



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN ($f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$), HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO UTILIZANDO AGREGADOS PERTENECIENTES A LA PLANTA DE TRITURACIÓN “JAIME VACA” DEL CANTÓN TENA DE LA PROVINCIA DEL NAPO.”

AUTOR: KLEVER JAVIER CAIZA YUNGÁN

TUTOR: ING. M.Sc. MARITZA UREÑA

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. M.Sc. Maritza Ureña certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN ($f_c = 240 \text{ KG/CM}^2$), HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO UTILIZANDO AGREGADOS PERTENECIENTES A LA PLANTA DE TRITURACIÓN “JAIME VACA” DEL CANTÓN TENA DE LA PROVINCIA DEL NAPO” es de autoría del egresado Klever Javier Caiza Yungán, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Enero de 2017

Ing. M.Sc. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Klever Javier Caiza Yungán con C.I: 160074554-9, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental con el tema: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN ($f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$), HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO UTILIZANDO AGREGADOS PERTENECIENTES A LA PLANTA DE TRITURACIÓN “JAIME VACA” DEL CANTÓN TENA DE LA PROVINCIA DEL NAPO”, es de mi completa autoría y fue realizado en el período Septiembre 2016 – Enero 2017.

Ambato, Enero de 2017

Klever Javier Caiza Yungán

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que se haga de este proyecto de investigación o parte de ello un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi proyecto con fines de difusión pública además apruebo la reproducción del mismo, dentro de las regularidades de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero de 2017

Klever Javier Caiza Yungán

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN ($f_c = 240 \text{ KG/CM}^2$), HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO UTILIZANDO AGREGADOS PERTENECIENTES A LA PLANTA DE TRITURACIÓN “JAIME VACA” DEL CANTÓN TENA DE LA PROVINCIA DEL NAPO”, del egresado Klever Javier Caiza Yungán, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Abril de 2017

Para constancia firman.

Ing. Mg. Diego Chérrez G.

Ing. Alex Frías Torres

DEDICATORIA

El desarrollo de este trabajo experimental se lo dedico, en primer lugar, a Dios, pues ha sido gracias a él que me ha dado la fortaleza, sabiduría y humildad para complementar una meta más en mi vida.

Se lo dedico también a mis padres que me han apoyado con su voz de aliento a seguir a delante y no rendirme en cada escalón que iba subiendo en mi vida profesional y personal.

Se lo dedico a mi hermano que aunque ha existido diferencias siempre me ha acompañado y apoyado en la trayectoria de la vida.

Se lo dedico a mi hijo y su espectacular madre que se han vuelto en mi enfoque de vida, para continuar con más metas propuestas en mi vida profesional y personal.

Se lo dedico a mi familia en general, que siempre han estado ahí cuando lo he necesitado y me han brindado su apoyo y consejo.

Javier Caiza

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a Dios, por haberme brindado de la salud y permitido que siguiera con mis proyectos de vida.

Gracias a mis padres, Raúl y Aurora, por haberme guiado en mi vida profesional y personal aconsejándome y apoyándome, por haberme inculcado buenos valores y seguir siendo un gran ejemplo de esfuerzo y dedicación.

Gracias a mi hermano Jefferson por acompañarme y apoyarme en los buenos y malos momentos que suelen suscitarse en el transcurso de la vida.

Gracias a Gabriela que ha sido mi amiga, compañera y amor incondicional; que siempre ha estado presente en los últimos niveles de mi etapa universitaria dándome apoyo y consejos para que logré culminar una meta más en mi vida profesional.

Gracias a mis compañeros y amigos por haber compartido una etapa universitaria excepcional e inolvidable en los buenos y malos momentos.

Gracias a la Ing. Maritza Ureña por las tutorías que me ha brindado durante el tiempo que se me ha tomado el desarrollo de este trabajo experimental.

Javier Caiza

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVIII

B. TEXTO

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema del trabajo experimental.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN.....	6

2.1 Fundamentación teórica	6
2.1.1 Hormigón	6
2.1.2 Durabilidad del hormigón	6
2.1.3 Agregados	7
2.1.3.1 Agregado fino.....	7
2.1.3.2 Agregado grueso	7
2.1.4 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino y grueso.....	7
2.1.4.1 Análisis granulométrico del agregado fino y grueso	7
2.1.4.2 Módulo de finura del agregado fino.....	9
2.1.4.3 Tamaño nominal máximo del agregado grueso	9
2.1.5 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	10
2.1.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino y grueso.....	10
2.1.7 Contenido de humedad del agregado fino y grueso	11
2.1.8 Cemento Portland.....	11
2.1.8.1 Cemento Portland según la Norma ASTM	12
2.1.8.2 Cementos hidráulicos mezclados según la Norma ASTM.....	12
2.1.8.3 Cemento Portland según la Norma INEN	13
2.1.8.4 Cementos Especiales	16
2.1.9 Agua en la construcción	16
2.1.9.1 Agua para la mezcla del hormigón.....	16
2.1.10 Relación agua/cemento	17
2.1.11 Asentamiento del hormigón	17
2.1.12 Consistencia del hormigón.....	18
2.1.13 Elaboración y curado de las muestras de hormigón.....	19
2.1.14 Método de la Densidad Óptima (UCE).....	20
2.1.15 Probetas de hormigón ensayadas a compresión	20
2.1.16 Puzolana	21
2.1.16.1 Puzolanas Naturales	22
2.1.16.2 Puzolanas Artificiales	22

2.1.16.3 Puzolanas utilizadas en el trabajo experimental	23
2.1.16.4 Trigo.....	23
2.1.16.4.1 Producción.....	23
2.1.16.4.2 Comercialización	23
2.1.16.4.3 Localización	24
2.1.16.4.4 Características de la ceniza de cáscara de arroz y trigo	24
2.1.16.5 Microsílice.....	25
2.1.16.5.1 Producción.....	25
2.1.16.5.2 Comercialización	26
2.2 Hipótesis.....	26
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	26
2.3.1 Variable Independiente	26
2.3.2 Variable Dependiente.....	26
CAPÍTULO III.....	27
METODOLOGÍA	27
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	27
3.2 Población y muestra	28
3.2.1 Delimitación de la muestra.....	28
3.3 Operacionalización de variables	30
3.3.1 Variable Independiente	30
3.3.2 Variable Dependiente.....	31
3.4 Plan de recolección de información	32
3.5 Plan procesamiento y análisis	33
CAPÍTULO IV	34
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	34
4.1 Recolección de datos.....	34
4.1.1 Pasos para la dosificación del hormigón.....	35
4.1.2 Ensayos realizados a los agregados.....	39
4.1.3 Ensayo realizado al cemento.....	45

4.1.4 Dosificación del hormigón.....	46
4.1.5 Ensayo realizado a la ceniza de cáscara de trigo.....	47
4.1.6 Dosificación al peso $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	48
4.1.7 Dosificación al peso con adición de ceniza de cáscara de trigo.....	49
4.1.8 Dosificación al peso con adición de microsílíce	52
4.1.9 Propiedades del hormigón en estado fresco	55
4.1.10 Ensayo a compresión de las probetas elaboradas.....	63
4.2 Análisis de los resultados	72
4.2.1 Comparación de la resistencia de probetas ensayadas a compresión.....	72
4.2.2 Análisis de Precios Unitarios	82
4.2.3 Análisis Costo-Beneficio	85
4.3 Verificación de hipótesis.....	86
CAPÍTULO V	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1 Conclusiones	87
5.2 Recomendaciones.....	89

C. MATERIALES DE REFERENCIA

MATERIALES DE REFERENCIA	90
1. Bibliografía	90
2. Anexos	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Tamaño de los tamices para el agregado grueso.....	8
Tabla 2.- Tamaño de los tamices para el agregado fino.....	8
Tabla 3.- Límites para la curva granulométrica del agregado grueso	8
Tabla 4.- Límites para la curva granulométrica del agregado fino	9
Tabla 5.- Intervalos de la consistencia del hormigón fresco	19

Tabla 6.- Nomenclatura para la dosificación del hormigón	20
Tabla 7.- Características físico-químicas de la ceniza de cáscara de arroz y trigo	25
Tabla 8.- Delimitación de las probetas de hormigón	29
Tabla 9.- Operacionalización de la variable independiente	30
Tabla 10.- Operacionalización de la variable dependiente	31
Tabla 11.- Preguntas para el plan de recolección de información	32
Tabla 12.- Cantidad de pasta en porcentajes según el asentamiento.....	36
Tabla 13.- Resistencia a compresión del hormigón en función a la relación agua/cemento (w/c)	37
Tabla 14.- Análisis granulométrico del agregado grueso.....	39
Tabla 15.- Análisis granulométrico del agregado fino	40
Tabla 16.- Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.....	41
Tabla 17.- Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino	41
Tabla 18.- Densidad aparente compactada de la mezcla.....	42
Tabla 19.- Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	43
Tabla 20.- Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	44
Tabla 21.- Densidad real del cemento	45
Tabla 22.- Dosificación del hormigón por el Método de la Densidad Óptima	46
Tabla 23.- Contenido de humedad y capacidad de absorción de la ceniza de cáscara de trigo	47
Tabla 24.- Dosificación al peso $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	48
Tabla 25.- Dosificación al peso con 20% adición de ceniza de cáscara de trigo	49
Tabla 26.- Dosificación al peso con 24% adición de ceniza de cáscara de trigo	50
Tabla 27.- Dosificación al peso con 28% adición de ceniza de cáscara de trigo	51
Tabla 28.- Dosificación al peso con 7% adición de microsílíce	52
Tabla 29.- Dosificación al peso con 11% adición de microsílíce	53
Tabla 30.- Dosificación al peso con 15% adición de microsílíce	54

Tabla 31.- Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	55
Tabla 32.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 20% adición de ceniza de cáscara de trigo.....	56
Tabla 33.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 24% adición de ceniza de cáscara de trigo.....	57
Tabla 34.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 28% adición de ceniza de cáscara de trigo.....	58
Tabla 35.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 7% adición de microsílíce	59
Tabla 36.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 11% adición de microsílíce ...	60
Tabla 37.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 15% adición de microsílíce ...	61
Tabla 38.- Comparación entre asentamientos de los hormigones	62
Tabla 39.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de edad	63
Tabla 40.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días de edad	64
Tabla 41.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad	65
Tabla 42.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 7 días de edad	66
Tabla 43.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 14 días de edad	67
Tabla 44.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 28 días de edad	68
Tabla 45.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 7 días de edad	69
Tabla 46.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 14 días de edad	70

Tabla 47.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 28 días de edad	71
Tabla 48.- Comparación de la resistencia de probetas ensayadas a compresión	72
Tabla 49.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	82
Tabla 50.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de cáscara de trigo	83
Tabla 51.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de microsílíce....	84
Tabla 52.- Cuadro comparativo para el análisis costo-beneficio	85

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Compactación de 25 golpes con la varilla	18
Imagen 2.- Medición del asentamiento del hormigón.....	18
Imagen 3.- Toma de muestras de hormigón en cilindros	19
Imagen 4.- Tipos de fallas en probetas de hormigón ensayadas a compresión.....	21
Imagen 5.- Trillado de la cáscara de trigo	24
Imagen 6.- Hacienda Concepción de Monjas.....	24

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Densidad Real de la Mezcla.....	36
Ecuación 2.- Porcentaje Óptimo de Vacíos.....	36
Ecuación 3.- Cantidad de Cemento	37
Ecuación 4.- Cantidad de Agua.....	37
Ecuación 5.- Cantidad de Arena.....	38
Ecuación 6.- Cantidad de Ripio	38
Ecuación 7.- Dosificación al peso de los materiales	38
Ecuación 8.- Cálculo de la cantidad de material para un saco de cemento.....	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Curva de resistencia de las probetas ensayadas a compresión	73
Gráfico 2.- Resistencia de las probetas ensayadas a compresión.....	74
Gráfico 3.- Curva de resistencia a compresión con adición de ceniza de cáscara de trigo	76
Gráfico 4.- Resistencia a compresión con adición de ceniza de cáscara de trigo	77
Gráfico 5.- Curva de resistencia a compresión con adición de microsílíce	79
Gráfico 6.- Resistencia a compresión con adición de microsílíce.....	80
Gráfico 7.- Análisis costo-beneficio para 1 m ³ de hormigón.....	85

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Agregado fino	94
Fotografía 2.- Agregado grueso.....	94
Fotografía 3.- Tamizado del agregado fino	94
Fotografía 4.- Tamizado del agregado grueso	94
Fotografía 5.- Peso retenido en cada tamiz del agregado fino.....	95
Fotografía 6.- Peso en cada tamiz del agregado grueso.....	95
Fotografía 7.- Densidad aparente suelta del agregado grueso	95
Fotografía 8.- Densidad aparente compactada del agregado grueso	95
Fotografía 9.- Peso de la muestra con agregado grueso compactado	95
Fotografía 10.- Densidad aparente suelta del agregado fino	95
Fotografía 11.- Densidad aparente compactada del agregado fino.....	96
Fotografía 12.- Peso de la muestra con agregado fino compactado	96
Fotografía 13.- Mezcla de los agregados grueso y fino.....	96
Fotografía 14.- Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados.....	96
Fotografía 15.- Peso de la muestra con la mezcla de los agregados compactados	96
Fotografía 16.- Secado del agregado fino hasta el estado saturado superficie seca	96

