniza de rastrojo de maíz

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Contenido de Humedad de la ceniza de rastrojo de maíz					
Origen:	Cantera Las Viñas				
Fecha:	27/10/2023				
Ensayado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m1	Masa del recipiente	gr	30.50	30.90	30.90
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	42.60	42.60	43.10
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	12.10	11.70	12.20
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	41.70	41.65	42.41
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	11.20	10.75	11.51
CH	Contenido de Humedad	%	8.04	8.84	5.99
CHN	Contenido de Humedad promedio de la ceniza de rastrojo de maíz	%	7.62		
Capacidad de absorción de la ceniza de rastrojo de maíz					
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m7	Masa del recipiente	gr	31.00	30.90	30.8
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	58.10	60.30	50.9
m9 = m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	27.10	29.40	20.10
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	54.70	56.80	47.98
m11 = m10 - m7	Masa de la muestra seca	gr	23.70	25.90	17.18
CA = ((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	14.35	13.51	17.00
CAN = (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio de la ceniza de rastrojo de maíz	%	14.95		

Análisis:

Por medio de la tabla 20 se visualizó, el resultado de los ensayos de contenido de humedad y capacidad de absorción de la ceniza de rastrojo de maíz de valor 7.62% y 14.95% respectivamente.

3.1.4 Dosificación del hormigón f'c 240 Kg/cm² y con ceniza de rastrojo de maíz

TABLA 21.-Dosificación al peso del hormigón f'c 240kg/cm²

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Fecha:	30/10/2023		
Realizado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Volumen del Cilindro	0.0016	m ³	
Número total de cilindros	12		
Volumen de hormigón necesario	0.019	m ³	
Material	Cantidad necesaria para las muestras	Unidad	
Cemento	5.83	kg	
Agua	3.63	ltrs	
Arena	16.41	kg	
Ripio	17.89	kg	

TABLA 22.-Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 6% de ceniza de rastrojo de maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Fecha:	30/10/2023		
Realizado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Volumen del Cilindro	0.0016	m ³	
Número total de cilindros	12		
Volumen de hormigón necesario	0.019	m ³	
Material	Cantidad necesaria para las muestras	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	5.83	5.48	kg
Agua	3.63	3.65	ltrs
Arena	16.41	16.41	kg
Ripio	17.89	17.89	kg
6 % Ceniza	0.00	0.35	kg
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza			
Contenido de Humedad (C.H.)	7.62	%	Corrección por humedad corregida (C.H.C.) = (C.A.- C.H.) =
Capacidad de Absorción (C.A)	14.95	%	
Cantidad de Agua (W)	3.63	ltrs	Peso 6% Ceniza (CM) =
Cantidad de Agua Corregida (W +((C.H.C/100)*CM)=			3.65 ltrs

TABLA 23.- Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 8% de ceniza de rastrojo de maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
Fecha:		30/10/2023			
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			
Volumen del Cilindro		0.0016		m3	
Número total de cilindros		12			
Volumen de hormigón necesario		0.019		m3	
Material	Cantidad necesaria para las muestras	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento		Unidad	
Cemento	5.83	5.36		kg	
Agua	3.63	3.66		ltrs	
Arena	16.41	16.41		kg	
Ripio	17.89	17.89		kg	
8% Ceniza	0.00	0.47		kg	
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza					
Contenido de Humedad (C.H.)	7.62	%	Corrección por humedad corregida (C.H.C.) = (C.A.- C.H.) =	7.33	%
Capacidad de Absorción (C.A)	14.95	%			
Cantidad de Agua (W)	3.63	ltrs	Peso 8% Ceniza (CM) =	0.47	kg
Cantidad de Agua Corregida (W +((C.H.C/100)*CM)=				3.66	ltrs

TABLA 24.-Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 10% de ceniza de rastrojo de maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
Fecha:		30/10/2023			
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			
Volumen del Cilindro		0.0016		m3	
Número total de cilindros		12			
Volumen de hormigón necesario		0.019		m3	
Material	Cantidad necesaria para las muestras	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento		Unidad	
Cemento	5.83	5.24		kg	
Agua	3.63	3.67		ltrs	
Arena	16.41	16.41		kg	
Ripio	17.89	17.89		kg	
10 % Ceniza	0.00	0.58		kg	
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza					
Contenido de Humedad (C.H.)	7.62	%	Corrección por humedad corregida (C.H.C.) = (C.A.- C.H.) =	7.33	%
Capacidad de Absorción (C.A)	14.95	%			
Cantidad de Agua (W)	3.63	ltrs	Peso 10% Ceniza (CM) =	0.58	kg
Cantidad de Agua Corregida (W +((C.H.C/100)*CM)=				3.67	ltrs

TABLA 25.-Dosificación con reemplazo parcial del cemento con 12% de ceniza de rastrojo de maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
Fecha:		30/10/2023			
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			
Volumen del Cilindro		0.0016		m3	
Número total de cilindros		12			
Volumen de hormigón necesario		0.019		m3	
Material	Cantidad necesaria para las muestras	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento		Unidad	
Cemento	5.83	5.13		kg	
Agua	3.63	3.68		ltrs	
Arena	16.41	16.41		kg	
Ripio	17.89	17.89		kg	
12 % Ceniza	0.00	0.70		kg	
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza					
Contenido de Humedad (C.H.)	7.62	%	Capacidad de absorción Corregida (C.A.C) = (C.A.- C.H.) =	7.33	%
Capacidad de Absorción (C.A)	14.95	%			
Cantidad de Agua (W)	3.63	ltrs	Peso 12% Ceniza (CM) =	0.70	kg
Cantidad de Agua Corregida (W +((C.H.C/100)*CM)=				3.68	ltrs

Análisis:

Se observa en las tablas: 21, 22, 23, 24 y 25 la respectiva dosificación tanto para hormigón simple de 240 kg/cm² como para sus respectivos reemplazos de ceniza de rastrojo de maíz. Se muestra también la corrección por humedad realizada por la ceniza de rastrojo de maíz.

3.1.5 Propiedades del hormigón en estado fresco

TABLA 26.-Propiedades del Hormigón Simple en Estado Fresco

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>									
Propiedades del Hormigón Simple en Estado Fresco									
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			Fecha:		7/11/2023		
Norma		NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579							
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
HS-1	10.00	20.00	0.00157	4.686	8.616	3.93	7.40	2501.92	2409.23
HS-2	10.00	20.00	0.00157	4.774	8.597	3.82		2433.80	
HS-3	10.00	20.00	0.00157	4.721	8.627	3.91		2486.64	
HS-4	10.00	20.00	0.00157	4.741	8.666	3.93		2498.73	
HS-5	10.00	20.00	0.00157	4.727	8.652	3.93		2498.73	
HS-6	10.00	20.00	0.00157	7.747	11.304	3.56		2264.46	
HS-7	10.00	20.00	0.00157	7.654	11.245	3.59		2286.10	
HS-8	10.00	20.00	0.00157	7.73	11.189	3.46		2202.07	
HS-9	10.00	20.00	0.00157	7.753	11.312	3.56		2265.73	
HS-10	10.00	20.00	0.00157	7.178	11.085	3.91		2487.27	
HS-11	10.00	20.00	0.00157	7.159	11.125	3.97		2524.83	
HS-12	10.00	20.00	0.00157	7.195	11.06	3.87		2460.54	

TABLA 27.-Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 6% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>									
Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 6% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz									
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			Fecha:		8/11/2023		
Norma		NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579							
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
RM6-1	10.00	20.00	0.00157	4.686	8.564	3.88	7.30	2468.81	2318.15
RM6-2	10.00	20.00	0.00157	4.774	8.616	3.84		2445.89	
RM6-3	10.00	20.00	0.00157	7.721	11.233	3.51		2235.81	
RM6-4	10.00	20.00	0.00157	7.741	11.231	3.49		2221.80	
RM6-5	10.00	20.00	0.00157	7.727	11.235	3.51		2233.26	
RM6-6	10.00	20.00	0.00157	7.747	11.246	3.50		2227.53	
RM6-7	9.90	20.00	0.00154	7.654	11.152	3.50		2272.11	
RM6-8	10.00	20.00	0.00157	7.73	11.235	3.51		2231.35	
RM6-9	10.00	20.00	0.00157	7.753	11.245	3.49		2223.08	
RM6-10	10.00	20.00	0.00157	4.178	8.114	3.94		2505.74	
RM6-11	10.00	20.00	0.00157	5.159	8.795	3.64		2314.75	
RM6-12	10.00	20.00	0.00157	5.195	9.024	3.83		2437.62	

**TABLA 28.-Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 8% De cemento
Con ceniza De rastrojo De Maíz**

  <p align="center"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL <i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i> </p>									
Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 8% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz									
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			Fecha:		9/11/2023		
Norma		NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579							
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
RM8-1	10.00	20.00	0.00157	4.686	8.573	3.89	7.30	2474.54	2311.94
RM8-2	10.00	20.00	0.00157	4.774	8.626	3.85		2452.26	
RM8-3	10.00	20.00	0.00157	7.721	11.256	3.54		2250.45	
RM8-4	10.00	20.00	0.00157	7.741	11.257	3.52		2238.36	
RM8-5	10.00	20.00	0.00157	7.727	11.248	3.52		2241.54	
RM8-6	10.00	20.00	0.00157	7.747	11.273	3.53		2244.72	
RM8-7	10.00	20.00	0.00157	7.654	11.13	3.48		2212.89	
RM8-8	10.00	20.00	0.00157	7.73	11.24	3.51		2234.54	
RM8-9	10.00	20.00	0.00157	7.753	11.266	3.51		2236.45	
RM8-10	10.00	20.00	0.00157	5.178	8.904	3.73		2372.05	
RM8-11	10.00	20.00	0.00157	5.159	8.826	3.67		2334.48	
RM8-12	10.00	20.00	0.00157	5.195	9.045	3.85		2450.99	