Fotografía 17.- Ensayo para determinar el estado saturado superficie seca	97
Fotografía 18.- Secado del agregado grueso hasta el estado saturado superficie seca ...	97
Fotografía 19.- Peso de las muestras de los agregados en estado saturado superficie seca.....	97
Fotografía 20.- Densidad real del agregado fino	97
Fotografía 21.- Mezclado de la arena en estado saturado superficie seca con el agua ...	97
Fotografía 22.- Densidad real del agregado grueso	97
Fotografía 23.- Peso del picnómetro añadido cemento.....	98
Fotografía 24.- Mezclado de la gasolina con el agua	98
Fotografía 25.- Peso del picnómetro añadido cemento y gasolina hasta el aforo.....	98
Fotografía 26.- Llenado de la gasolina en el picnómetro hasta el aforo	98
Fotografía 27.- Dosificación al peso de los agregados en parihuelas	99
Fotografía 28.- Ensayo del asentamiento con el cono de Abrams.....	99
Fotografía 29.- Chequeo del asentamiento del hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	99
Fotografía 30.- Elaboración de las probetas de hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	99
Fotografía 31.- Enrazado de la probeta de hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	100
Fotografía 32.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	100
Fotografía 33.- Sacos con cáscara de trigo	100
Fotografía 34.- Quemado de la cáscara de trigo en un horno	100
Fotografía 35.- Ceniza de cáscara de trigo	101
Fotografía 36.- Cernido de la ceniza de cáscara de trigo con el tamiz #200	101
Fotografía 37.- Ceniza de cáscara de trigo en estado saturado superficie seca	101
Fotografía 38.- Pesos de las muestras de ceniza de cáscara de trigo en estado S.S.S ..	101
Fotografía 39.- Colocación de las muestras de ceniza de cáscara de trigo S.S.S en el horno	101
Fotografía 40.- Medición del diámetro de los cilindros para las probetas del hormigón	101

Fotografía 41.- Colocación de la ceniza en la concreteira después de los agregados....	102
Fotografía 42.- Chequeo del asentamiento con el cono de Abrams	102
Fotografía 43.- Elaboración de las probetas de hormigón con ceniza de cáscara de trigo	102
Fotografía 44.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón con ceniza	102
Fotografía 45.- Medición del diámetro de los cilindros para las probetas de hormigón	103
Fotografía 46.- Colocación del microsílíce en la concreteira después de los agregados	103
Fotografía 47.- Ensayo del asentamiento con el cono de Abrams.....	103
Fotografía 48.- Chequeo de asentamiento del hormigón con adición de microsílíce...	103
Fotografía 49.- Peso del cilindro más muestra de hormigón con microsílíce.....	104
Fotografía 50.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón con microsílíce	104
Fotografía 51.- Desencofrado de las probetas de hormigón	104
Fotografía 52.- Colocación de las probetas de hormigón en la cámara de curado	104
Fotografía 53.- Medición del diámetro de las probetas de hormigón a ser ensayadas	105
Fotografía 54.- Peso de las probetas de hormigón a ser ensayadas	105
Fotografía 55.- Colocación de las probetas de hormigón en la máquina de compresión	105
Fotografía 56.- Ensayo de las probetas de hormigón en la máquina de compresión....	105
Fotografía 57.- Resistencias de las probetas de hormigón en la máquina de compresión	105
Fotografía 58.- Desalojo de las probetas de hormigón ensayadas	105

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.”

AUTOR: Klever Javier Caiza Yungán

TUTOR: Ing. M.Sc. Maritza Ureña Aguirre

FECHA: Enero 2017

El presente trabajo experimental comienza con el análisis de las propiedades físico-mecánicas del agregado fino y grueso obtenido de la planta de trituración Jaime Vaca ubicada en el sector Canoa Yacu del cantón Tena de la Provincia del Napo, en donde se obtuvo resultados aceptables para la mezcla del hormigón.

Luego se buscan dos puzolanas artificiales para sustituir parcialmente al cemento y elaborar hormigón; para lo cual se utilizó la ceniza de cáscara de trigo con un contenido de sílice entre el 70% y 80% que es un residuo de la industria agrícola y el microsílíce con un contenido de sílice superior al 95% que es un residuo industrial procesado.

Durante la investigación se realizaron sustituciones parciales del cemento con diferentes dosificaciones, es decir, se sustituyó el 20%, 24%, 28% con ceniza de cáscara de trigo y el 7%, 11%, 15% con microsílíce, realizando probetas de hormigón con las diferentes dosificaciones y se las ensayaron a los 7, 14 y 28 días de curado.

La sustitución parcial del cemento con el 20% de la ceniza de cáscara de trigo presentó mejores resultados que con el 24% y 28%, dando una resistencia de $212,11 \text{ kg/cm}^2$ ensayada a los 28 días de curado.

La sustitución parcial del cemento con el 7%, 11% y 15% de microsílíce presentó buenos resultados sobrepasando en un 80% la resistencia establecida de 240 kg/cm^2 .

EXECUTIVE ABSTRACT

TOPIC: “Comparative study of the compressive strength between concrete ($f'c = 240$ kg/cm²), concrete with addition of silica fume and concrete with addition of wheat husk ash using aggregates belonging to the “Jaime Vaca” crushing plant of the Tena canton of the Napo province.”

AUTHOR: Klever Javier Caiza Yungán

TUTOR: Ing. M.Sc. Maritza Ureña Aguirre

DATE: January 2017

The present experimental work begins with the analysis of the physical and mechanical properties of the fine and coarse aggregate obtained from the Jaime Vaca crushing plant located in the Canoa Yacu sector of the Tena canton of the Napo province, where acceptable results were obtained concrete mix.

Then two artificial pozzolans are sought to partially replace the cement and to make concrete; for which wheat husk ash with a silica content between 70% and 80% which is a residue of the agricultural industry and silica fume with a silica content of more than 95% which is a processed industrial waste was used.

During the investigation, partial substitutions of the cement with different dosages were performed, that is, 20%, 24%, 28% with wheat husk ash and 7%, 11%, 15% were replaced with silica fume, making concrete specimens with the different dosages and were tested at 7, 14 and 28 days of curing.

The partial replacement of the cement with 20% of the wheat husk ash presented better results than with 24% and 28%, giving a strength of 212,11 kg/cm² tested at 28 days of curing.

The partial replacement of the cement with 7%, 11% and 15% of silica fume presented good results exceeding 80% the established strength of 240 kg/cm².

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental:

Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.

1.2 Antecedentes:

En la época que se comenzó a usar los superplastificantes, algunos investigadores estudiaban la posibilidad de emplear materiales que contengan propiedades cementantes y consiguieran sumarse a la acción del cemento para conseguir incrementos en la resistencia del hormigón. Dándose en el año 1980, en Noruega la utilización de microsílíce o humo de sílice como material ligante suplementario en la preparación del hormigón; obtenido como subproducto en la fabricación del silicio. [1] La producción de microsílíce en hormigones de alto desempeño se incrementó entre la década de los 80's y 90's. [2]

Con el avance del tiempo se han ido reutilizando residuos agrícolas e industriales de carácter puzolánico en hormigones, tales como la ceniza de cáscara de arroz, la ceniza de bagazo de caña de azúcar, metacaolín o las más conocidas que son la escoria de altos hornos, ceniza volante y microsílíce o humo de sílice. [1]

Se ha evidenciado grandes edificaciones construidas en Canadá, Washington y Malasia donde se ha empleado el uso de microsílíce y cenizas volantes como sustitución parcial del cemento dando buenos resultados. [2]

En una investigación realizada en la ciudad de Ambato sobre la sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de arroz indica que da buenos resultados en el

comportamiento del hormigón y debido a que la cáscara de trigo tiene propiedades semejantes a la cáscara de arroz se espera que el comportamiento del hormigón presente resultados similares. [3]

En otra investigación realizada en la ciudad de San Salvador se evidencia que la sustitución parcial del cemento con microsílíce da buenos resultados en el comportamiento del hormigón ensayado a compresión. [4]

Con lo descrito anteriormente se concluye que el hormigón ha sido de gran utilidad para el desarrollo de la civilización, sin embargo, debido a su alto costo y al impacto ambiental que genera su producción y uso excesivo; se está innovando la forma de producir hormigón con nuevos tipos de materiales puzolánicos sin afectar la resistencia y en lo posible incrementar la misma.

1.3 Justificación:

La utilización del microsílíce ha aumentado considerablemente desde los años 80's hasta la actualidad debido a su carácter puzolánico con la combinación de cemento, esto se ha evidenciado en algunas construcciones importantes como lo es el Edificio de Almacenaje Nuclear Hanford situado en Washington, en donde se necesitó que el hormigón sea fácil de colocar debido a la forma arquitectónica del edificio, además de tener un control de la temperatura del hormigón, altas resistencias tempranas para poder desencofrar y alta durabilidad, por lo tanto se utilizó una mezcla de cemento Portland con microsílíce que contenga el 11% del peso de los materiales cementantes. [2]

También se ha tomado en consideración para construcciones importantes el uso de cenizas volantes artificiales por su carácter puzolánico en combinación con el cemento de donde se puede apreciar la construcción de las Torres Petronas situadas en Kuala Lumpur, en donde el hormigón se clasificó por grados según la resistencia de diseño, como es el caso del grado 80 con resistencias de 80 MPa en 56 días, siendo el hormigón de mayor resistencia utilizado en las Torres Petronas, en donde el cemento fue sustituido

parcialmente con adiciones de ceniza volante y también se incorporó microsíllice para mejorar la resistencia del hormigón. [2]

En el Ecuador se han evidenciado obras de gran magnitud como la Central Hidroeléctrica Paute, Central Hidroeléctrica Agoyán, Central Hidroeléctrica San Francisco, Central Hidroeléctrica Pucará-Pisayambo y últimamente la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. [5] El proyecto denominado Coca Codo Sinclair, fue definido como el proyecto hidroeléctrico más atractivo de la cuenca del río Coca y uno de los mejores proyectos de generación eléctrica para el Ecuador. [6]

La búsqueda de nuevas maneras de formar hormigón ha llevado a realizar ensayos con nuevos materiales puzolánicos como lo es la ceniza de cáscara de arroz que ya se ha experimentado en algunas Universidades del Ecuador como lo son: en la Universidad Técnica de Ambato, Universidad Central del Ecuador y la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en donde se ha concluido que da buenos resultados al sustituir parcialmente al cemento con ceniza de cáscara de arroz.

De acuerdo a los experimentos descritos anteriormente en algunas universidades se destaca la tesis realizada por el Ing. Oscar Coyasamin en la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón adicionado con cenizas de cáscara de arroz (CCA) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBC).” indica buenos resultados obtenidos con dichas adiciones. [3] En la tesis realizada por los Ing. Pablo Bastidas y Gabriela Ortiz en la Universidad Central del Ecuador bajo el tema: “Comportamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar demostrando un buen comportamiento a compresión. [7] Otra tesis realizada por el Ing. Javier Molina en la Escuela Superior Politécnica del Litoral bajo el tema: “Adición de ceniza de cascarilla de arroz en hormigón compactado con rodillo” presenta una buena combinación en adición al hormigón. [8]

Según estudios previos se ha evidenciado que la ceniza de cáscara de arroz puede llegar a contener un porcentaje de más del 90% de sílice en su composición, mientras que la ceniza de cáscara de trigo puede llegar a contener entre el 70% al 80% de sílice, [9] dependiendo principalmente de la temperatura de incineración que está en el rango de 600 °C a 800 °C, duración de la combustión y condiciones de enfriamiento. Al controlar estas variables se logra la obtención de un gran porcentaje de sílice amorfa altamente reactiva que presenta la capacidad de reaccionar con el hidróxido de calcio producto de las reacciones de hidratación del cemento, dando lugar a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado (CHS) que ayudan al incremento de la resistencia mecánica de los concretos adicionados. [10]

Como se describe anteriormente se relaciona que la ceniza de cáscara de trigo es similar a la ceniza de cáscara de arroz con una diferencia entre el 10% al 20% con respecto a su contenido de sílice, se ha investigado que existe una gran superficie de sembríos de trigo en el Ecuador según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) registrada en el año 2011 y 2012, en donde la siembra de trigo subió de 14.000 a 23.000 hectáreas y va en aumento; situadas en las provincias de Imbabura, Pichincha y Bolívar donde se concentra la mayor producción y de este modo se puede obtener con mayor facilidad la cáscara de trigo necesaria para este trabajo experimental incinerándola a temperaturas controladas. [11]

Con lo explicado anteriormente se estaría fomentando este trabajo experimental, que contribuirá al desarrollo de nuevos hormigones con una sustitución parcial del cemento, para lo cual se está planteando la adición de microsílíce y ceniza de cáscara de trigo con diferentes dosificaciones. Este tipo de hormigones utilizado en construcciones contribuyen con el desarrollo económico y social del país al fortalecer nuevas rutas de acceso como puentes entre ciudades, cantones o parroquias, también al dotar de hidroeléctricas, represas y edificios.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo General:

Comparar la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Comparar el asentamiento entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo con su respectiva dosificación.
- Determinar el porcentaje óptimo de adición con microsílíce para un hormigón de alta resistencia a compresión.
- Analizar el costo-beneficio de los hormigones con adición de microsílíce y ceniza de cáscara de trigo como sustitución parcial del cemento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación teórica:

2.1.1 Hormigón:

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes, es decir, agregados y pasta. La pasta está compuesta de cemento Portland y agua, en la cual se une a los agregados fino y grueso que por lo general son arena y grava o piedra triturada respectivamente en una masa pétreo en donde la pasta se endurece debido a la reacción química del cemento con el agua. [12]

En el momento de la mezcla de los materiales, pueden añadirse otros productos o puzolanas artificiales que sustituyan parcialmente el cemento para mejorar algunas características mecánicas del hormigón, tales como la resistencia a la compresión o a la flexión. [13]

2.1.2 Durabilidad del hormigón:

Se define como la capacidad que posee el hormigón para resistir la acción de la intemperie, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Un hormigón durable conservará su forma, calidad y serviciabilidad originales al estar expuesto a su ambiente. Para que en el hormigón se presenten la mayoría de los procesos físicos y químicos, tanto los deseables como los perjudiciales es necesario la presencia del agua.