**TABLA 29.-Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 10% De cemento
Con ceniza De rastrojo De Maíz**

  <p align="center"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL <i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i> </p>									
Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 10% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz									
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			Fecha:		10/11/2023		
Norma		NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579							
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
RM10-1	10.00	20.00	0.00157	4.686	8.539	3.85	6.50	2452.90	2286.74
RM10-2	10.00	20.00	0.00157	4.774	8.592	3.82		2430.61	
RM10-3	10.00	20.00	0.00157	7.721	11.231	3.51		2234.54	
RM10-4	10.00	20.00	0.00157	7.741	11.215	3.47		2211.62	
RM10-5	10.00	20.00	0.00157	7.727	11.218	3.49		2222.44	
RM10-6	10.00	20.00	0.00157	7.747	11.218	3.47		2209.71	
RM10-7	10.00	20.00	0.00157	7.654	11.111	3.46		2200.79	
RM10-8	10.00	20.00	0.00157	7.73	11.216	3.49		2219.26	
RM10-9	10.00	20.00	0.00157	7.753	11.25	3.50		2226.26	
RM10-10	10.00	20.00	0.00157	5.178	8.804	3.63		2308.38	
RM10-11	10.00	20.00	0.00157	5.159	8.773	3.61		2300.74	
RM10-12	10.00	20.00	0.00157	5.195	9.002	3.81		2423.61	

**TABLA 30.-Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 12% De cemento
Con ceniza De rastrojo De Maíz**

 									
<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p align="center"><i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i></p>									
Propiedades del Hormigón Fresco con Reemplazo parcial Del 12% De cemento Con ceniza De rastrojo De Maíz									
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio			Fecha:		14/11/2023		
Norma		NTE INEN 1578 y NTE INEN 1579							
Molde	Diámetro del Molde (cm)	Altura del Molde (cm)	Volumen del Molde (m3)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m3)	Densidad Media (Kg/m3)
RM12-1	10.00	20.00	0.00157	4.686	8.567	3.88	6.30	2470.72	2293.99
RM12-2	10.00	20.00	0.00157	4.774	8.623	3.85		2450.35	
RM12-3	10.00	20.00	0.00157	7.721	11.21	3.49		2221.17	
RM12-4	10.00	20.00	0.00157	7.741	11.191	3.45		2196.34	
RM12-5	10.00	20.00	0.00157	7.727	11.225	3.50		2226.90	
RM12-6	10.00	20.00	0.00157	7.747	11.203	3.46		2200.16	
RM12-7	9.90	20.00	0.00154	7.654	11.137	3.48		2262.37	
RM12-8	10.00	20.00	0.00157	7.73	11.218	3.49		2220.53	
RM12-9	10.00	20.00	0.00157	7.753	11.211	3.46		2201.43	
RM12-10	10.00	20.00	0.00157	5.178	8.835	3.66		2328.12	
RM12-11	10.00	20.00	0.00157	5.159	8.769	3.61		2298.20	
RM12-12	10.00	20.00	0.00157	5.195	9.046	3.85		2451.62	

Análisis:

Tomando en cuenta la norma NTE INEN 1578 Y NTE INEN 1579, se determinó las propiedades del hormigón en estado fresco en las que resaltan la densidad y consistencia, esto se determina por cada mezcla donde hacen referencia en las tablas, desde la 26 hasta la 30, la primera tiene una denominación HS que hace referencia para hormigón simple y la de RM que es la que posee cenizas de rastrojo de maíz con lo que se muestra a continuación los siguientes resultados:

- En las probetas HS se obtuvo un valor promedio de 2409.23 Kg/m³ en su densidad con lo que supera con un gran margen el valor mínimo de 2160 Kg/m³ determinado por la ACI 318-19 debido a esto se determina que es óptimo. El asentamiento fue de 7.4 cm que se considera como consistencia media ya que se encuentra en el rango de 8 cm ± 2.5cm.
- Por otra parte, en las probetas RM del 6% dio un valor promedio de 2318.15 Kg/m³ en su densidad con lo que supera el valor mínimo de 2160 Kg/m³

determinado por la ACI 318-19. Además su asentamiento fue de 7.3 cm la cual se encuentra en el rango de $8 \text{ cm} \pm 2.5\text{cm}$ y da un resultado de consistencia media.

- Para las probetas RM de 8% dio como resultado un valor promedio de 2311.94 Kg/m^3 en su densidad superando con ello un gran margen el valor mínimo de 2160 Kg/m^3 determinado por la ACI 318-19 con lo que se determina que es óptimo. El asentamiento fue de 7.3 cm que se considera como consistencia media ya que se encuentra en el rango de $8 \text{ cm} \pm 2.5\text{cm}$.
- En las probetas RM de 10% tuvo un valor promedio de 2286.74 Kg/m^3 en su densidad por lo que se considera óptimo pues supera el valor mínimo de 2160 Kg/m^3 determinado por la ACI 318-19. El asentamiento fue de 6.5 cm el cual se encuentra en el rango de $8 \text{ cm} \pm 2.5\text{cm}$ y es considerado de consistencia media.
- En el caso de las probetas RM de 12% se obtuvo un valor promedio de 2293.99 Kg/m^3 ya que supera el valor mínimo de 2160 Kg/m^3 , además se considera óptimo según la ACI 318-19. El asentamiento se encuentra dentro del rango permitido de $8 \text{ cm} \pm 2.5\text{cm}$ para una consistencia media con un valor de 6.3cm.
- En el hormigón simple y con 6%,8%,10% y 12% de ceniza de rastrojo de maíz tuvo un buen comportamiento en su homogeneidad y trabajabilidad.

3.1.6 Propiedades del hormigón en estado endurecido

En el objetivo 2 para la obtención de la resistencia a los 7, 14 y días de edad se realizó:

TABLA 31.-Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 7 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>											
Hormigón Simple de F'c 240 Kg/cm² a los 7 días											
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio									
Norma:		NTE INEN 1573									
Probeta	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Altura (cm)	Volumen (m³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Media (Kg/m³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm²)
HS-1	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.658	2328.76	2259.05	121.30	12365.31	157.44	158.36
HS-2	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.532	2248.54		121.54	12389.66	157.75	
HS-3	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.508	2233.26		124.05	12645.70	161.01	
HS-4	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.496	2225.62		121.15	12349.60	157.24	

Análisis:

En la tabla 31 se observó, los resultados obtenidos a los 7 días de la densidad y la resistencia a la compresión, el valor promedio de densidad fue de 2259.05 Kg/m³ dándonos así un valor superior a 2160 Kg/m³ lo que se considera aceptable según la ACI 318-19, por otra parte, el promedio de la resistencia fue de 158.36 Kg/cm² alcanzando con ello un 65.98% de la resistencia total del hormigón, es importante recalcar que para esta edad su porcentaje de resistencia se debe encontrar entre el 65% al 75%.

TABLA 32.-Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>											
Hormigón Simple de F'c 240 Kg/cm² a los 14 días											
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio									
Norma:		NTE INEN 1573									
Probeta	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Altura (cm)	Volumen (m³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Media (Kg/m³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm²)
HS-5	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.630	2310.93	2197.93	165.31	16850.72	214.55	200.48
HS-6	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.113	1981.80		149.43	15232.80	193.95	
HS-7	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.527	2245.36		154.93	15793.57	201.09	
HS-8	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.540	2253.63		148.18	15104.78	192.32	

Análisis:

Se observa en la tabla 32 los resultados obtenidos a los 14 días de la densidad y la resistencia a la compresión, el valor promedio de densidad fue de 2197.93 Kg/m³ superando con ello a los 2160 Kg/m³ que se considera aceptable según la ACI 318-19, por otro lado, el promedio de la resistencia es de 200.48 Kg/cm² alcanzando un 83.5% de la resistencia total del hormigón, lo que se encuentra dentro del rango de 80% a 90% que se espera a esta edad.

TABLA 33.-Resistencia a la compresión del hormigón simple a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>											
Hormigón Simple de F'c 240 Kg/cm2 a los 28 días											
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio									
Norma:		NTE INEN 1573									
Probeta	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Altura (cm)	Volumen (m³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m³)	Densidad Media (Kg/m³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm²)
HS-9	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.911	2489.82	2478.36	192.31	19603.54	249.60	246.00
HS-10	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.891	2477.09		189.00	19265.82	245.30	
HS-11	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.895	2479.63		189.61	19328.65	246.10	
HS-12	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.875	2466.90		187.23	19085.18	243.00	

Análisis:

Por medio de la tabla 33 se visualizó, los resultados obtenidos a los 28 días de la densidad y la resistencia a la compresión, el valor promedio de densidad fue de 2478.36 Kg/m³ y ésta supera los 2160 Kg/m³ valor que se considera aceptable según la ACI 318-19. Asimismo, la resistencia a la compresión tuvo un valor promedio de 246.00 Kg/cm² alcanzando un 102.5% de resistencia a esta edad, encontrándose con ello en el rango de 95% a 105% que se considera aceptable para este periodo de tiempo.