La selección de materiales apropiados cuya composición sea adecuada y procesarlos correctamente de acuerdo con las condiciones ambientales existentes es fundamental para lograr un hormigón durable que sea resistente a los efectos perjudiciales del agua y las temperaturas extremas. [14]

2.1.3 Agregados:

2.1.3.1 Agregado fino:

El agregado fino estará formado por arena natural, arena fabricada o una combinación de las mismas. La dosificación de una mezcla de hormigón puede ser dependiente del módulo de finura del agregado fino que se va a utilizar. El agregado fino deberá estar libre de impurezas orgánicas. [15] El agregado fino es obtenido de la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo en el Sector Canoa Yacu.

2.1.3.2 Agregado grueso:

El agregado grueso estará constituido por grava, gravilla, piedra triturada o una combinación de los mismos. El tamaño nominal máximo o tamaños permitidos, está basado en el espesor de la sección o el espaciamiento de las barras de refuerzo y son esenciales para utilizar un adecuado tamaño del agregado grueso. [15] El agregado grueso es obtenido de la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo en el Sector Canoa Yacu.

2.1.4 Propiedades físico-mecánicas del agregado fino y grueso:

2.1.4.1 Análisis granulométrico del agregado fino y grueso:

Se utilizará la Norma INEN 0696 donde establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de los agregados fino y grueso por tamizado. Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la granulometría de agregados fino y grueso, para ser utilizados en la mezcla del hormigón. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de los agregados fino y grueso con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. [16]

Tabla 1.- Tamaño de los tamices para el agregado grueso.

TAMAÑO DE ABERTURA DEL TAMIZ	
NORMA INEN 696	NORMA ASTM E11
50 mm	2 in.
37,5 mm	1 1/2 in.
25 mm	1 in.
19 mm	3/4 in.
12,5 mm	1/2 in.
9,5 mm	3/8 in.
4,75 mm	No. 4

Fuente: Norma INEN 696 [16] y Norma ASTM E11 [17]

Tabla 2.- Tamaño de los tamices para el agregado fino.

TAMAÑO DE ABERTURA DEL TAMIZ	
NORMA INEN 872	NORMA ASTM E11
9,5 mm	3/8 in.
4,75 mm	No. 4
2,36 mm	No. 8
1,18 mm	No. 16
0,60 mm	No. 30
0,30 mm	No. 50
0,15 mm	No. 100
0,075 mm	No. 200

Fuente: Norma INEN 872 [18] y Norma ASTM E11 [17]

Tabla 3.- Límites para la curva granulométrica del agregado grueso.

LÍMITES ASTM C 33	
Abertura del Tamiz	% QUE PASA
2 in.	100
1 1/2 in.	95 - 100
1 in.	-
3/4 in.	35 - 70
1/2 in.	-
3/8 in.	10 - 30
No. 4	0 - 5

Fuente: Norma ASTM C33 [15]

Tabla 4.- Límites para la curva granulométrica del agregado fino.

LÍMITES ASTM C 33	
Abertura del Tamiz	% QUE PASA
3/8 in.	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	2 - 10
No. 200	-

Fuente: Norma ASTM C33 [15]

2.1.4.2 Módulo de finura del agregado fino:

El módulo de finura es un factor obtenido mediante la suma de los porcentajes retenido acumulado de los tamices: No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No.4, 3/8 in y esto dividido para 100. [19]

El agregado fino deberá tener no más del 45% al pasar cualquier tamiz y retenido en el siguiente tamiz consecutivo, según los tamices indicados por la ASTM C33 para el agregado fino y su módulo de finura no será inferior a 2,3 ni superior a 3,1. [15]

2.1.4.3 Tamaño nominal máximo del agregado grueso:

El tamaño nominal máximo (T.N.M.) o tamaños permitidos, se basa en el espesor de la sección o en el espaciamiento de las barras de refuerzo. [15] El tamaño nominal máximo se obtiene cuando el % retenido acumulado del agregado grueso es menor al 15% y se encuentre en el rango del tamiz de 1 in. < 1 ½ in. < 2 in, siendo apto para la mezcla en la elaboración del hormigón.

El tamaño máximo de las partículas del agregado grueso generalmente no debe excederse de las siguientes condiciones:

- ✓ 1/5 de la dimensión más pequeña de un elemento de hormigón.
- ✓ 3/4 del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- ✓ 1/3 de la altura de la losa.

Estos requisitos no son obligatorios si a juicio del ingeniero, la mezcla posee buena trabajabilidad al colocar el hormigón sin dejar porosidad o huecos en el mismo. [20]

2.1.5 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados:

Se utilizará la Norma INEN 0858 donde establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria, es decir, el peso volumétrico de los agregados fino y grueso, en condición suelta y compactada. También permite calcular los vacíos entre las partículas de los agregados fino y grueso o en una mezcla de ellos una vez que se haya compactado. Este método de ensayo es aplicable a los áridos que no excedan de un tamaño nominal máximo (T.N.M.) de 125 mm (5 in.). [21]

2.1.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino y grueso:

Se utilizará la Norma INEN 0856 para el agregado fino [22] y la Norma INEN 0857 para el agregado grueso [23], donde establece el método de ensayo para la determinación de la densidad promedio de una muestra del agregado tanto fino como grueso, sin incluir el volumen de vacíos entre partículas, donde también se puede determinar la densidad relativa o gravedad específica y la absorción del agregado tanto fino como grueso.

Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seco al horno (SH), saturado superficie seca (SSS) o como densidad aparente. Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de agregado y proporcionar un valor promedio, que representa a la muestra.

Seco al horno (SH): Condición en la cual los agregados han sido secados por calentamiento en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

Saturado superficie seca (SSS): Condición en la cual los poros permeables de las partículas del agregado se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

2.1.7 Contenido de humedad del agregado fino y grueso:

Se utilizará la Norma INEN 0862 donde establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial inexistente con poros internos del árido saturados de agua (Humedad Natural) y humedad superficial existente con partículas visiblemente mojadas y todos sus poros llenos de agua (Saturado Superficie Húmeda: SSH). En general el método mide de la manera más confiable la humedad que existe en la muestra de ensayo. [24]

2.1.8 Cemento Portland:

Es un cemento hidráulico compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulicos, estos cementos fraguan y se endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, denominada hidratación el cemento se combina con el agua para formar una masa pétreo. Cuando se añade la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) ésta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto. [25]

2.1.8.1 Cemento Portland según la Norma ASTM:

Diferentes tipos de cemento portland se fabrican para cumplir con varios requisitos físicos y químicos normales para fines específicos. Los cementos Portland están fabricados para cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C150 y ASTM C1157. [25]

- La norma ASTM C150 es la especificación estándar para el cemento Portland donde provee de ocho tipos de cemento Portland que utilizan las designaciones en números romanos de la siguiente manera:

Tipo I: Normal.

Tipo IA: Normal e incorporados de aire.

Tipo II: Resistencia moderada a los sulfatos.

Tipo IIA: Resistencia moderada a los sulfatos e incorporados de aire.

Tipo III: Alta resistencia inicial.

Tipo IIIA: Alta resistencia inicial e incorporados de aire.

Tipo IV: Bajo calor de hidratación.

Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos.

- La Norma ASTM C1157 es la especificación de los cementos hidráulicos por desempeño y establece seis tipos de cementos Portland como se indica a continuación:

Tipo GU: Uso general.

Tipo HE: Alta resistencia inicial.

Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.

Tipo MH: Moderado calor de hidratación.

Tipo LH: Bajo calor de hidratación. [25]

2.1.8.2 Cementos hidráulicos mezclados según la Norma ASTM:

Los cementos mezclados se utilizan en todos los aspectos de la construcción de hormigón de la misma manera como los cementos Portland y las materias primas son el cemento

Portland, escoria granulada de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice o microsílice, arcilla calcinada, cal hidratada y combinaciones de estos materiales premezclados. [25]

- La Norma ASTM C595 reconoce dos clases principales de cementos mixtos de la siguiente manera:

Tipo IS(X): Cemento Portland con escoria de alto horno.

Tipo IP(X): Cemento Portland con puzolana.

La letra “X” representa el porcentaje nominal de escoria de alto horno o puzolana incluida en el cemento designado, por ejemplo, Tipo IS (50) contiene 50% en masa de escoria.

El Tipo IS contiene subcategorías, es decir, propiedades especiales opcionales, tales como la inclusión de aire, resistencia moderada a los sulfatos, alta resistencia a los sulfatos, moderado calor de hidratación, que pueden especificarse mediante la adición de los sufijos A, MS, HS, MH correspondientemente. El Tipo IP contiene subcategorías, es decir, propiedades especiales opcionales, tales como la inclusión de aire, resistencia moderada a los sulfatos, alta resistencia a los sulfatos, bajo calor de hidratación, moderado calor de hidratación, que pueden especificarse mediante la adición de los sufijos A, MS, HS, LH, MH correspondientemente. [25]

2.1.8.3 Cemento Portland según la Norma INEN:

- La Norma INEN 0152 establece las características y requisitos físico-químicos que debe cumplir el cemento Portland, para lo cual se aplica los diez tipos de cemento Portland enumerados a continuación:

Tipo I: Son utilizados cuando no se requieren utilizar las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.

Tipo IA: Es un cemento con incorporador de aire para los mismo usos del Tipo I en donde se desea la incorporación de aire.

Tipo II: Es utilizado para uso general y en especial cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo IIA: Es un cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II en donde se desea la incorporación de aire.

Tipo II (MH): Es utilizado para uso general y en especial cuando se desea un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo II (MH) A: Es un cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II (MH) y donde se desea la incorporación de aire.

Tipo III: Es utilizado cuando se desea una alta resistencia inicial o temprana.

Tipo IIIA: Es un cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo III y donde se desea la incorporación de aire.

Tipo IV: Es utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Es utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos. [26]

➤ La Norma INEN 2380 establece los requisitos de desempeño para los cementos hidráulicos en aplicaciones generales y especiales; enumerados a continuación:

Tipo GU: Utilizado para construcciones en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.

Tipo HE: Alta resistencia inicial.

Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.

Tipo MH: Moderado calor de hidratación.

Tipo LH: Bajo calor de hidratación. [27]

➤ La Norma INEN 0490 es aplicada a los cementos hidráulicos compuestos, que se utilizan en aplicaciones generales y especiales, utilizando cemento portland o clinker de cemento portland, con escoria o puzolana, o ambas; o escoria con cal. A continuación se indican los tipos de cementos hidráulicos compuestos destinados para cada tipo de uso: [28]

Tipo IS: Cemento portland de escoria de altos hornos.

Tipo IP: Cemento portland puzolánico.

Tipo IT: Cemento compuesto ternario.

A estos tipos de cemento se le debe agregar el sufijo (X), donde es igual al porcentaje utilizado de escoria o puzolana en el producto expresado como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de la variación admisible; es decir; no variará en más de $\pm 5\%$ en masa del cemento terminado de lote a lote o dentro de un mismo lote.

Para los compuestos ternarios se le debe agregar los sufijos (AX) y (BY) a la designación del Tipo IT. En donde:

A: es “S” para cemento de escoria o “P” para puzolana.

X: es el porcentaje en masa utilizado del constituyente A.

B: es “S” para cemento de escoria o “P” para puzolana.

Y: es el porcentaje en masa utilizado del constituyente B.

Ambos valores “X” y “Y” están expresados como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de las variaciones establecidas; es decir; no variará en más de $\pm 5\%$ en masa del cemento terminado de lote a lote o dentro de un mismo lote. Si “X” y “Y” son iguales expresar primero el contenido de puzolana.

Propiedades Especiales:

Cuando se requieran cementos con incorporador de aire se debe especificar añadiendo el sufijo (A), cuando se requiera con moderada resistencia a los sulfatos se le añade un sufijo (MS), cuando se requiera con moderado calor de hidratación se debe añadir el sufijo (MH), cuando se requiera con alta resistencia a los sulfatos se debe añadir el sufijo (HS) y cuando se requiera con bajo calor de hidratación se deberá añadir el sufijo (LH). [28]

Nota: El cemento utilizado para este trabajo experimental es del Tipo GU.

2.1.8.4 Cementos Especiales:

Cementos Plásticos: El término “plástico” se refiere a la capacidad que posee el cemento para impartir a la pasta un alto grado de plasticidad o capacidad de trabajo.

Cementos para Pozos Pétreos: Son generalmente hechas de clinker de cemento Portland o de cementos hidráulicos mezclados, de fraguado lento y resistente a las altas temperaturas y presiones.

Cementos Repelentes al Agua: Llamados también cementos impermeabilizados, se hacen generalmente mediante la adición de una pequeña cantidad de aditivo hidrófugo, tal como estearato (sodio, aluminio) al cemento clinker durante el final de la molienda.

Cementos de Endurecimiento Rápido: Obtiene una alta resistencia inicial, debido a que es un cemento hidráulico y se utiliza en aplicaciones de construcción, tales como la pavimentación de una vía rápida donde se necesita una resistencia rápida, es decir, la resistencia de diseño alcanzada en cuatro horas. [25]

2.1.9 Agua en la construcción:

El agua es un ingrediente esencial en la preparación de pastas, morteros y hormigón, debido a que el cemento hidráulico debe reaccionar químicamente con el agua para desarrollar la resistencia requerida. La cantidad de agua añadida a una mezcla controla determinará la durabilidad del hormigón. [25]

2.1.9.1 Agua para la mezcla del hormigón:

Según la Norma INEN 2617 establece los requisitos que debe cumplir el agua que se va a utilizar como agua de mezcla en la elaboración de hormigón con cemento hidráulico. Por lo tanto el agua de mezcla puede estar compuesta por:

- ✓ Agua de dosificación (agua cuya masa ha sido determinada o medida a través de una planta dosificadora).
- ✓ Agua con hielo (durante el hormigonado en climas cálidos, donde el hielo se derrite en su totalidad).
- ✓ Agua añadida por el conductor del camión (tanquero de agua).
- ✓ Agua más la humedad libre de los áridos.
- ✓ Agua más la constitución de los aditivos, cuando ésta incrementa la relación agua/material cementante en más de 0,01.

Se permite el uso del agua potable como agua para la mezcla del hormigón sin tener que realizar ensayos que verifiquen su cumplimiento con los requisitos de la Norma INEN 2617 debido a que es una agua apta para el consumo humano y no es perjudicial para la mezcla del hormigón. [29]

2.1.10 Relación agua/cemento:

La relación agua/material cementicio es la división de la masa de agua para la masa del material cementicio que puede ser: cemento Portland, cemento mezclado, cenizas volantes, escoria de alto horno, humo de sílice o microsílice, puzolana natural o artificial. De esta relación depende la resistencia, durabilidad y retracción que va a tener el hormigón. [30]

2.1.11 Asentamiento del hormigón:

Según la Norma INEN 1578 establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico tanto en el laboratorio como en el campo. Este método de ensayo se aplica al hormigón en estado plástico y no es aplicable en hormigones en estado no plástico o no cohesivo.

Se utiliza el método del cono de Abrams en donde se toma una muestra de hormigón recién mezclado que se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado y se

compacta con una varilla de compactación con sus dos extremos redondeados dándole 25 golpes en 3 capas divididas respectivamente del cono.

Imagen 1.- Compactación de 25 golpes con la varilla.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente y se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación, este valor se reporta como el asentamiento del hormigón. [31]

Imagen 2.- Medición del asentamiento del hormigón.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

2.1.12 Consistencia del hormigón:

El hormigón tendrá una consistencia conforme a las características de los elementos estructurales a hormigonar y con los medios disponibles para ser transportado, colocado y correctamente compactado, sin que se produzca segregación, ni exudación perjudicial. Se establecen 6 intervalos de consistencia dependiendo del asentamiento para el hormigón en estado fresco; indicado a continuación: [32]

Tabla 5.- Intervalos de la consistencia del hormigón fresco.

Consistencia	Asentamiento (cm)
Muy Seca	$0 < A \leq 2$
Seca	$2 < A \leq 5$
Plástica	$5 < A \leq 10$
Muy Plástica	$10 < A \leq 15$
Fluida	$15 < A \leq 18$
Muy Fluida	>18

Fuente: Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. [32]

2.1.13 Elaboración y curado de las muestras de hormigón:

Según la Norma INEN 1576 establece los procedimientos necesarios para elaborar y curar cilindros de hormigón tomados de muestras representativas de hormigón fresco. Se toman muestras de hormigón en cilindros donde se compacta con la varilla redondeada en sus extremos dando 25 golpes internos alrededor de la muestra en 3 capas divididas del cilindro y otros 15 golpes externos con el combo de goma.

Imagen 3.- Toma de muestras de hormigón en cilindros.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Se realizará el curado del hormigón en un rango de 30 minutos después de haber retirado las muestras o especímenes de los moldes y se curarán a una temperatura de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, manteniendo todo el tiempo la superficie con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado en donde se colocarán las muestras de hormigón obtenidas. [33]

2.1.14 Método de la Densidad Óptima (UCE):

Este método fue desarrollado por la Universidad Central del Ecuador donde implica establecer las proporciones adecuadas de los materiales que componen el hormigón con el fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas. Para lo cual se va utilizar una tabla con las nomenclaturas que se usarán en la realización del método de la densidad óptima indicada a continuación:

Tabla 6.- Nomenclatura para la dosificación del hormigón.

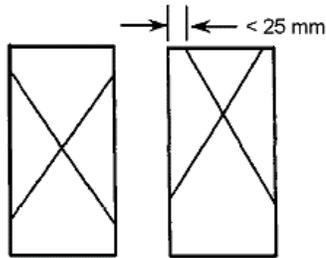
NOMENCLATURA:			
DRC	Densidad Real del Cemento	CP (%)	Cantidad de Pasta en %
DRA	Densidad Real de la Arena	DRM	Densidad Real de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos
DSA	Densidad Suelta de la Arena	CP	Cantidad de Pasta
DSR	Densidad Suelta del Ripio	C	Cantidad de Cemento
POA	Porcentaje Óptimo de Arena	W	Cantidad de Agua
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio	A	Cantidad de Arena
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla	R	Cantidad de Ripio
W/C	Relación Agua/Cemento		

Fuente: Egdo. Klever Caiza

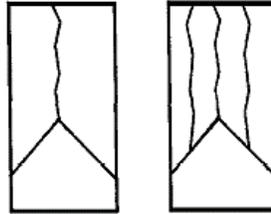
2.1.15 Probetas de hormigón ensayadas a compresión:

Según la Norma INEN 1573 establece el método de ensayo para determinar la resistencia a compresión de especímenes o probetas de hormigón, este consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla. La resistencia a compresión de la probeta de hormigón se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal de la misma. [34]

Imagen 4.- Tipos de fallas en probetas de hormigón ensayadas a compresión.



Tipo 1
Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm



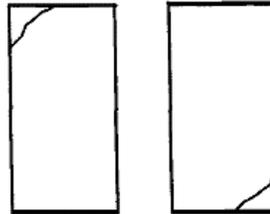
Tipo 2
Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.



Tipo 3
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.



Tipo 4
Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1



Tipo 5
Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

Fuente: Norma INEN 1573 [34]

2.1.16 Puzolana:

El término puzolana viene de una ceniza volcánica extraída en Pozzuoli, un pueblo cerca de Nápoles en Italia a raíz de la erupción del Monte Vesubio. Sin embargo, el uso de ceniza volcánica y arcilla calcinada se remonta al año 2000 antes de Cristo. [35] Las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos que en sí mismo poseen escaso valor cementicio, pero que en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas habituales formando compuestos que poseen propiedades cementicias. Existen tanto puzolanas naturales como puzolanas artificiales. [36]

2.1.16.1 Puzolanas Naturales:

Son materiales naturales sin procesar o calcinados que tiene propiedades puzolánicas, como por ejemplo: la ceniza volcánica o pumicita, arcillas calcinadas, tobas, rocas silíceas con ópalo, roca caliza muy porosa y algunas tierras diatomáceas. [36]

2.1.16.2 Puzolanas Artificiales:

Se definen como residuos o subproductos industriales de diversos orígenes y características, que tienen como carácter principal y común la actividad puzolánica. Los materiales puzolánicos artificiales de mayor uso en la industria de la construcción en la actualidad son: las cenizas volantes y el humo de sílice o microsílíce. [36]

También se pueden usar como adición al hormigón residuos agrícolas que presentan reactividad puzolánica, que generalmente aumentan la durabilidad del hormigón, pero se incrementa la demanda de agua disminuyéndose la trabajabilidad por lo que se debe compensar con el uso de plastificantes.

Algunos ejemplos de residuos agrícolas de base inorgánica son: la ceniza de cáscara de arroz, la ceniza de bagazo de caña de azúcar, ceniza de paja de caña de azúcar, ceniza de cáscara de palma, ceniza de cáscara de trigo, ceniza de paja de trigo y ceniza de borra de café. [13]

Según la Norma ACI 201.2R indica que para mezclas en las cuales el cemento portland es sustituido parcialmente por ceniza fina, puzolana natural, microsílíce o humo de sílice; la proporción de ceniza fina o puzolana natural generalmente estará en el rango de 20% a 50% en masa del material cementicio total. De manera similar, la proporción de microsílíce o humo de sílice estará en el rango de 7% a 15% en masa del material cementicio total. [14]

2.1.16.3 Puzolanas utilizadas en el trabajo experimental:

En el presente trabajo experimental se utilizará como adiciones parciales al cemento, la ceniza de cáscara de trigo que es un residuo de la industria agrícola y el microsílíce que es un residuo industrial procesado.

2.1.16.4 Trigo:

2.1.16.4.1 Producción:

El trigo junto con el arroz, el maíz y la cebada, son los cereales de mayor importancia y demanda en el Ecuador. El consumo nacional de trigo supera las 450 000 toneladas por año (Tm/año). El INIAP está impulsando el cultivo de trigo en el Ecuador, mediante la producción de semillas con énfasis en la generación de variedades mejoradas que presenten buenas características, con resistencias a las principales enfermedades y de buena calidad molinera. La producción de trigo se sitúa en el callejón interandino, en las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar, Cañar y Loja, donde se registran el mayor aporte de grano de molienda y mayor superficie sembrada. [37]

2.1.16.4.2 Comercialización:

Se realiza la cosecha cuando el cultivo alcanza su madurez completa y mediante una hoz se va cortando manualmente en pequeñas superficies. Luego se procede a trillar utilizando una trilladora estacionaria, de donde se desecha la cáscara de trigo y se va almacenado el grano de trigo. Una vez que se haya secado, limpiado y clasificado el grano de trigo, se coloca en sacos limpios y en buen estado para su posterior almacenamiento y comercialización. [37]

Imagen 5.- Trillado de la cáscara de trigo.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

2.1.16.4.3 Localización:

La obtención de la cáscara de trigo se sitúa en la Hacienda Concepción de Monjas de la Asociación de Productores Agropecuarios Virgen del Volcán ubicada en la parroquia de Lloa de la provincia de Pichincha.

Imagen 6.- Hacienda Concepción de Monjas.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

2.1.16.4.4 Características de la ceniza de cáscara de arroz y trigo:

La ceniza de cáscara de arroz difiere entre el 10% al 20% con respecto a la ceniza de cáscara de trigo; debido; a que la ceniza de cáscara de arroz puede llegar a contener el 90% o más de sílice mientras que la ceniza de cáscara de trigo puede llegar a tener entre el 70% al 80% de sílice. [10] Donde se determina un análisis físico-químico de la ceniza de cáscara de arroz con relación a la ceniza de cáscara de trigo, descrito a continuación:

Tabla 7.- Características físico-químicas de la ceniza de cáscara de arroz y trigo.

Descripción	Cenizas	
	Cáscara de Arroz	Cáscara de Trigo
Propiedades Físicas		
Gravedad Específica	1,80	1,90
Superficie Específica (cm ² /gr)	9487	8328
Finura (% pasa tamiz #325)	86,74	83,29
Análisis Químico (%)		
SiO ₂ (Sílice)	80,33	72,62
Al ₂ O ₃ (Alúmina)	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃ (Óxido Férrico)	0,85	0,98
CaO (Óxido de Calcio)	1,24	2,32
MgO (Óxido de Magnesio)	0,43	0,51
SO ₃ (Trióxido de Azufre)	0,31	0,42
K ₂ O (Óxido de Potasio)	1,87	2,93
Na ₂ O (Óxido de Sodio)	0,33	0,33
Contenido Humedad	9,21	5,85
Pérdida al fuego	10,43	11,57
TiO ₂ (Dióxido de Titanio)	Trazas	Trazas
ZnO (Óxido de Cinc)	0,04	0,05
MnO (Óxido de Manganeso)	0,59	0,48
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	N/A	N/A

Fuente: Universidad Central de Venezuela. [38]

Nota: La superficie específica es un indicador de la finura del material y debido a la ausencia de alúmina (Al₂O₃) en las cenizas no hubo un aumento en la capacidad puzolánica; en cambio con al encontrarse un contenido de óxido de Potasio (K₂O) presente en las cenizas es perjudicial para el concreto por la posibilidad de que reaccione con el agregado con la consecuente expansión que normalmente genera esta reacción. [38]

2.1.16.5 Microsílice:

2.1.16.5.1 Producción:

El microsíllice o humo de sílice es un subproducto que se obtiene de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón en un horno de arco eléctrico en la fabricación de silicio o aleación de ferrosilicio. El humo de sílice se eleva como un vapor a temperaturas mayores

a 2000 °C, cuando se enfría se condensa y se recoge en enormes bolsas de tela para ser procesada eliminando las impurezas y controlando el tamaño de las partículas. El microsílíce en el aire es un material como las cenizas volantes debido a que es extremadamente fino con partículas menores a 1 micrómetro (μm) de diámetro, lo que significa aproximadamente 100 veces más pequeño que las partículas promedio del cemento. Su contenido de sílice es mayor al 95% con una superficie específica mayor a 30000 m^2/kg y contenido de humedad entre el 3% y 5% aproximadamente. [35]

2.1.16.5.2 Comercialización:

El microsílíce o humo de sílice en la actualidad ya se encuentra disponible en fundas de 15 kg y son elaborados cumpliendo con los requerimientos de la Norma ASTM C-1240 donde se determinan con ensayos la calidad y eficiencia del producto. [39]

2.2 Hipótesis:

La adición de puzolanas artificiales (microsílíce y ceniza de cáscara de trigo) influirá en la resistencia a compresión del hormigón.

2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis:

2.3.1 Variable Independiente:

Puzolanas artificiales (microsílíce y ceniza de cáscara de trigo).

2.3.2 Variable Dependiente:

Resistencia a compresión.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación:

Los niveles de investigación que se utilizarán en este proyecto serán: bibliográfica, de laboratorio, exploratorio, descriptivo y experimental.

Es bibliográfica porque para elaborar los antecedentes, justificación y fundamentación teórica del presente trabajo experimental se utilizó libros, artículos, tesis, sitios web, notas técnicas, informes y normas.