TABLA 34.-Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 7 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 												
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>												
Compresión del Hormigón con 6%, 8%, 10% y 12% de Ceniza de Rastrojo de Maíz a los 7 días												
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio										
Norma		NTE INEN 1573										
Probeta	Adición de Ceniza (%)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Media (Kg/m ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm ²)
RM6-1	6%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.847	2449.08	2324.14	140.33	14304.46	182.13	177.64
RM6-2		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.811	2426.16		135.91	13854.42	176.40	
RM6-3		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.479	2214.80		135.77	13840.29	176.22	
RM6-4		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.466	2206.52		135.45	13807.30	175.80	
RM8-1	8%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.856	2454.81	2336.55	116.99	11925.49	151.84	142.64
RM8-2		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.822	2433.16		113.14	11532.79	146.84	
RM8-3		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.514	2237.08		107.01	10908.40	138.89	
RM8-4		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.489	2221.17		102.45	10443.44	132.97	
RM10-1	10%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.818	2430.61	2311.57	113.14	11532.79	146.84	140.62
RM10-2		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.783	2408.33		110.70	11284.60	143.68	
RM10-3		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.482	2216.71		107.01	10908.40	138.89	
RM10-4		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.441	2190.61		102.53	10451.29	133.07	
RM12-1	12%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.843	2446.53	2313.79	99.86	10179.55	129.61	129.73
RM12-2		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.818	2430.61		99.31	10123.00	128.89	
RM12-3		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.460	2202.70		104.49	10651.57	135.62	
RM12-4		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.417	2175.33		96.16	9802.55	124.81	

GRÁFICO 4. Resistencia a compresión a los 7 días con ceniza de rastrojo de maíz

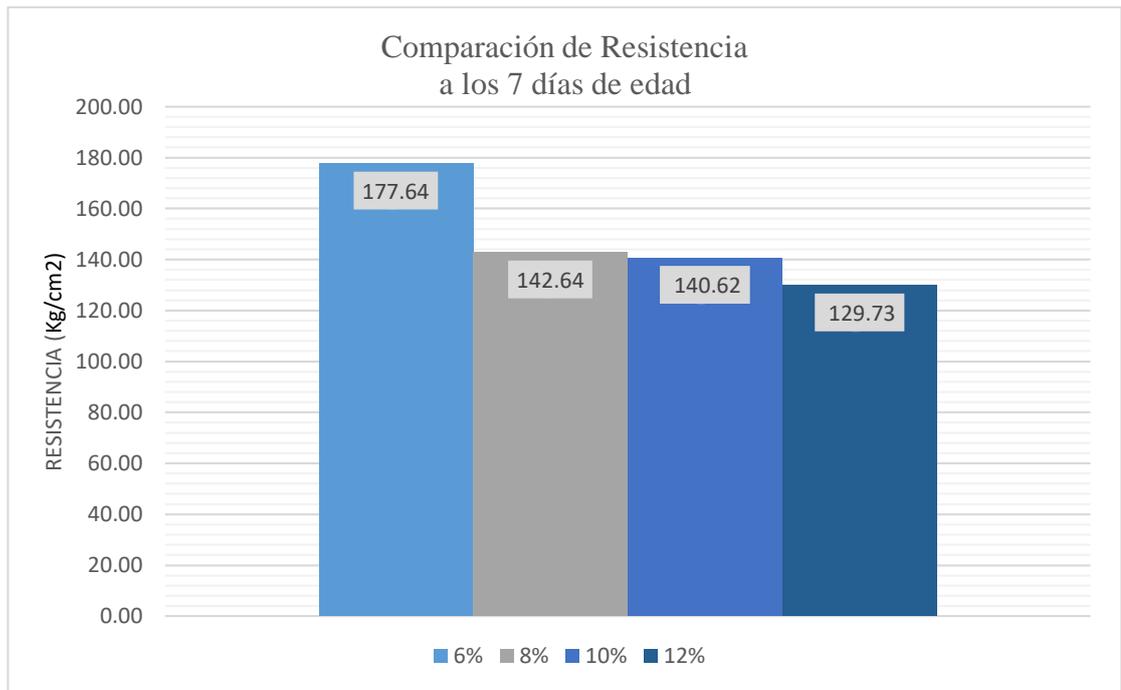


GRÁFICO 5. Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 7 días

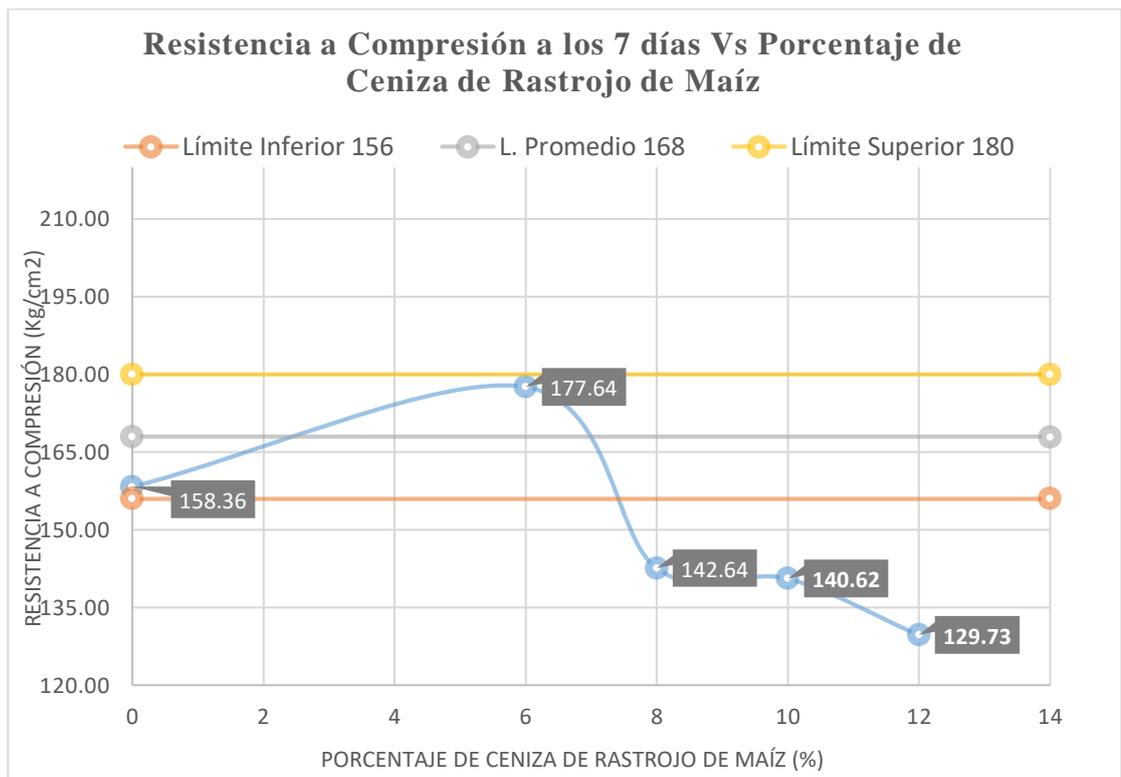
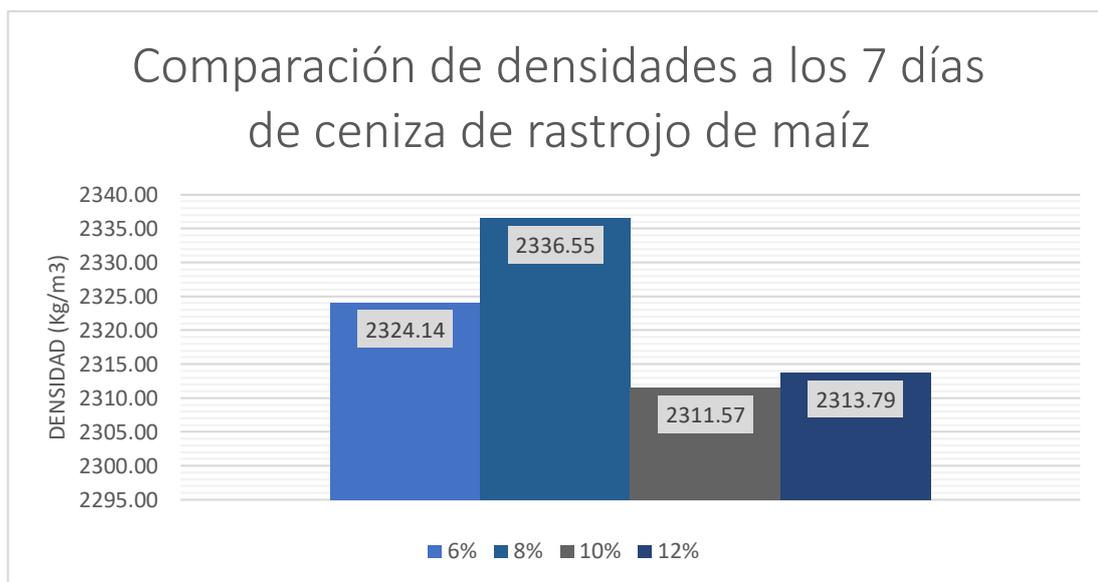


GRÁFICO 6. Comparación de densidades a los 7 días de ceniza de rastrojo de maíz



Análisis:

Se observa en la tabla 34 y en los gráficos 4 y 5 que la resistencia alcanzada con el 6% de adición de ceniza de rastrojo de maíz fue de valor 177.64 Kg/cm², siendo esta superior al valor de resistencia obtenida del hormigón simple y, al contrario, las resistencias obtenidas con adición 8%, 10% y 12% de ceniza no alcanzaron los valores de límite inferior de resistencia los 7 días de edad. Además, el valor de resistencia de hormigón simple fue de 158.36 Kg/cm² el cual se encuentra entre los rangos permitidos.