Es de laboratorio porque para realizar los ensayos de los agregados, cemento, microsílíce y ceniza de cáscara de trigo se utilizará el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Es exploratorio porque se tiene una idea aproximada de los resultados que se van a obtener del análisis comparativo de la resistencia a compresión en el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo.

Es descriptivo porque indica que se va a detallar las características especiales de la adición de microsílíce y adición de la ceniza de cáscara de trigo, tanto en su origen y desarrollo al describir el evento temporal y espacial, es decir, detallando cómo es y cómo se produce el comportamiento a compresión en el hormigón.

Es experimental porque en el desarrollo de la investigación para un nuevo tipo de hormigón con adición de microsílíce y ceniza de cáscara de trigo, se buscará determinar la resistencia a compresión obtenida con las nuevas adiciones de puzolana artificial utilizando porcentajes diferentes.

3.2 Población y muestra:

En el presente trabajo experimental se tiene como población a los hormigones con adición de puzolanas artificiales y se considera como muestra al hormigón con adición de microsílíce y adición de ceniza de cáscara de trigo.

3.2.1 Delimitación de la muestra:

Basada en la Norma ACI 201.2R donde se indica que para mezclas en las cuales el cemento portland es sustituido parcialmente por ceniza fina, puzolana natural, microsílíce o humo de sílice; la proporción de ceniza fina o puzolana natural para este trabajo experimental estará en el rango de 20% a 50% en masa del material cementicio total, y de igual forma la proporción de microsílíce o humo de sílice estará en el rango de 7% a 15% en masa del material cementicio total. [14]

En la Tabla 7 indicada anteriormente donde presenta las características físico-químicas de la ceniza de cáscara de arroz y trigo se determina que dicha ceniza según la Norma ASTM C 618 pertenece al tipo de ceniza volante Clase F [40]; para lo cual se recomienda usar como sustitución parcial del cemento dentro del rango de 15% al 25% según la Norma ACI 211.4R. [41]

En la tesis realizada por el Ing. Oscar Coyasamin en la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón adicionado con cenizas de cáscara de arroz (CCA) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBC).” ha utilizado porcentajes de ceniza de cáscara de arroz del 15% y 30% obteniendo un buen comportamiento a compresión. [3] En otra tesis realizada por el Ing. Javier Molina en la Escuela Superior Politécnica del Litoral bajo el tema: “Adición de ceniza de cascarilla de arroz en hormigón compactado con rodillo” presenta una buena combinación en adición al hormigón ha utilizado porcentajes de ceniza de cáscara de arroz del 16% y 20% como adición en el hormigón dando buenos resultados. [8]

Y para la delimitación de la muestra, la Norma ASTM C 172 [42] recomienda que de cada tipo de hormigón elaborado se debe obtener como mínimo 2 probetas para la determinación de la resistencia a compresión. Para obtener resultados más representativos se tomarán 3 probetas con cada dosificación y 3 probetas para cada día de curado, para el hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo y hormigón con adición de microsílíce; detallándose en una tabla resumen a continuación:

Tabla 8.- Delimitación de las probetas de hormigón.

Tipo de Hormigón	Sustitución Parcial del Cemento	Días de Curado	Número de Muestras Normalizadas
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	0%	7 días	3
		14 días	3
		28 días	3
	Subtotal =		9
Hormigón con adición de microsílíce	7%	7 días	3
		14 días	3
		28 días	3
	11%	7 días	3
		14 días	3
		28 días	3
	15%	7 días	3
		14 días	3
28 días		3	
Subtotal =		27	
Hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo	20%	7 días	3
		14 días	3
		28 días	3
	24%	7 días	3
		14 días	3
		28 días	3
	28%	7 días	3
		14 días	3
28 días		3	
Subtotal =		27	
Número Total de Cilindros =			63

Fuente: Egdo. Klever Caiza

3.3 Operacionalización de variables:

3.3.1 Variable Independiente: Puzolanas Artificiales.

Tabla 9.- Operacionalización de la variable independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Se definen como residuos o subproductos industriales de diversos orígenes y características, que tienen como carácter principal y común la actividad puzolánica.	Microsílice	Propiedades Físico-Químicas	¿Cuáles son las propiedades físico-químicas?	Investigación bibliográfica. Investigación de laboratorio y experimental.
		Resistencia	¿Qué parámetros afectan a la resistencia del hormigón?	Investigación bibliográfica. Normas: INEN, ACI, ASTM. Investigación de laboratorio y experimental.
	Ceniza de Cáscara de Trigo	Propiedades Físico-Químicas	¿Cuáles son las propiedades físico-químicas?	Investigación bibliográfica. Investigación de laboratorio y experimental.
		Resistencia	¿Qué parámetros afectan a la resistencia del hormigón?	Investigación bibliográfica. Normas: INEN, ACI, ASTM. Investigación de laboratorio y experimental.

Fuente: Egdo. Klever Caiza

3.3.2 Variable Dependiente: Resistencia a Compresión.

Tabla 10.- Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es una propiedad mecánica del hormigón que se determina mediante el ensayo de compresión y consiste en aplicar una carga axial sobre los cilindros de hormigón a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla.	Módulo de rotura	Carga Máxima	¿Qué tipo de carga se aplica en los cilindros a ensayar?	Normas: INEN, ACI, ASTM. Investigación de laboratorio y experimental.

Fuente: Egdo. Klever Caiza

3.4 Plan de recolección de información:

Tabla 11.- Preguntas para el plan de recolección de información.

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para investigar el comportamiento del hormigón con adición de microsílíce y ceniza de cáscara de trigo.
2. ¿De qué personas u objetos?	De muestras cilíndricas normalizadas realizadas en el laboratorio que han adquirido su resistencia a su edad máxima.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia del microsílíce y ceniza de cáscara de trigo en la resistencia a compresión de un hormigón de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
4. ¿Quién?	Klever Javier Caiza Yungán
5. ¿Cuándo?	Entre Septiembre de 2016 y Enero de 2017
6. ¿Dónde?	Laboratorio de Ensayo de Materiales de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
7. ¿Cómo?	Investigación bibliográfica. Normas INEN, ACI, ASTM. Ensayos de laboratorio.
8. ¿Con qué?	Herramienta menor. Concreteira. Encofrados cilíndricos. Máquina para ensayo de compresión (Controls). Cámara de curado.

Fuente: Egdo. Klever Caiza

3.5 Plan procesamiento y análisis:

Se seguirá un plan de procesamiento y análisis de la información detallada de la siguiente forma:

- ✓ Revisión de la investigación bibliográfica.

- ✓ Interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio mediante una representación gráfica.

- ✓ Análisis y comparación de resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a los objetivos.

- ✓ Comprobación de resultados con respecto a la hipótesis.

- ✓ Planteamiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Recolección de datos:

Para la realización de este trabajo experimental será necesario realizar ensayos a los agregados (fino y grueso), cemento, microsílíce y ceniza de cáscara de trigo; por lo tanto se detallará una lista a continuación:

- ✚ Análisis granulométrico del agregado grueso.
- ✚ Análisis granulométrico del agregado fino.
- ✚ Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.
- ✚ Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.
- ✚ Densidad aparente compactada de la mezcla de los agregados.
- ✚ Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.
- ✚ Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.
- ✚ Densidad real del cemento.
- ✚ Contenido de humedad y capacidad de absorción de la ceniza de cáscara de trigo.

Los agregados grueso y fino utilizados para este trabajo experimental fueron obtenidos de la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo en el Sector Canoa Yacu.

Una vez culminado con los ensayos detallados anteriormente, se procede a realizar la dosificación del hormigón necesaria para el estudio de este trabajo experimental, que se detalló en la Tabla 6 del capítulo 3.

Finalmente se obtendrán las respectivas resistencias de los cilindros de hormigón ensayados a compresión con su respectiva dosificación al sustituir parcialmente al cemento con microsílíce y ceniza de cáscara de trigo, curadas a su edad establecida, es decir, 7 días, 14 días y 28 días.

4.1.1 Pasos para la dosificación del hormigón:

Después de obtener las características físicas de los agregados grueso y fino, se calculará la dosificación de la mezcla mediante el método de la Densidad Óptima desarrollada por la Universidad Central del Ecuador, en donde se necesitará los siguientes datos:

- ✚ Resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$).
- ✚ Densidad Real del Cemento (DRC).
- ✚ Densidad Real de la Arena (DRA).
- ✚ Densidad Real del Ripio (DRR).
- ✚ Porcentaje Óptimo de la Arena (POA).
- ✚ Porcentaje Óptimo del Ripio (POR).
- ✚ Densidad Óptima de la Mezcla de los agregados (DOM)

De donde se seguirán los pasos indicados a continuación:

➤ **Densidad Real de la Mezcla (DRM):**

Ecuación 1.- Densidad Real de la Mezcla.

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

➤ **Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV):**

Ecuación 2.- Porcentaje Óptimo de Vacíos.

$$POV = \left(\frac{DRM - DOM}{DRM} \right) * 100$$

➤ **Cantidad de Pasta (CP):**

La cantidad de pasta depende del asentamiento obtenido y se determinará de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 12.- Cantidad de pasta en porcentajes según el asentamiento.

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

Fuente: Universidad Central del Ecuador [43]

➤ **Relación Agua/Cemento (W/C):**

La relación agua/cemento depende de la resistencia a compresión esperada del hormigón a los 28 días de curado y se determinará de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 13.- Resistencia a compresión del hormigón en función a la relación agua/cemento (w/c).

Resistencia a los 28 días $f'c$ (kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento (W/C)
450	0,37
400	0,42
350	0,46
300	0,51
280	0,52
240	0,56
210	0,58
180	0,60

Fuente: Universidad Central del Ecuador [43]

➤ **Cantidad de Cemento (C):**

Ecuación 3.- Cantidad de Cemento.

$$C = \frac{CP}{\left(\frac{W}{C}\right) + \frac{1}{DRC}}$$

➤ **Cantidad de Agua (W):**

Ecuación 4.- Cantidad de Agua.

$$W = \left(\frac{W}{C}\right) * C$$

➤ **Cantidad de Arena (A):**

Ecuación 5.- Cantidad de Arena.

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

➤ **Cantidad de Ripio (R):**

Ecuación 6.- Cantidad de Ripio.

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

❖ **Dosificación al Peso:**

Al concluir con los pasos detallados anteriormente, se procede a obtener los factores de material para la dosificación.

➤ **Dosificación al peso de los materiales:**

Ecuación 7.- Dosificación al peso de los materiales.

$$\text{Dosificación (W, A, R)} = \frac{\text{Cantidad de material de mezclado (W, A, R) por } 1\text{m}^3}{\text{Cantidad de Cemento (C)}}$$

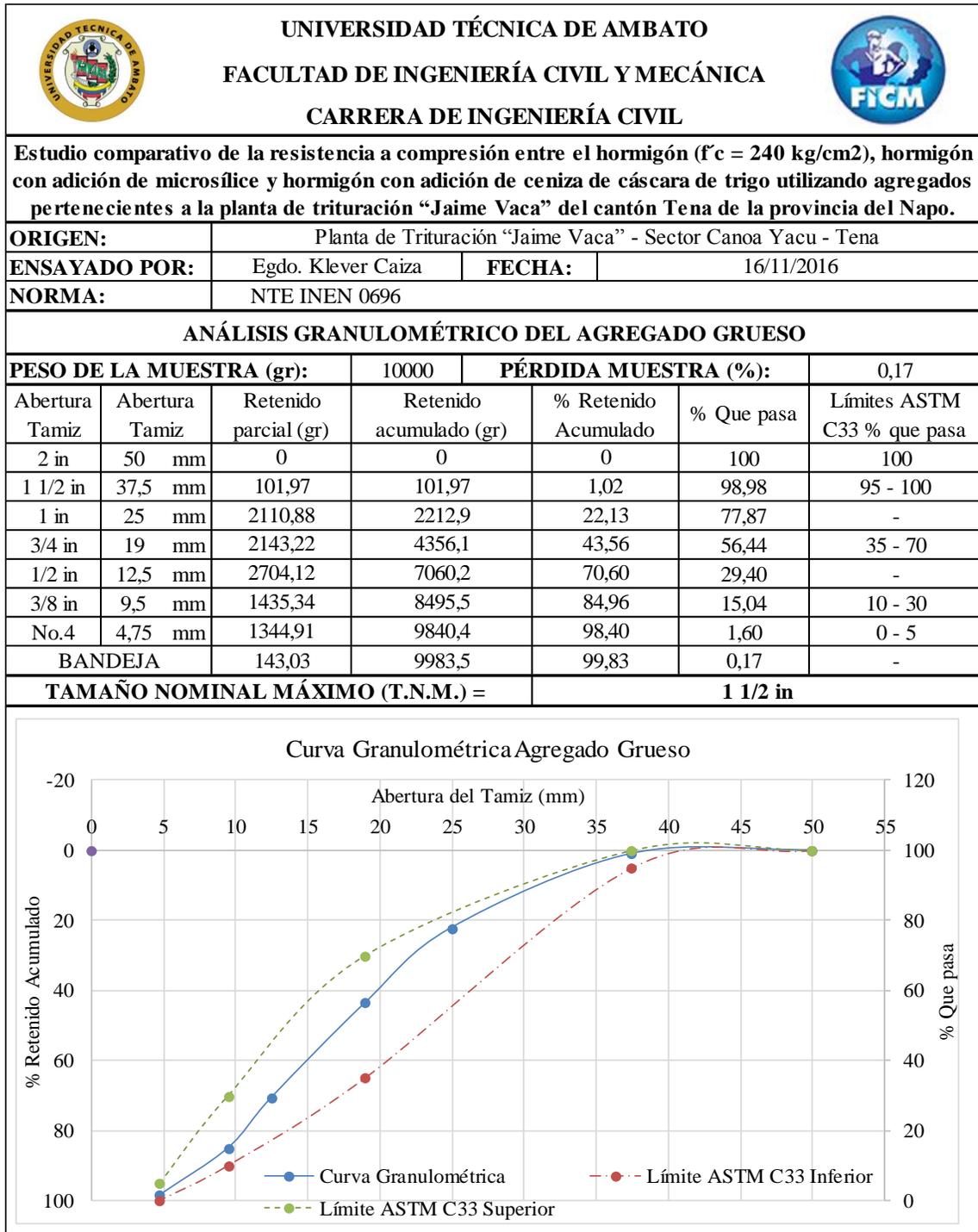
➤ **Cálculo de la cantidad de material para un saco de cemento:**

Ecuación 8.- Dosificación para un saco de cemento.