En la tabla 34 y gráfico 6, también se puede apreciar los valores de densidad que van desde 2311.57 Kg/m³ - 2336.55 Kg/m³, con lo que se verificó que estas densidades son óptimas debido a que estos valores sobrepasan adecuadamente el valor de 2160 Kg/m³ que dicta la norma ACI 318-19.

TABLA 35.-Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 												
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>												
Compresión del Hormigón con 6%, 8%, 10% y 12% de Ceniza de Rastrojo de Maíz a los 14 días												
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio										
Norma		NTE INEN 1573										
Probeta	% Adición de Ceniza	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Media (Kg/m ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm ²)
RM6-5	6%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.462	2203.98	2202.55	167.80	17105.19	217.79	218.40
RM6-6		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.460	2202.70		168.38	17164.09	218.54	
RM6-7		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.457	2200.79		167.98	17123.25	218.02	
RM6-8		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.460	2202.70		168.91	17218.28	219.23	
RM8-5	8%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.492	2223.08	2218.94	133.01	13559.11	172.64	177.20
RM8-6		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.499	2227.53		136.63	13927.47	177.33	
RM8-7		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.465	2205.89		135.13	13775.10	175.39	
RM8-8		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.486	2219.26		141.34	14408.13	183.45	
RM10-5	10%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.468	2207.80	2196.50	125.55	12798.06	162.95	160.27
RM10-6		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.446	2193.79		124.92	12733.66	162.13	
RM10-7		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.434	2186.15		120.76	12309.55	156.73	
RM10-8		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.453	2198.25		122.72	12509.82	159.28	
RM12-5	12%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.501	2228.81	2209.55	121.06	12340.96	157.13	155.84
RM12-6		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.464	2205.25		119.53	12184.67	155.14	
RM12-7		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.452	2197.61		117.73	12000.91	152.80	
RM12-8		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.466	2206.52		121.97	12432.88	158.3	

GRÁFICO 7. Resistencia a compresión a los 14 días con ceniza de rastrojo de maíz

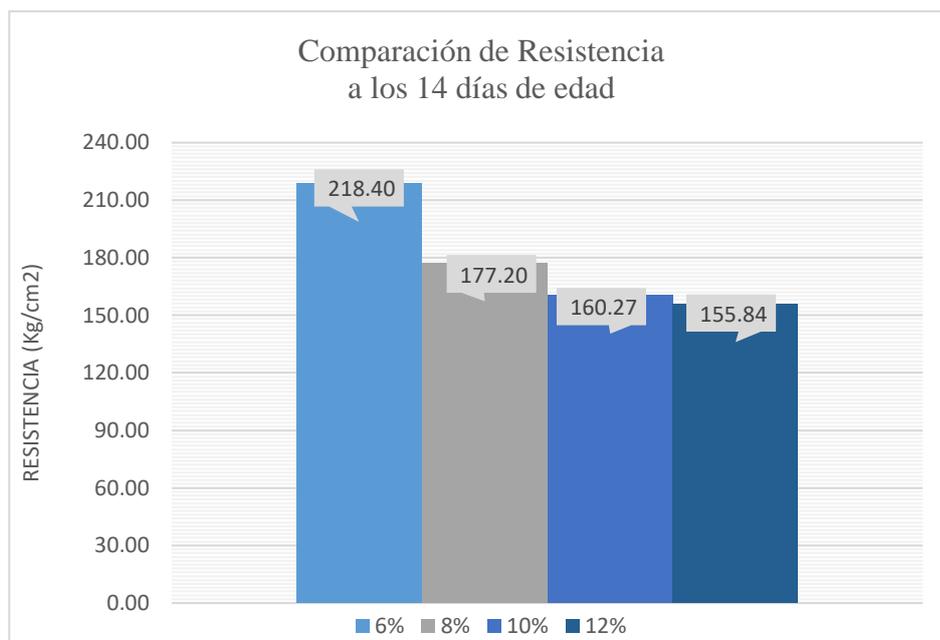


GRÁFICO 8. Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 14 días

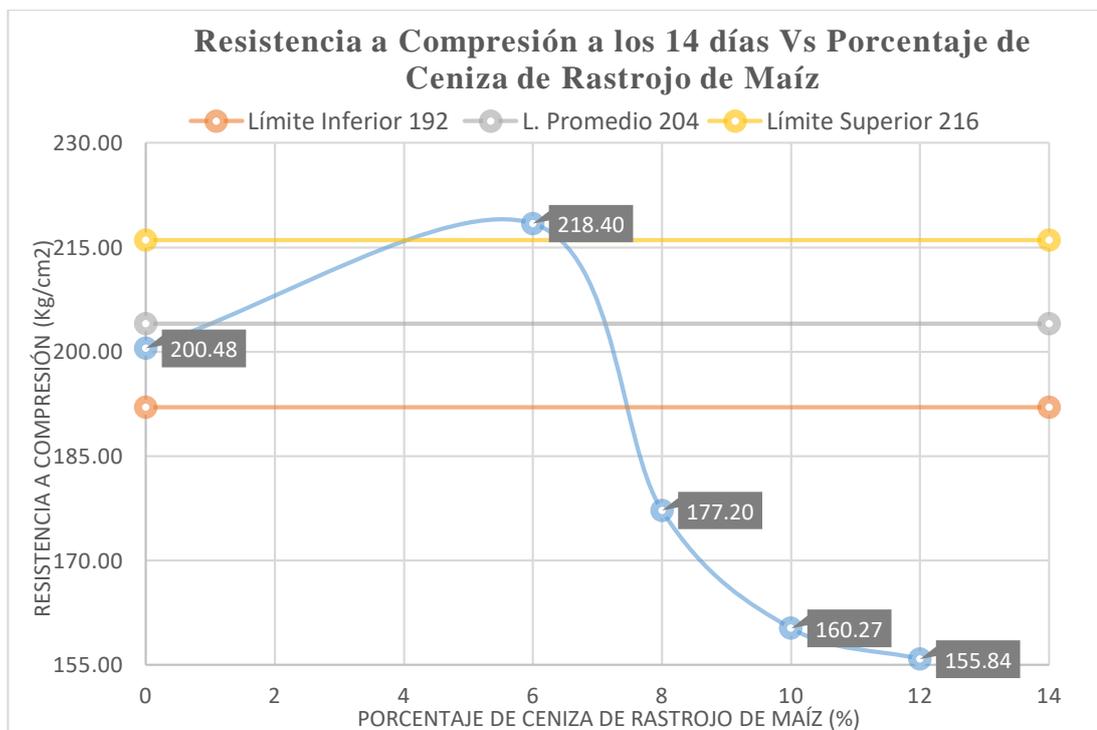
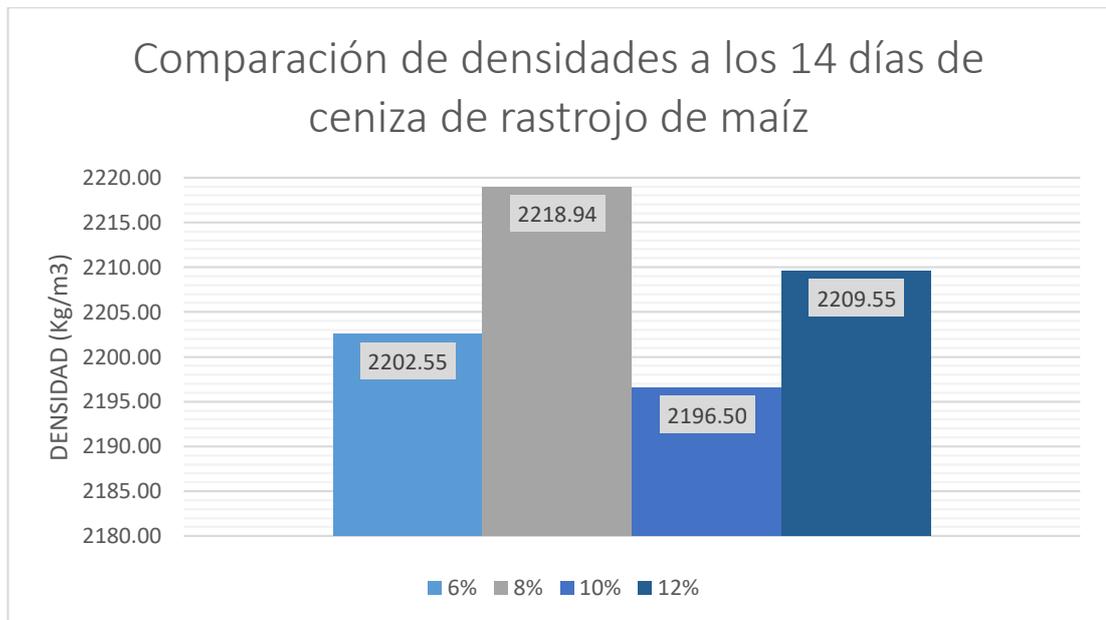


GRÁFICO 9. Comparación de densidades a los 14 días de ceniza de rastrojo de maíz



Análisis:

Se visualiza en la tabla 35 y los gráficos 6 y 7 que el valor de la resistencia alcanzada con el 6% es predominante con un valor de 218.40 Kg/cm², siendo esta mayor al límite superior de 216 Kg/cm² del hormigón simple, por otro lado, las resistencias alcanzadas de 8%, 10% y 12% son menores al límite inferior de 192 Kg/cm² del hormigón simple a los días de edad.

Además, en el gráfico 9 y tabla 35 se puede apreciar los valores de densidad que van desde 2196.50 Kg/m³ – 2218.94 Kg/m³, con lo que se verificó que estas densidades son óptimas debido a que estos valores sobrepasan adecuadamente el valor de 2160 Kg/m³ que dicta la norma ACI 318-19.

TABLA 36.-Resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de rastrojo de maíz a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 												
<i>“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”</i>												
Compresión del Hormigón con 6%, 8%, 10% y 12% de Ceniza de Rastrojo de Maíz a los 28 días												
Realizado por:		Nuñez Arellano Wilson Mauricio										
Norma		NTE INEN 1573										
Probeta	% Adición de Ceniza	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Media (Kg/m ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm ²)
RM6-9	6%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.477	2213.53	2312.20	197.00	20081.85	255.69	256.77
RM6-10		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.642	2318.57		198.67	20251.49	257.85	
RM6-11		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.607	2296.29		199.21	20307.25	258.56	
RM6-12		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.802	2420.43		196.44	20024.51	254.96	
RM8-9	8%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.476	2212.89	2312.84	158.41	16147.79	205.60	210.93
RM8-10		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.630	2310.93		164.65	16783.96	213.70	
RM8-11		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.612	2299.47		162.72	16587.61	211.20	
RM8-12		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.814	2428.07		164.27	16744.69	213.20	
RM10-9	10%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.459	2202.07	2289.28	152.11	15506.12	197.43	207.27
RM10-10		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.584	2281.65		162.52	16566.40	210.93	
RM10-11		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.574	2275.28		157.49	16053.54	204.40	
RM10-12		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.767	2398.15		166.65	16988.16	216.30	
RM12-9	12%	10.00	78.54	20.00	0.00157	3.467	2207.16	2303.77	156.43	15945.94	203.03	206.89
RM12-10		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.630	2310.93		160.03	16312.72	207.70	
RM12-11		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.611	2298.83		159.50	16259.31	207.02	
RM12-12		10.00	78.54	20.00	0.00157	3.850	2398.15		161.65	16477.65	209.80	

GRÁFICO 10. Resistencia a compresión a los 28 días con ceniza de rastrojo de maíz

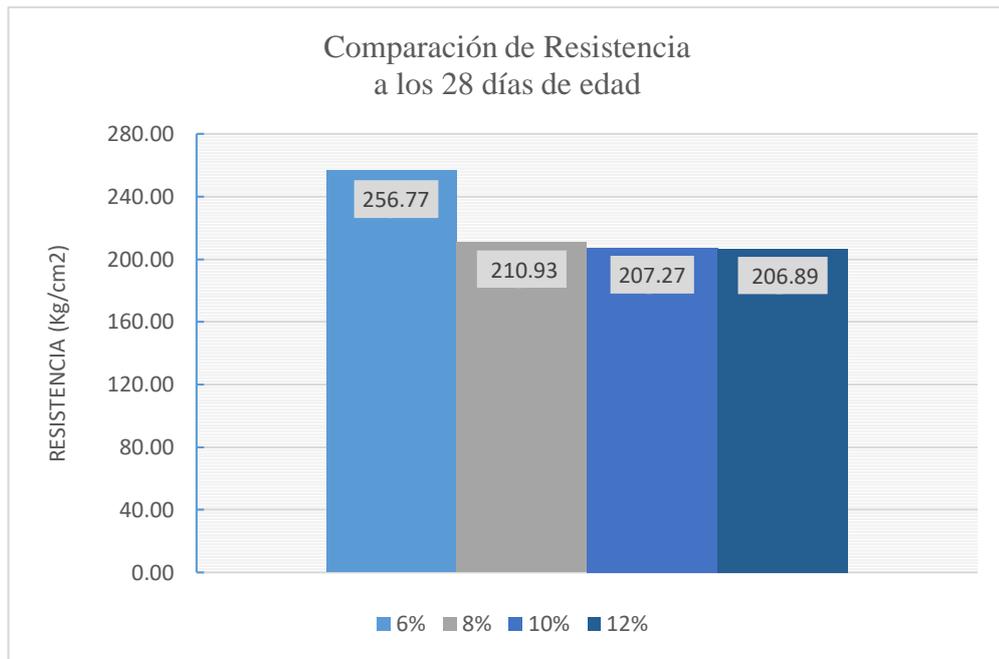


GRÁFICO 11. Resistencia Vs Porcentaje de ceniza a los 28 días

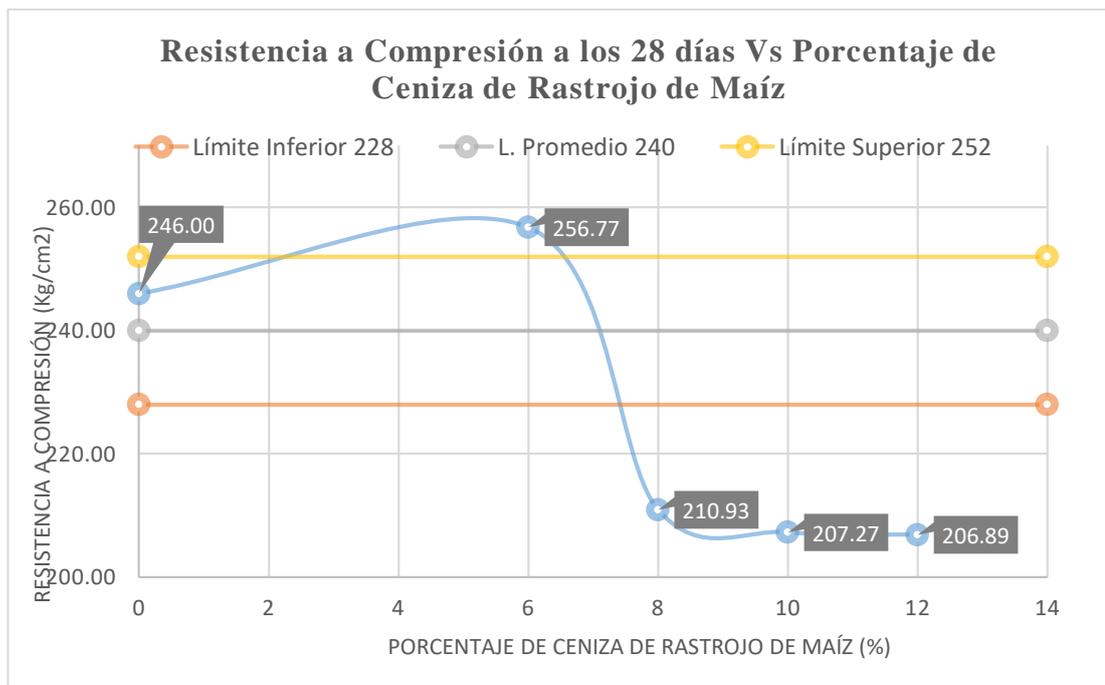
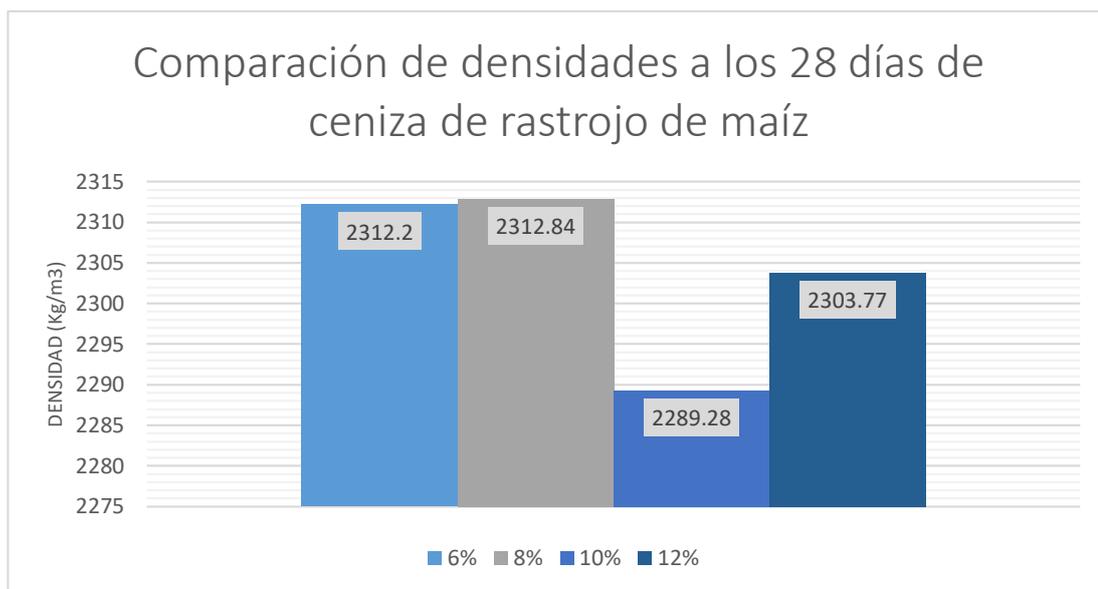


GRÁFICO 12. Comparación de densidades a los 28 días de ceniza de rastrojo de maíz



Análisis:

Se visualiza en la tabla 36 y los gráficos 8 y 9 que la resistencia alcanzada a los 28 días fue de 256.77 Kg/cm² con el 6% de ceniza de rastrojo de maíz, superando al valor de resistencia obtenida del hormigón simple y, por el contrario, las resistencias obtenidas con adición 8%, 10% y 12% de ceniza no alcanzaron los límites superior e inferior de 252 Kg/cm² y 228 Kg/cm² respectivamente.

Asimismo, en la tabla 34 y gráfica 12 se puede apreciar los valores de densidad promedio que se encuentran entre 2289.28 Kg/m³ – 2312.84 Kg/m³, con esto se verificó que estas densidades son óptimas debido a que estos valores sobrepasan adecuadamente el valor de 2160 Kg/m³ que dicta la norma ACI 318-19.

3.1.7 Comparación de resistencia de probetas de hormigón simple con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz.

TABLA 37.-Comparación de resistencia de probetas de hormigón normal con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“Estudio de la resistencia a compresión del hormigón simple con reemplazo parcial de puzolanas obtenida de la calcinación de rastrojo de maíz”			
Realizado por:	Nuñez Arellano Wilson Mauricio		
Norma	NTE INEN 1573		
PROBETAS	7 Días	14 Días	28 Días
	Resistencia a compresión(Kg/cm ²)		
Hormigón Simple (240 kg/cm ²)	157.44	214.55	249.60
	157.75	193.95	245.30
	161.01	201.09	246.10
	157.24	192.32	243.00
PROMEDIO	158.36	200.48	246.00
6%	182.13	217.79	255.69
	176.40	218.54	257.85
	176.22	218.02	258.56
	175.80	219.23	254.96
PROMEDIO	177.64	218.40	256.77
8%	151.84	172.64	205.60
	146.84	177.33	213.70
	138.89	175.39	211.20
	132.97	183.45	213.20
PROMEDIO	142.64	177.20	210.93
10%	146.84	162.95	197.43
	143.68	162.13	210.93
	138.89	156.73	204.40
	133.07	159.28	216.30
PROMEDIO	140.62	160.27	207.27
12%	129.61	157.13	203.03
	128.89	155.14	207.70
	135.62	152.80	207.02
	124.81	158.30	209.80
PROMEDIO	129.73	155.84	206.89

Análisis:

En la tabla 37 se aprecia el valor de la resistencia donde se observó que el mayor valor se encuentra con 6% de ceniza de rastrojo de maíz a los 7, 14 y 28 días, también se puede observar que el valor de resistencia de hormigón simple cumple con el valor de resistencia de diseño, por el contrario, con el 8%, 10% y 12% la resistencia no cumple la resistencia deseada.

GRÁFICO 13. Comparación de resistencia del hormigón simple y reemplazo parcial de cemento con ceniza de rastrojo de maíz a los 7, 14 y 28 días

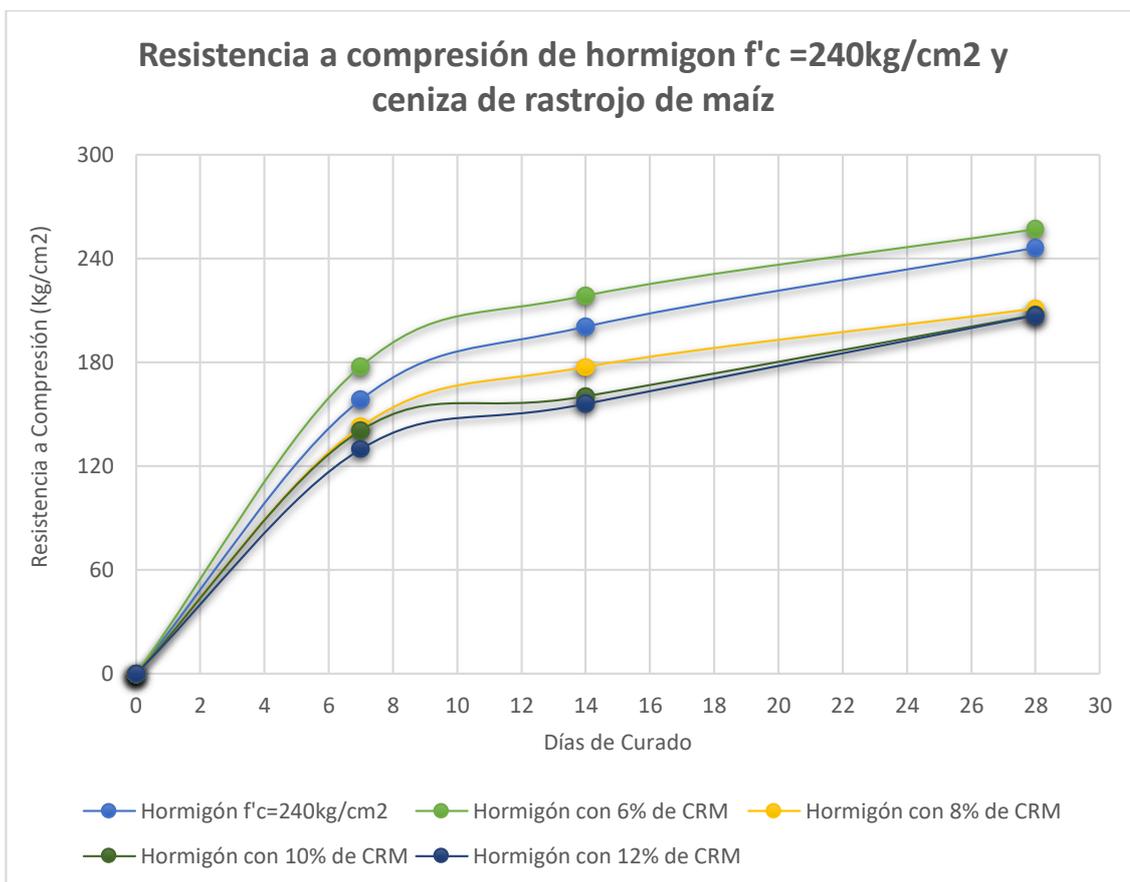


GRÁFICO 14. Resistencia del hormigón a los 7, 14 y 28 días

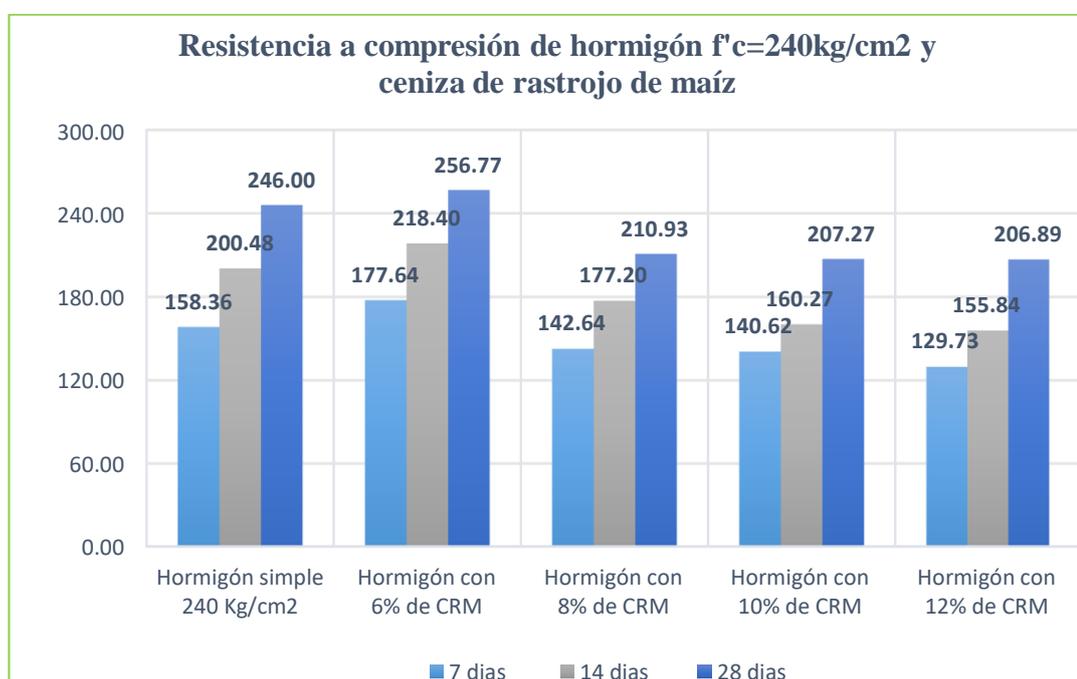
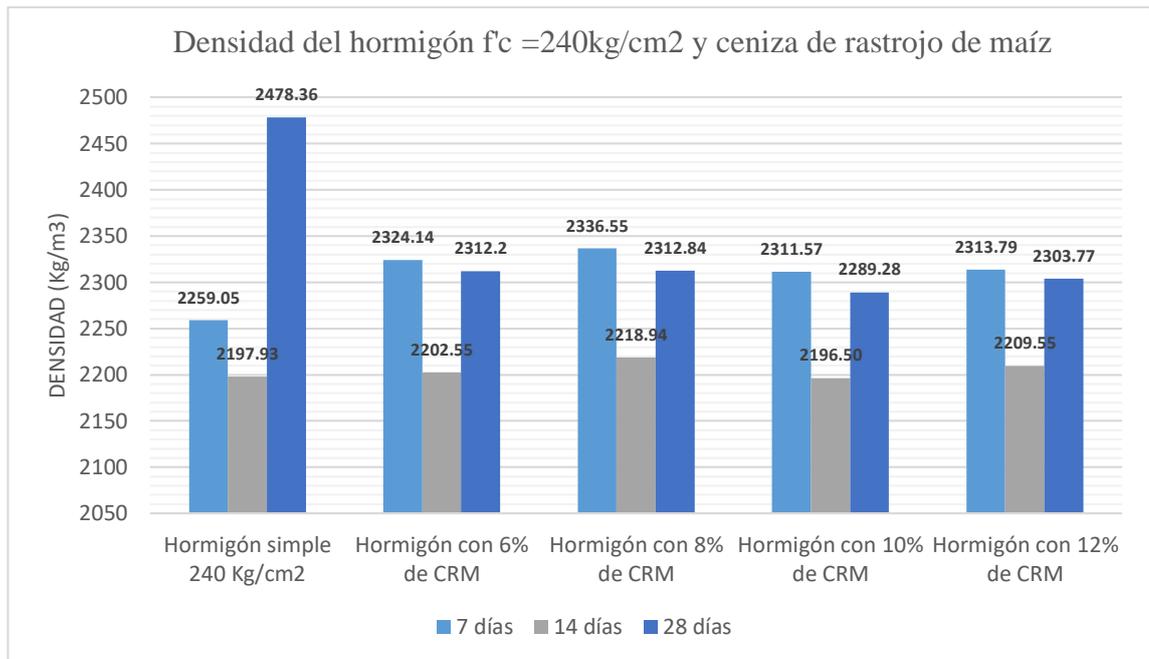


GRÁFICO 15. Densidad del hormigón a los 7, 14 y 28 días



Análisis:

Por medio de la gráfica 10 y 11 se observó la resistencia del hormigón a los 7,14 y 28 días, el hormigón simple y con ceniza de rastrojo de maíz tienen un comportamiento similar en la forma de aumento de su resistencia en cada una de sus edades teniendo un aumento de resistencia de 4.38% en el hormigón con el 6% de reemplazo de ceniza con relación al valor máximo de resistencia del hormigón simple (246Kg/cm²), y una reducción en un rango de 14.25%-15.89% en los hormigones con el 8%,10% y 12% tomando como referencia el hormigón patrón a los 28 días de edad.

Se visualizó en el gráfico 15 la densidad del hormigón a los 7 14 y 28 días, se pudo apreciar que el hormigón simple y con ceniza de rastrojo de maíz no tienen un comportamiento parecido como en su resistencia, ya que a los 7 y 14 días la densidad mayor se obtuvo con el 8% con un valor de 2336.55 Kg/cm³ y 2218.94 Kg/cm³ respectivamente, y a los 28 días la densidad máxima se obtuvo con el hormigón simple con un valor de 2478.36 Kg/cm³.

3.1.7 Costo y beneficio de probetas

En el objetivo 3 para la obtención de un presupuesto costo- beneficio se realizó:

TABLA 38.-Precios Unitarios del Hormigón Simple f'c 240kg/cm²

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Rubro:	1			Unidad:	m ³
Detalle:	Hormigón Simple de 240 Kg/cm ²				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5 %)	0.05	23.69	1.18	1	1.18
Concretera (1 saco)	1	5	5.00	1.009	5.05
SUBTOTAL M					6.23
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro mayor (Estr.Oc.C1)	1	4.29	4.29	1.009	4.33
Albañil (Estr.Oc.D2)	1	3.87	3.87	1.009	3.90
Peón (Estr.Oc.E2)	4	3.83	15.32	1.009	15.46
SUBTOTAL N					23.69
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento Selvalegre Tipo IP	Kg	309.128	0.17	52.55	
Arena	m ³	0.864	13.00	11.23	
Ripio	m ³	0.972	13.50	13.12	
Agua	m ³	0.176	0.80	0.14	
SUBTOTAL O					77.05
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
	u			0.00	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					106.97
INDIRECTOS %					0
UTILIDAD %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					106.97
VALOR UNITARIO					106.97
<p>Son ciento nueve con cinco</p> <p>Nota: Este precio no incluye IVA</p> <p>Fecha: Diciembre 2023</p> <p style="text-align: right;">Wilson Mauricio Nuñez Arellano ELABORADO</p>					

TABLA 39.-Precios Unitarios del Hormigón con 6% de ceniza de rastrojo de maíz

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Rubro:	2			Unidad:	m3
Detalle:	Hormigón con 6% de ceniza de rastro de maíz				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5 %)	0.05	27.56	1.38	1	1.38
Concreteira (1 saco)	1	5	5.00	1.009	5.05
Maquina de trituracion	1	3	3.00	1.009	3.03
Horno	1	1	1.00	1.009	1.01
SUBTOTAL M					6.42
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro mayor (Estr.Oc.C1)	1	4.29	4.29	1.009	4.33
Albañil (Estr.Oc.D2)	1	3.87	3.87	1.009	3.90
Peón (Estr.Oc.E2)	5	3.83	19.15	1.009	19.32
SUBTOTAL N					27.56
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento Selvalegre Tipo IP	Kg	290.580	0.17	49.40	
Arena	m3	0.864	13.00	11.23	
Ripio	m3	0.972	13.50	13.12	
Agua	m3	0.176	0.80	0.14	
Ceniza de rastrojo de maíz	kg	18.548	0.05	0.93	
SUBTOTAL O					74.82
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
		A	B	C=A*B	
	u			0.00	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					108.80
INDIRECTOS %					0
UTILIDAD %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					108.80
VALOR UNITARIO					108.80
Son ciento ocho con noventa y cuatro Nota: Este precio no incluye IVA Fecha: Diciembre 2023					
Wilson Mauricio Nuñez Arellano ELABORADO					

TABLA 40.-Análisis costo- beneficio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Costo para 1 m3 de Hormigón				
TIPO DE HORMIGÓN	COSTO (\$)	AHORRO (\$)	AHORRO (%)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN
Hormigón simple	106.97	1.83	1.7%	246.00 kg/cm2
Hormigón con el 6% de reemplazo de ceniza de rastrojo de maíz	108.80	0.00	0.0%	256.77 kg/cm2

3.2. Verificación de hipótesis

Hipótesis

El hormigón con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz aumenta o mantiene la resistencia del hormigón.

Verificación de hipótesis

Mediante los datos obtenidos del ensayo a compresión a los 28 días de curado de hormigón simple y hormigón con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz del 6%, 8%, 10% y 12%, se verificó que la hipótesis es aceptable puesto que la resistencia del hormigón con el 6% de ceniza alcanzó un valor de 256.77 kg/cm2 obteniendo así un 4.37% de incremento a comparación del hormigón simple de valor de 246 kg/cm2.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se comparó las propiedades de hormigón fresco en la elaboración de la mezcla con ceniza de rastrojo de maíz con 6%, 8%, 10% ,12% y hormigón simple, donde:

- Se evidenció que el asentamiento de la mezcla del hormigón simple, 6% y 8% alcanzo los 7.4 cm, 7.3cm, 7.3cm respectivamente, con lo que se concluye que las mezclas son parecidas en su trabajabilidad y maleabilidad.
- Por otra parte, se observó que el asentamiento de la mezcla con el 10% y 12% de adición de ceniza tuvo valores de 6.5cm y 6.3cm respectivamente teniendo una trabajabilidad parecida y encontrándose dentro rango de consistencia plástica es decir de 6 a 9 cm.
- Se observa que el hormigón simple y con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz poseen una densidad entre 2286.74 Kg/m³ a 2409.23 2286.74 Kg/m³ superando notoriamente el valor mínimo de 2160 Kg/m³ según la norma ACI 318-19.
- La densidad obtenida a los 7, 14 y 28 días no posee ninguna similitud como sucede con la resistencia que va de forma descendente conforme los porcentajes de ceniza van aumentando.

Se determinó la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad de las probetas de hormigón simple y con ceniza de rastrojo de maíz donde:

- Según los resultados de resistencia de hormigón simple y con 6%, 8%, 10% y 12% de ceniza de rastrojo de maíz se obtuvo los siguientes valores promedio a los 7 días de: 158.36 Kg/cm², 177.64 Kg/cm², 142.64 Kg/cm², 140.62 Kg/cm² y 129.73 Kg/cm², a los 14 días: 200.48 Kg/cm², 218.40 Kg/cm², 177.20 Kg/cm², 160.27 Kg/cm², 155.84 Kg/cm² y a los 28 días: 246.00 Kg/cm², 256.77 Kg/cm², 210.93 Kg/cm², 207.27 Kg/cm² y 206.89 Kg/cm² respectivamente

mostrando que únicamente el hormigón simple y con 6% de ceniza superan el límite inferior en cada rango en sus respectivos días.

- Se concluye que la mejor resistencia alcanzada a los 28 días es con 6% de ceniza de rastrojo de maíz ya que se obtuvo un valor de 256.77 Kg/cm² superando al hormigón simple 246 Kg/cm² con un 4.38% más de resistencia.
- La elaboración de hormigón con 6% de ceniza de rastrojo aumento la resistencia, pero se observó que al ir aumentando la puzolana en mayor porcentaje la resistencia disminuyo considerablemente.

Se realizó un análisis costo-beneficio del hormigón simple y con reemplazo parcial de ceniza de rastrojo de maíz donde:

- Se observó que, al reemplazar parcialmente el cemento por ceniza de rastrojo de maíz por medio de una consideración de precios unitarios se calculó el valor por m³, teniendo así un valor de 106.97\$ para hormigón simple, mientras que para un hormigón con 6% de ceniza de rastrojo de maíz es de 108.80\$ debido a que se aumenta la mano de obra se incrementa su costo.
- Se concluye que existe un ahorro mínimo de 1.7% con el hormigón simple a comparación del hormigón con el 6% de adición de ceniza, por otro lado, en cuanto a resistencia el hormigón con el 6% de ceniza presenta una resistencia superior a comparación del hormigón simple, por lo que se puede decir que utilizar este tipo de mezclas resulta más beneficio debido a su resistencia, además ayuda a disminuir el consumo de cemento y con ello disminuir la contaminación por CO₂.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda acumular el rastrojo de maíz en grandes cantidades ya que al momento de incinerar se reduce su tamaño.

- El rastrojo de maíz debe encontrarse lo más seco posible para reducir el tiempo de incineración.
- Un día antes de la fecha de la fabricación del hormigón se debe realizar el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos, ya que servirá para el cálculo de la dosificación donde intervendrá en la corrección de humedad.
- Se debe verificar que los moldes se encuentren en buen estado y bien ajustados puesto que evitara que la mezcla se derrame, además cuando se use el aceite quemado se lo debe poner la cantidad suficiente para evitar que se quede pegado la probeta al momento de desmoldar.
- Se recomienda para la elaboración de hormigón no se cambie la relación agua/ cemento ya que esto influye directamente en la resistencia a compresión.
- Para tener resultados más precisos se recomienda que en futuras investigaciones con la ceniza del rastro de maíz se realicen dosificaciones del 5% al 6.5% para obtener su resistencia en cada porcentaje.
- Tener en cuenta que los agregados que se utilizarán deben estar libres de desechos orgánicos para evitar que la dosificación sea alterada.
- Al momento de utilizar la ceniza se debe tomar en cuenta la corrección de humedad ya que posee una alta capacidad de absorción.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] Á. F. Nistal Cordero, M. J. Retana Maqueda, and T. Ruiz Abrio, “El Hormigón: Historia, Antecedentes En Obras Y Factores Indicativos De Su Resistencia,” *Tecnol. y Desarro.*, vol. X, pp. 1–18, 2012, [Online]. Available: <http://www.uax.es/publicacion/el-hormigon-historia-antecedentes-en-obras-y-factores-identificativos.pdf>
- [2] C. Romea, “El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario,” *Apl. Av. los Mater. compuestos en la obra Civ. y la Edif.*, pp. 1–18, 2014, doi: 10.3926/oms.199.
- [3] E. Vidaud, “De la historia del cemento,” *Construcción y Tecnol. en concreto*, pp. 20–24, 2013.
- [4] Á. Sanjuán and S. Chinchón, *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*, vol. 34, no. 11. 2014.
- [5] “Qué es el cemento, cómo se hace y qué tipos existen - Ferrovial.” <https://www.ferrovial.com/es/recursos/cemento/> (accessed Oct. 26, 2023).
- [6] R. S. Corporativa, E. De Responsabilidad, and S. Corporativa, “Construyendo futuro 1.,” 2016.
- [7] N. E. Helwig, S. Hong, and E. T. Hsiao-wecksler, *LA INDUSTRIA DEL CEMENTO Y LA SOSTENIBILIDAD*.
- [8] C. Muñoz Sanguinetti and F. Quiroz Ortiz, “Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile.,” *Rev. Hábitat Sustentable*, vol. 4, no. Lci, pp. 16–25, 2014, [Online]. Available: <http://remaderas.ubiobio.cl/ojs/index.php/arquitec/article/viewArticle/906>
- [9] A. León-Velez and V. Guillén-Mena, “Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador,” *Ambient. Construido*, vol. 20, no. 3, pp. 611–625, 2020, doi: 10.1590/s1678-86212020000300448.
- [10] S. Hidalgo, L. Soriano, J. Monzó, J. Payá, A. Font, and M. V. Borrachero, “Evaluation of rice straw ash as a pozzolanic addition in cementitious mixtures,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/app11020773.
- [11] “Cemento puzolánico - EcoSur: Tejas de Concreto, Cemento Puzolánico, Adobe, EcoMateriales.” <https://www.ecosur.org/index.php/es/ecomateriales-2/cemento-puzolanico/716-cemento-puzolanico> (accessed Jun. 08, 2023).
- [12] S. Castañeda Torres and J. P. Rodríguez Miranda, “Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia,” *Univ. y Salud*, vol. 19, no. 1, p. 116, 2017, doi: 10.22267/rus.171901.75.

- [13] “Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.” <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/> (accessed Oct. 26, 2023).
- [14] “Los desechos orgánicos mejoran la calidad del suelo, pero en Ecuador no se aprovechan | Dialoguemos.” <https://dialoguemos.ec/2023/02/los-desechos-organicos-mejoran-la-calidad-del-suelo-pero-en-ecuador-no-se-aprovechan/> (accessed Oct. 26, 2023).
- [15] L. M. Janampa Leandro and J. D. Ruiz Parra, “FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 01 Facultad de Ingeniería y Arquitectura,” *Univ. Andin. del Cusco*, pp. 1–118, 2020.
- [16] Y. Gao *et al.*, *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL CON HORMIGÓN AL EMPLEAR BIOMASA NATURAL TORREFACTADA*, vol. 87, no. 1,2. 2023.
- [17] NTE INEN 696, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 12, 2011.
- [18] N. T. Ecuatoriana, R. Gravedad, E. Y. Absorción, Á. Fino, and P. Edición, “Review of the Styrene assessment in the National Toxicology Program 12th Report on Carcinogens,” *Rev. Styrene Assess. Natl. Toxicol. Progr. 12th Rep. Carcinog.*, pp. 1–178, 2014, doi: 10.17226/18725.
- [19] NTE INEN 857, “Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, no. Primera Edición, pp. 1–14, 2010, [Online]. Available: <http://apps.normalizacion.gob.ec>
- [20] NTE INEN 156, “Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,” p. 9, 2009.
- [21] NTE INEN 858, “Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos [NTE 858 INEN],” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 5, 2010.
- [22] NTE INEN 862, “Aridos Para Hormigon. Determinacion Del Contenido Total De Humedad,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–8, 2011.
- [23] D. hidayat fahrul, “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ADICIONADO CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ,” pp. 31–41, 2023.
- [24] NTE INEN 3124, “Hormigón. Elaboración Y Curado De Especímenes De Ensayo En El Laboratorio,” pp. 1–19, 3124.

Anexos



Fotografía 1.- Quema del rastrojo de maíz



Fotografía 2.- Control de tiempo de calcinación



Fotografía 3.- Rastrojo de maíz calcinado



Fotografía 4.- Obteniendo la ceniza de rastrojo de maíz



Fotografía 5.- Ensayo de granulometría de agregado fino.



Fotografía 6.- Toma de peso de agregado grueso



Fotografía 7.- Tamizado del agregado grueso



Fotografía 8.- Muestra de agregado grueso en el horno



Fotografía 9.- Densidad aparente del agregado grueso



Fotografía 10.- Densidad aparente del agregado fino



Fotografía 11.- Comprobación si la muestra de arena se encuentra en estado SSS



Fotografía 12.- Sacando las burbujas de aire para la eliminación de vacíos para la densidad real de la arena



Fotografía 13.- Arena en estado SSS



Fotografía 14.- Colocación de agua en pycnómetro con muestra de arena SSS



Fotografía 15.- Peso de pycnómetro+ agua+muestra SSS



Fotografía 16.- Secado de muestra para obtención de grava SSS



Fotografía 17.- Uso de canastilla para ensayo de densidad real de la grava



Fotografía 18.- Toma de pesos para capacidad de absorción.



Fotografía 19.- Densidad real del cemento



Fotografía 20.- Muestra de ceniza



Fotografía 21.- Peso de picnómetro+ ceniza+gasolina



Fotografía 22.- Toma de muestras para contenido de humedad



Fotografía 23.- Peso grava para dosificación



Fotografía 24.- Peso de arena para dosificación



Fotografía 25.- Elaboración de hormigón



Fotografía 26.- Medición del asentamiento



Fotografía 27.- Colocación de la mezcla en los cilindros metálicos



Fotografía 28.- Desmolde de los cilindros



Fotografía 29.- Colocación de probetas en la cámara de curado



Fotografía 30.- Toma de peso de probetas



Fotografía 31.- Toma de dimensiones de probetas



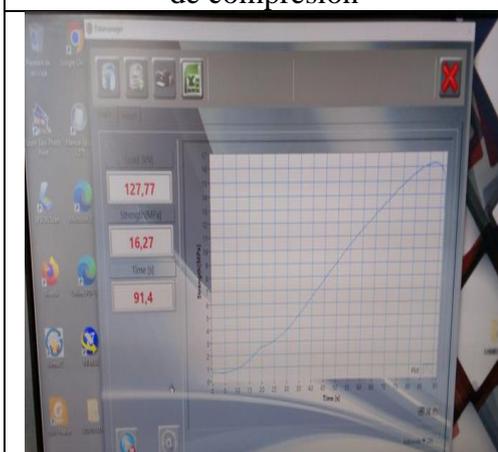
Fotografía 32.- Configuración de máquina a compresión



Fotografía 33.- Ensayo en máquina de compresión



Fotografía 34.- Falla obtenida



Fotografía 35.- Obtención de resultados



Fotografía 36.- Probetas ensayadas