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

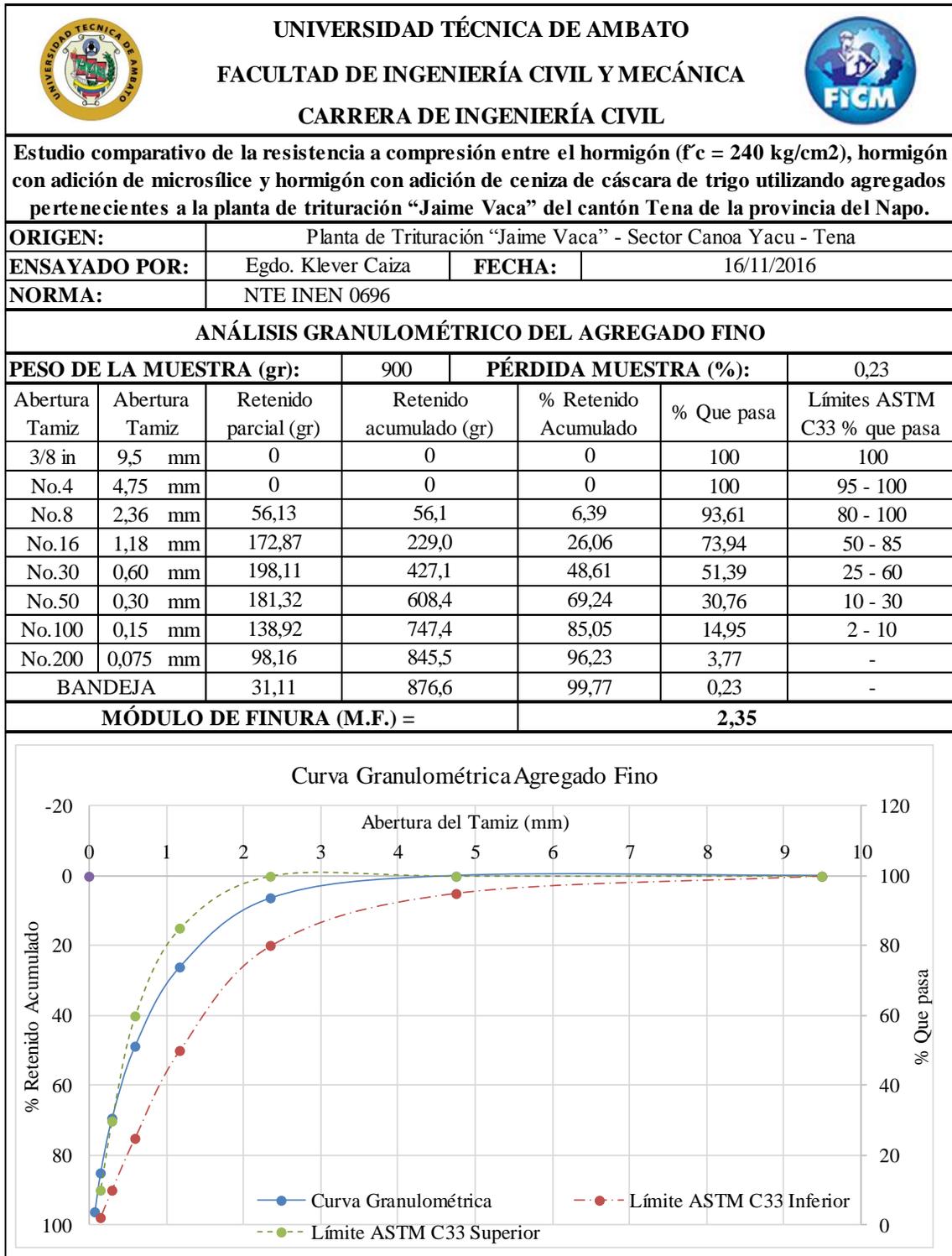
4.1.2 Ensayos realizados a los agregados:

Tabla 14.- Análisis granulométrico del agregado grueso.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 15.- Análisis granulométrico del agregado fino.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 16.- Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.				
ORIGEN:	Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	17/11/2016	
NORMA:	NTE INEN 0858			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO				
MASA RECIPIENTE (kg):	9,90	VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,23	
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
GRUESO	37,60	27,70	1,369	1,367
	37,50	27,60	1,365	
FINO	37,20	27,30	1,350	1,352
	37,30	27,40	1,355	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 17.- Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

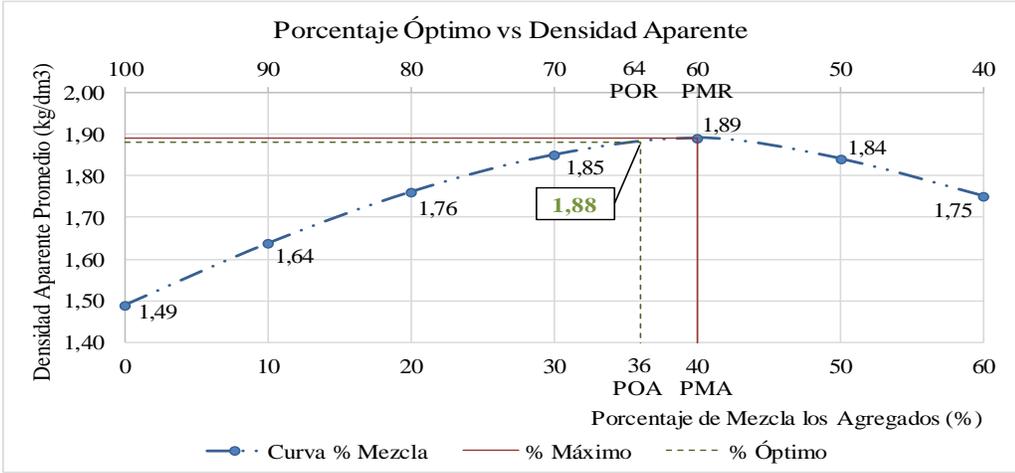
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.				
ORIGEN:	Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	17/11/2016	
NORMA:	NTE INEN 0858			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO				
MASA RECIPIENTE (kg):	9,90	VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):	20,23	
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
GRUESO	40,20	30,30	1,498	1,496
	40,10	30,20	1,493	
FINO	39,80	29,90	1,478	1,481
	39,90	30,00	1,483	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 18.- Densidad aparente compactada de la mezcla.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
 								
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.								
ORIGEN:	Planta de Trituración "Jaime Vaca" - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	17/11/2016					
NORMA:	NTE INEN 0858							
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
MASA RECIPIENTE (kg):		9,90		VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20,23		
% Mezcla		Cantidad (kg)		Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario Mezcla (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	Agregado Fino + Grueso			
100	0	40,00	0,00	0,00	40,00	30,10	1,49	1,49
					40,10	30,20	1,49	
90	10	40,00	4,44	4,44	43,00	33,10	1,64	1,64
					43,10	33,20	1,64	
80	20	40,00	10,00	5,56	45,50	35,60	1,76	1,76
					45,60	35,70	1,77	
70	30	40,00	17,14	7,14	47,30	37,40	1,85	1,85
					47,40	37,50	1,85	
60	40	40,00	26,67	9,52	48,20	38,30	1,89	1,89
					48,10	38,20	1,89	
50	50	40,00	40,00	13,33	47,20	37,30	1,84	1,84
					47,10	37,20	1,84	
40	60	40,00	60,00	20,00	45,40	35,50	1,76	1,75
					45,30	35,40	1,75	

Porcentaje Óptimo vs Densidad Aparente



● Curva % Mezcla
 — % Máximo
 - - - % Óptimo

Porcentaje Máximo del Agregado Fino	40	%
Porcentaje Máximo del Agregado Grueso	60	%
Porcentaje Óptimo del Agregado Fino	36	%
Porcentaje Óptimo del Agregado Grueso	64	%
Peso Unitario Máximo	1,89	kg/dm3
Peso Unitario Óptimo	1,88	kg/dm3

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 19.- Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.				
ORIGEN:	Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	18/11/2016	
NORMA:	NTE INEN 0857			
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1258,00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1094,00	
M3	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el aire	gr	4868,00	
M4	Masa de la canastilla + muestra S.S.S. en el agua	gr	3345,00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1,0	
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra S.S.S. en el aire	gr	3610,00	
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra S.S.S. en el agua	gr	2251,00	
VR = (M5 - M6) / DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1359,00	
DRR = M5 / VR	Densidad real del ripio	gr/cm ³	2,656	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
M7	Masa del recipiente	gr	34,35	33,39
M8	Masa del recipiente + muestra S.S.S.	gr	254,50	248,50
M9 = M8 - M7	Masa de la muestra S.S.S.	gr	220,15	215,11
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	253,08	247,15
M11 = M10 - M7	Masa de la muestra seca	gr	218,73	213,76
CA = (M9 - M11) / M11 * 100	Capacidad de absorción	%	0,65	0,63
CAp = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de absorción promedio	%	0,64	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 20.- Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.				
ORIGEN:	Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	18/11/2016	
NORMA:	NTE INEN 0856			
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO				
Datos	Designación	Unidad	Valor	
M1	Masa del picnómetro	gr	150,35	
M2	Masa del picnómetro + muestra S.S.S.	gr	365,88	
M3	Masa del picnómetro + muestra S.S.S. + agua	gr	782,67	
M4 = M3 - M2	Masa de agua añadida	gr	416,79	
M5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de agua	gr	645,87	
M6 = M5 - M1	Masa de 500 cm ³ de agua	gr	495,52	
DA = M6 / 500 cm³	Densidad del agua	gr/cm ³	1,0	
M7 = M6 - M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	78,73	
Msss = M2 - M1	Masa de la muestra S.S.S.	gr	215,53	
Vsss = M7 / DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	79,44	
DRA = Msss / Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,713	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
M8	Masa del recipiente	gr	33,84	33,86
M9	Masa del recipiente + muestra S.S.S.	gr	296,73	273,25
M10 = M9 - M8	Masa de la muestra S.S.S.	gr	262,89	239,39
M11	Masa del recipiente + muestra seca	gr	293,92	270,83
M12 = M11 - M8	Masa de la muestra seca	gr	260,08	236,97
CA = ((M10 - M12) / M12)*100	Capacidad de absorción	%	1,08	1,02
CAp = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de absorción promedio	%	1,05	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.3 Ensayo realizado al cemento:

Tabla 21.- Densidad real del cemento.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ORIGEN:	Cemento Holcim Rocafuerte		
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	21/11/2016
NORMA:	NTE INEN 0156		
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO			
Datos	Designación	Unidad	Valor
M1	Masa del picnómetro	gr	163,66
M2	Masa del picnómetro + muestra cemento	gr	327,89
M3	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	gr	652,52
M4 = M3 - M2	Masa de gasolina añadida	gr	324,63
M5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	gr	529,57
M6 = M5 - M1	Masa de 500 cm ³ de gasolina	gr	365,91
DG = M6 / 500 cm³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0,73
M7 = M6 - M4	Masa de gasolina desalojada por el cemento	gr	41,28
MC = M2 - M1	Masa del cemento	gr	164,23
VG = M7 / DG	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	56,41
DRC = MC / VG	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2,912

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.4 Dosificación del hormigón:

Tabla 22.- Dosificación del hormigón por el Método de la Densidad Óptima.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.					
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena			
REALIZADO POR:		Egdo. Klever Caiza		FECHA: 21/11/2016	
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
$f'c =$	240	kg/cm²	W/C =	0,56	
Asentamiento =	6 - 9	cm	CP =	POV + 2% + 8% (POV)	
DRC =	2,912	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA =	2,713	gr/cm ³	DRM =	2,677	kg/dm ³
DRR =	2,656	gr/cm ³	POV =	29,77	%
DSA =	1,352	gr/cm ³	CP =	341,47	dm ³
DSR =	1,367	gr/cm ³	C =	377,96	kg
POA =	36	%	W =	211,66	ltrs
POR =	64	%	A =	643,18	kg
DOM =	1,88	kg/dm ³	R =	1119,54	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN (kg) POR CADA M3 DE HORMIGÓN		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (kg) POR SACO DE CEMENTO DE 50 kg	
W =	211,66		0,56	28	
C =	377,96		1	50	
A =	643,18		1,70	85,09	
R =	1119,54		2,96	148,10	
TOTAL =	2352,34		kg/m³	Densidad del Hormigón	
NOMENCLATURA					
DRC	Densidad Real del Cemento		CP (%)	Cantidad de Pasta en %	
DRA	Densidad Real de la Arena		DRM	Densidad Real de la Mezcla	
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos	
DSA	Densidad Suelta de la Arena		CP	Cantidad de Pasta	
DSR	Densidad Suelta del Ripio		C	Cantidad de Cemento	
POA	Porcentaje Óptimo de Arena		W	Cantidad de Agua	
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio		A	Cantidad de Arena	
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla		R	Cantidad de Ripio	
W/C	Relación Agua/Cemento				

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.5 Ensayo realizado a la ceniza de cáscara de trigo:

Tabla 23.- Contenido de humedad y capacidad de absorción de la ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.				
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	22/11/2016	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
H1	Peso ceniza húmeda + recipiente ($W_m + W_r$)	gr	87,70	89,10
H2	Peso ceniza seca + recipiente ($W_s + W_r$)	gr	85,00	86,50
H3	Peso del recipiente (W_r)	gr	30,60	31,40
H4 = H1 - H2	Peso del agua (W_w)	gr	2,70	2,60
H5 = H2 - H3	Peso de la ceniza seca (W_s)	gr	54,40	55,10
CH = (H4 / H5) * 100	Contenido de humedad ($w\% = W_w/W_s * 100$)	%	4,96	4,72
CHp = (CH1 + CH2) / 2	Contenido de humedad promedio (w%)	%	4,84	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO				
Datos	Designación	Unidad	Valor 1	Valor 2
M1	Masa del recipiente	gr	33,50	31,50
M2	Masa del recipiente + ceniza S.S.S.	gr	102,90	105,20
M3 = M2 - M1	Masa de la ceniza S.S.S.	gr	69,40	73,70
M4	Masa del recipiente + ceniza seca	gr	89,40	91,90
M5 = M4 - M1	Masa de la ceniza seca	gr	55,90	60,40
CA = ((M3 - M5) / M5)*100	Capacidad de absorción	%	24,15	22,02
CAp = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de absorción promedio	%	23,09	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.6 Dosificación al peso $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$:

Tabla 24.- Dosificación al peso $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ PARA CILINDROS			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057		m3
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051		m3
Material	Cantidad necesaria para las probetas		Unidad
Cemento	19,26		kg
Agua	10,78		ltrs
Arena	32,77		kg
Ripio	57,04		kg

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.7 Dosificación al peso con adición de ceniza de cáscara de trigo:

Tabla 25.- Dosificación al peso con 20% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílice y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 20% CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE CENIZA =	20 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	15,40	kg
Agua	10,78	11,49	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
20% Ceniza	0	3,85	kg
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza de Cáscara de Trigo			
Contenido de Humedad (C.H.) =	4,84 %	Capacidad de Absorción Corregida (C.A.C) = (C.A. - C.H.) =	18,24 %
Capacidad de Absorción (C.A.) =	23,09 %		
Cantidad de Agua (W) =	10,78 ltrs	Peso 20% Ceniza (CZ) =	3,85 kg
Cantidad de Agua Corregida $(W + ((C.A.C / 100) * CZ) =$			11,49 ltrs

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 26.- Dosificación al peso con 24% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 24% CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE CENIZA =	24 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	14,63	kg
Agua	10,78	11,63	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
24% Ceniza	0	4,62	kg
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza de Cáscara de Trigo			
Contenido de Humedad (C.H.) =	4,84 %	Capacidad de Absorción Corregida (C.A.C) = (C.A. - C.H.) =	18,24 %
Capacidad de Absorción (C.A.) =	23,09 %		
Cantidad de Agua (W) =	10,78 ltrs	Peso 24% Ceniza (CZ) =	4,62 kg
Cantidad de Agua Corregida $(W + ((C.A.C / 100) * CZ) =$			11,63 ltrs

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 27.- Dosificación al peso con 28% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 28% CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE CENIZA =	28 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	13,86	kg
Agua	10,78	11,77	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
28% Ceniza	0	5,39	kg
Corrección Cantidad de Agua por Reemplazo de Ceniza de Cáscara de Trigo			
Contenido de Humedad (C.H.) =	4,84 %	Capacidad de Absorción Corregida (C.A.C) = (C.A. - C.H.) =	18,24 %
Capacidad de Absorción (C.A.) =	23,09 %		
Cantidad de Agua (W) =	10,78 ltrs	Peso 28% Ceniza (CZ) =	5,39 kg
Cantidad de Agua Corregida $(W + ((C.A.C / 100) * CZ) =$			11,77 ltrs

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.8 Dosificación al peso con adición de microsílíce:

Tabla 28.- Dosificación al peso con 7% adición de microsílíce.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 7% MICROSÍLICE			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE MICROSÍLICE =	7 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	17,91	kg
Agua	10,78	10,78	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
7% Microsílíce	0	1,35	kg

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 29.- Dosificación al peso con 11% adición de microsílíce.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 11% MICROSÍLICE			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE MICROSÍLICE =	11 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	17,14	kg
Agua	10,78	10,78	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
11% Microsílíce	0	2,12	kg

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 30.- Dosificación al peso con 15% adición de microsílíce.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.			
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA:	23/11/2016
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 15% MICROSÍLICE			
VOLUMEN CILINDRO =	0,0057 m3		
DÍAS DE CURADO =	7 días	14 días	28 días
N° CILINDROS =	3	3	3
N° CILINDROS TOTAL =	9		
VOLUMEN HORMIGÓN NECESARIO =	0,051 m3		
CANTIDAD DE MICROSÍLICE =	15 %		
Material	Cantidad necesaria para las probetas	Cantidad necesaria con reemplazo parcial del cemento	Unidad
Cemento	19,26	16,37	kg
Agua	10,78	10,78	ltrs
Arena	32,77	32,77	kg
Ripio	57,04	57,04	kg
15% Microsílíce	0	2,89	kg

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.9 Propiedades del hormigón en estado fresco:

Tabla 31.- Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		24/11/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$									
Altura del Cilindro (m):		0,30							
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
H1	24/11/2016	15,29	11,30	24,10	12,80	0,0055	7	2323,71	2314,66
H2		15,29	11,50	24,30	12,80	0,0055	7	2323,71	
H3		15,32	11,50	24,20	12,70	0,0055	7	2296,54	
H4	24/11/2016	15,32	11,40	24,20	12,80	0,0055	7	2314,62	2317,65
H5		15,32	11,50	24,30	12,80	0,0055	7	2314,62	
H6		15,29	11,60	24,40	12,80	0,0055	7	2323,71	
H7	24/11/2016	15,32	11,60	24,30	12,70	0,0055	7	2296,54	2315,69
H8		15,25	11,40	24,20	12,80	0,0055	7	2335,92	
H9		15,32	11,40	24,20	12,80	0,0055	7	2314,62	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 32.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 20% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		08/12/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 20% CENIZA CÁSCARA DE TRIGO									
Altura del Cilindro (m):			0,30						
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
C1	08/12/2016	15,28	11,38	24,10	12,72	0,0055	7	2312,22	2315,45
C2		15,28	11,29	24,00	12,71	0,0055	7	2310,40	
C3		15,26	11,45	24,20	12,75	0,0055	7	2323,75	
C4	08/12/2016	15,25	11,37	24,10	12,73	0,0055	7	2323,15	2316,26
C5		15,26	11,54	24,30	12,76	0,0055	7	2325,57	
C6		15,26	11,48	24,10	12,62	0,0055	7	2300,05	
C7	08/12/2016	15,30	11,44	24,20	12,76	0,0055	7	2313,43	2314,28
C8		15,22	11,38	24,10	12,72	0,0055	7	2330,48	
C9		15,30	11,22	23,90	12,68	0,0055	7	2298,92	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 33.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 24% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración "Jaime Vaca" - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		08/12/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 24% CENIZA CÁSCARA DE TRIGO									
Altura del Cilindro (m):		0,30							
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
C10	08/12/2016	15,30	11,50	24,20	12,70	0,0055	6	2302,55	2311,42
C11		15,28	11,29	24,00	12,71	0,0055	6	2310,40	
C12		15,28	11,43	24,20	12,77	0,0055	6	2321,30	
C13	08/12/2016	15,25	11,34	24,00	12,66	0,0055	6	2310,37	2316,66
C14		15,24	11,41	24,10	12,69	0,0055	6	2318,89	
C15		15,24	11,40	24,10	12,70	0,0055	6	2320,71	
C16	08/12/2016	15,21	11,23	23,90	12,67	0,0055	6	2324,37	2319,89
C17		15,23	11,32	24,00	12,68	0,0055	6	2320,10	
C18		15,21	11,28	23,90	12,62	0,0055	6	2315,20	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 34.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 28% adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		08/12/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 28% CENIZA CÁSCARA DE TRIGO									
Altura del Cilindro (m):			0,30						
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
C19	08/12/2016	15,30	11,39	24,10	12,71	0,0055	6	2304,36	2311,62
C20		15,27	11,44	24,20	12,76	0,0055	6	2322,53	
C21		15,30	10,57	23,30	12,73	0,0055	6	2307,99	
C22	08/12/2016	15,26	11,44	24,20	12,76	0,0055	6	2325,57	2315,25
C23		15,32	10,91	23,70	12,79	0,0055	6	2312,81	
C24		15,29	11,19	23,90	12,71	0,0055	6	2307,38	
C25	08/12/2016	15,27	11,29	24,00	12,71	0,0055	6	2313,42	2311,62
C26		15,28	11,16	23,90	12,74	0,0055	6	2315,85	
C27		15,32	10,75	23,50	12,75	0,0055	6	2305,58	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 35.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 7% adición de microsílíce.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza			FECHA:		15/12/2016		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 7% ADICIÓN MICROSÍLICE									
Altura del Cilindro (m):		0,30							
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
M1	15/12/2016	15,30	11,30	24,10	12,80	0,0055	5	2320,68	2322,31
M2		15,28	11,34	24,10	12,76	0,0055	5	2319,49	
M3		15,28	11,40	24,20	12,80	0,0055	5	2326,76	
M4	15/12/2016	15,27	11,38	24,10	12,72	0,0055	5	2315,24	2322,93
M5		15,26	11,44	24,20	12,76	0,0055	5	2325,57	
M6		15,27	11,51	24,30	12,79	0,0055	5	2327,99	
M7	15/12/2016	15,23	11,55	24,30	12,75	0,0055	5	2332,91	2324,19
M8		15,22	11,39	24,10	12,71	0,0055	5	2328,65	
M9		15,29	11,37	24,10	12,73	0,0055	5	2311,01	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 36.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 11% adición de microsílíce.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		15/12/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 11% ADICIÓN MICROSÍLICE									
Altura del Cilindro (m):			0,30						
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
M10	15/12/2016	15,25	11,61	24,40	12,79	0,0055	5	2334,10	2332,21
M11		15,30	11,37	24,20	12,83	0,0055	5	2326,12	
M12		15,29	11,43	24,30	12,87	0,0055	5	2336,42	
M13	15/12/2016	15,23	11,45	24,30	12,85	0,0055	5	2351,21	2338,56
M14		15,26	11,41	24,20	12,79	0,0055	5	2331,04	
M15		15,27	11,48	24,30	12,82	0,0055	5	2333,45	
M16	15/12/2016	15,21	11,17	24,00	12,83	0,0055	5	2353,73	2336,23
M17		15,30	11,38	24,10	12,72	0,0055	5	2306,17	
M18		15,22	11,18	24,00	12,82	0,0055	5	2348,80	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 37.- Propiedades del hormigón en estado fresco con 15% adición de microsílíce.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 									
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.									
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena							
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:		15/12/2016	
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO CON 15% ADICIÓN MICROSÍLICE									
Altura del Cilindro (m):		0,30							
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Diámetro Cilindro (cm)	Peso Cilindro (kg)	Peso del cilindro + hormigón (kg)	Peso del hormigón (kg)	Volumen cilindro (m3)	Asentamiento (cm)	Peso Específico (kg/m3)	Peso Específico Promedio (kg/m3)
M19	15/12/2016	15,30	11,41	24,30	12,89	0,0055	5	2337,00	2345,09
M20		15,29	11,45	24,40	12,95	0,0055	5	2350,95	
M21		15,29	10,47	23,40	12,93	0,0055	5	2347,32	
M22	15/12/2016	15,23	11,43	24,30	12,87	0,0055	5	2354,87	2347,69
M23		15,30	10,91	23,80	12,89	0,0055	5	2337,00	
M24		15,23	11,45	24,30	12,85	0,0055	5	2351,21	
M25	15/12/2016	15,28	11,55	24,40	12,85	0,0055	5	2335,85	2344,95
M26		15,30	11,40	24,30	12,90	0,0055	5	2338,81	
M27		15,26	10,75	23,70	12,95	0,0055	5	2360,20	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 38.- Comparación entre asentamientos de los hormigones.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.		
ORIGEN:	Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena	
ENSAYADO POR:	Egdo. Klever Caiza	FECHA: 16/12/2016
COMPARACIÓN ENTRE ASENTAMIENTOS DE LOS HORMIGONES		
TIPO DE HORMIGÓN	ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	7 cm	Plástica
Hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo	6 cm	Plástica
Hormigón con adición de microsílíce	5 cm	Seca

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.1.10 Ensayo a compresión de las probetas elaboradas:

Tabla 39.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de edad.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 												
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsilíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.												
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena										
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:			02/12/2016			
NORMA:		NTE INEN 1573										
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ A LOS 7 DÍAS DE EDAD												
Altura del Cilindro (m):			0,30									
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
							(KN)	(Kg)				
H1	24/11/2016	02/12/2016	12,79	15,28	183,37	0,0055	278,80	28429,24	2324,94	2315,47	155,03	154,91
H2			12,79	15,28	183,37	0,0055	278,30	28378,25	2324,94		154,76	
H3			12,70	15,32	184,34	0,0055	280,10	28561,80	2296,54		154,94	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 40.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días de edad.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 												
<p style="text-align: center;">Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsilíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.</p>												
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena										
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza					FECHA:			09/12/2016		
NORMA:		NTE INEN 1573										
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ A LOS 14 DÍAS DE EDAD												
Altura del Cilindro (m):			0,30									
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
							(KN)	(Kg)				
H4	24/11/2016	09/12/2016	12,79	15,32	184,34	0,0055	375,90	38330,52	2312,81	2317,26	207,94	208,12
H5			12,78	15,30	183,85	0,0055	375,20	38259,14	2317,05		208,09	
H6			12,79	15,29	183,61	0,0055	375,10	38248,95	2321,90		208,31	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 41.- Ensayo a compresión de probetas $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 												
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsilíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.												
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena										
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza					FECHA:			23/12/2016		
NORMA:		NTE INEN 1573										
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ A LOS 28 DÍAS DE EDAD												
Altura del Cilindro (m):			0,30									
Nombre Probeta	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
							(KN)	(Kg)				
H7	24/11/2016	23/12/2016	12,68	15,30	183,85	0,0055	439,80	44846,41	2298,92	2316,08	243,92	244,31
H8			12,78	15,25	182,65	0,0055	438,70	44734,24	2332,27		244,91	
H9			12,78	15,30	183,85	0,0055	440,10	44877,00	2317,05		244,09	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 42.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 7 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				16/12/2016			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Ceniza	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
C1	20%	08/12/2016	16/12/2016	12,70	15,27	183,13	0,0055	260,40	26552,99	2311,60	2312,22	144,99	144,57
C2				12,69	15,28	183,37	0,0055	258,70	26379,64	2306,76		143,86	
C3				12,72	15,26	182,89	0,0055	259,80	26491,81	2318,28		144,85	
C10	24%	08/12/2016	16/12/2016	12,69	15,28	183,37	0,0055	220,10	22443,60	2306,76	2315,25	122,39	122,26
C11				12,71	15,26	182,89	0,0055	218,80	22311,04	2316,46		121,99	
C12				12,76	15,27	183,13	0,0055	219,80	22413,01	2322,53		122,39	
C19	28%	08/12/2016	16/12/2016	12,70	15,28	183,37	0,0055	176,80	18028,30	2308,58	2314,86	98,31	98,27
C20				12,75	15,25	182,65	0,0055	175,70	17916,13	2326,80		98,09	
C21				12,72	15,29	183,61	0,0055	177,20	18069,08	2309,19		98,41	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 43.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 14 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				23/12/2016			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO A LOS 14 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Ceniza	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
C4	20%	08/12/2016	23/12/2016	12,71	15,24	182,42	0,0055	327,70	33415,57	2322,54	2316,24	183,18	183,06
C5				12,74	15,26	182,89	0,0055	328,40	33486,95	2321,93		183,09	
C6				12,61	15,24	182,42	0,0055	327,20	33364,58	2304,27		182,90	
C13	24%	08/12/2016	23/12/2016	12,65	15,25	182,65	0,0055	280,40	28592,39	2308,55	2314,83	156,54	156,15
C14				12,68	15,24	182,42	0,0055	278,90	28439,43	2317,06		155,91	
C15				12,69	15,24	182,42	0,0055	279,10	28459,83	2318,89		156,02	
C22	28%	08/12/2016	23/12/2016	12,75	15,24	182,42	0,0055	228,10	23259,36	2329,85	2318,49	127,51	127,75
C23				12,78	15,30	183,85	0,0055	230,80	23534,68	2317,05		128,01	
C24				12,70	15,28	183,37	0,0055	229,70	23422,51	2308,58		127,73	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 44.- Ensayo a compresión de probetas con adición de ceniza de cáscara de trigo a los 28 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				06/01/2017			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE TRIGO A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Ceniza	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
C7	20%	08/12/2016	06/01/2017	12,75	15,30	183,85	0,0055	381,10	38860,77	2311,61	2315,11	211,37	212,11
C8				12,71	15,20	181,46	0,0054	379,50	38697,62	2334,78		213,26	
C9				12,68	15,30	183,85	0,0055	381,70	38921,95	2298,92		211,70	
C16	24%	08/12/2016	06/01/2017	12,65	15,20	181,46	0,0054	322,80	32915,92	2323,76	2319,89	181,40	181,31
C17				12,66	15,22	181,94	0,0055	323,70	33007,69	2319,49		181,42	
C18				12,61	15,20	181,46	0,0054	322,30	32864,93	2316,41		181,12	
C25	28%	08/12/2016	06/01/2017	12,70	15,25	182,65	0,0055	261,80	26695,75	2317,67	2314,85	146,15	146,19
C26				12,73	15,27	183,13	0,0055	262,70	26787,52	2317,06		146,27	
C27				12,74	15,30	183,85	0,0055	263,50	26869,10	2309,80		146,14	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 45.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 7 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituration "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración "Jaime Vaca" - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				23/12/2016			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Microsílíce	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
M1	7%	15/12/2016	23/12/2016	12,79	15,28	183,37	0,0055	485,70	49526,83	2324,94	2324,54	270,09	269,86
M2				12,75	15,27	183,13	0,0055	484,10	49363,68	2320,71		269,55	
M3				12,79	15,27	183,13	0,0055	484,80	49435,06	2327,99		269,94	
M10	11%	15/12/2016	23/12/2016	12,78	15,24	182,42	0,0055	575,10	58642,95	2335,33	2332,43	321,48	320,84
M11				12,82	15,30	183,85	0,0055	577,80	58918,27	2324,30		320,46	
M12				12,86	15,28	183,37	0,0055	576,50	58785,71	2337,66		320,58	
M19	15%	15/12/2016	23/12/2016	12,88	15,30	183,85	0,0055	588,10	59968,56	2335,18	2345,32	326,17	326,54
M20				12,94	15,28	183,37	0,0055	587,20	59876,78	2352,21		326,53	
M21				12,92	15,28	183,37	0,0055	587,90	59948,16	2348,57		326,92	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 46.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 14 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				03/01/2017			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE A LOS 14 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Microsílíce	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
M4	7%	15/12/2016	03/01/2017	12,71	15,26	182,89	0,0055	607,60	61956,97	2316,46	2324,16	338,76	338,66
M5				12,75	15,25	182,65	0,0055	606,10	61804,02	2326,80		338,37	
M6				12,78	15,26	182,89	0,0055	607,80	61977,37	2329,22		338,87	
M13	11%	15/12/2016	03/01/2017	12,84	15,22	181,94	0,0055	719,80	73398,01	2352,47	2338,79	403,43	402,89
M14				12,78	15,26	182,89	0,0055	722,50	73673,33	2329,22		402,82	
M15				12,81	15,26	182,89	0,0055	721,80	73601,95	2334,68		402,43	
M22	15%	15/12/2016	03/01/2017	12,86	15,22	181,94	0,0055	735,50	74998,94	2356,13	2349,97	412,23	411,43
M23				12,88	15,28	183,37	0,0055	736,70	75121,30	2341,30		409,66	
M24				12,84	15,22	181,94	0,0055	735,80	75029,53	2352,47		412,39	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 47.- Ensayo a compresión de probetas con adición de microsílíce a los 28 días de edad.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.													
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena											
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza				FECHA:				13/01/2017			
NORMA:		NTE INEN 1573											
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Altura del Cilindro (m):				0,30									
Nombre Probeta	% Adición Microsílíce	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Peso (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Carga		Densidad Media (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
								(KN)	(Kg)				
M7	7%	15/12/2016	13/01/2017	12,74	15,22	181,94	0,0055	683,80	69727,09	2334,15	2324,39	383,25	382,54
M8				12,70	15,22	181,94	0,0055	684,10	69757,68	2326,82		383,42	
M9				12,72	15,28	183,37	0,0055	685,10	69859,65	2312,22		380,97	
M16	11%	15/12/2016	13/01/2017	12,82	15,21	181,70	0,0055	815,10	83115,75	2351,89	2335,44	457,44	455,84
M17				12,71	15,30	183,85	0,0055	816,40	83248,31	2304,36		452,80	
M18				12,81	15,21	181,70	0,0055	814,80	83085,16	2350,06		457,27	
M25	15%	15/12/2016	13/01/2017	12,84	15,26	182,89	0,0055	833,80	85022,59	2340,15	2346,21	464,87	464,30
M26				12,89	15,30	183,85	0,0055	834,70	85114,36	2337,00		462,94	
M27				12,94	15,25	182,65	0,0055	833,10	84951,21	2361,47		465,09	

Fuente: Egdo. Klever Caiza

4.2 Análisis de los resultados:

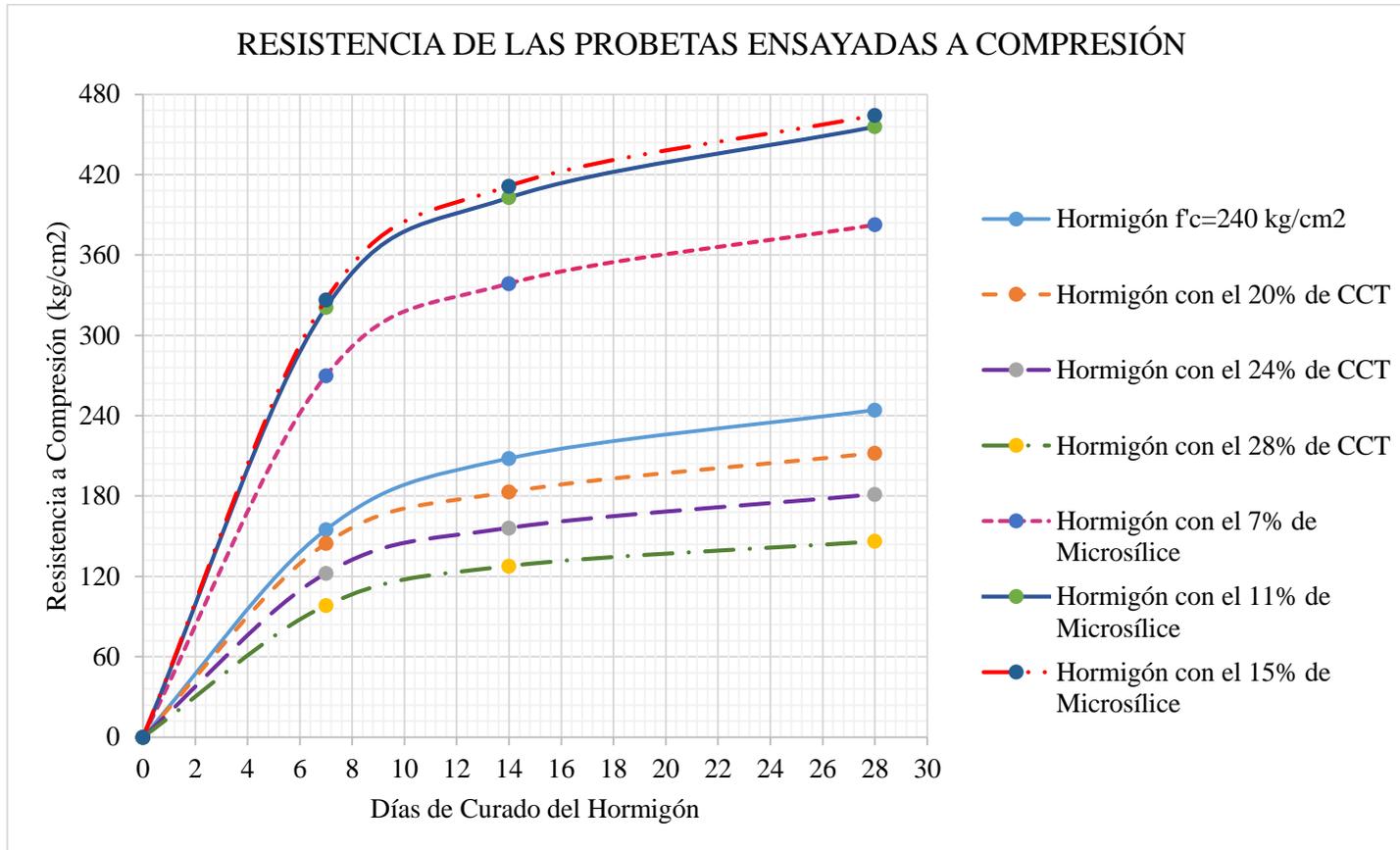
4.2.1 Comparación de la resistencia de probetas ensayadas a compresión:

Tabla 48.- Comparación de la resistencia de probetas ensayadas a compresión.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 																					
Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsilíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración “Jaime Vaca” del cantón Tena de la provincia del Napo.																					
ORIGEN:		Planta de Trituración “Jaime Vaca” - Sector Canoa Yacu - Tena																			
ENSAYADO POR:		Egdo. Klever Caiza										FECHA:			13/01/2017						
NORMA:		NTE INEN 1573																			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PROBETAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN																					
Cantidad de Probetas	Resistencia a Compresión del Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			Resistencia a Compresión del Hormigón Adicionado con Ceniza de Cáscara de Trigo									Resistencia a Compresión del Hormigón Adicionado con Microsilíce								
	0% Adición			20% Adición			24% Adición			28% Adición			7% Adición			11% Adición			15% Adición		
	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días	7 Días	14 Días	28 Días
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	155,03	207,94	243,92	144,99	183,18	211,37	122,39	156,54	181,40	98,31	127,51	146,15	270,09	338,76	383,25	321,48	403,43	457,44	326,17	412,23	464,87
2	154,76	208,09	244,91	143,86	183,09	213,26	121,99	155,91	181,42	98,09	128,01	146,27	269,55	338,37	383,42	320,46	402,82	452,80	326,53	409,66	462,94
3	154,94	208,31	244,09	144,85	182,90	211,70	122,39	156,02	181,12	98,41	127,73	146,14	269,94	338,87	380,97	320,58	402,43	457,27	326,92	412,39	465,09
Promedio	154,91	208,12	244,31	144,57	183,06	212,11	122,26	156,15	181,31	98,27	127,75	146,19	269,86	338,66	382,54	320,84	402,89	455,84	326,54	411,43	464,30

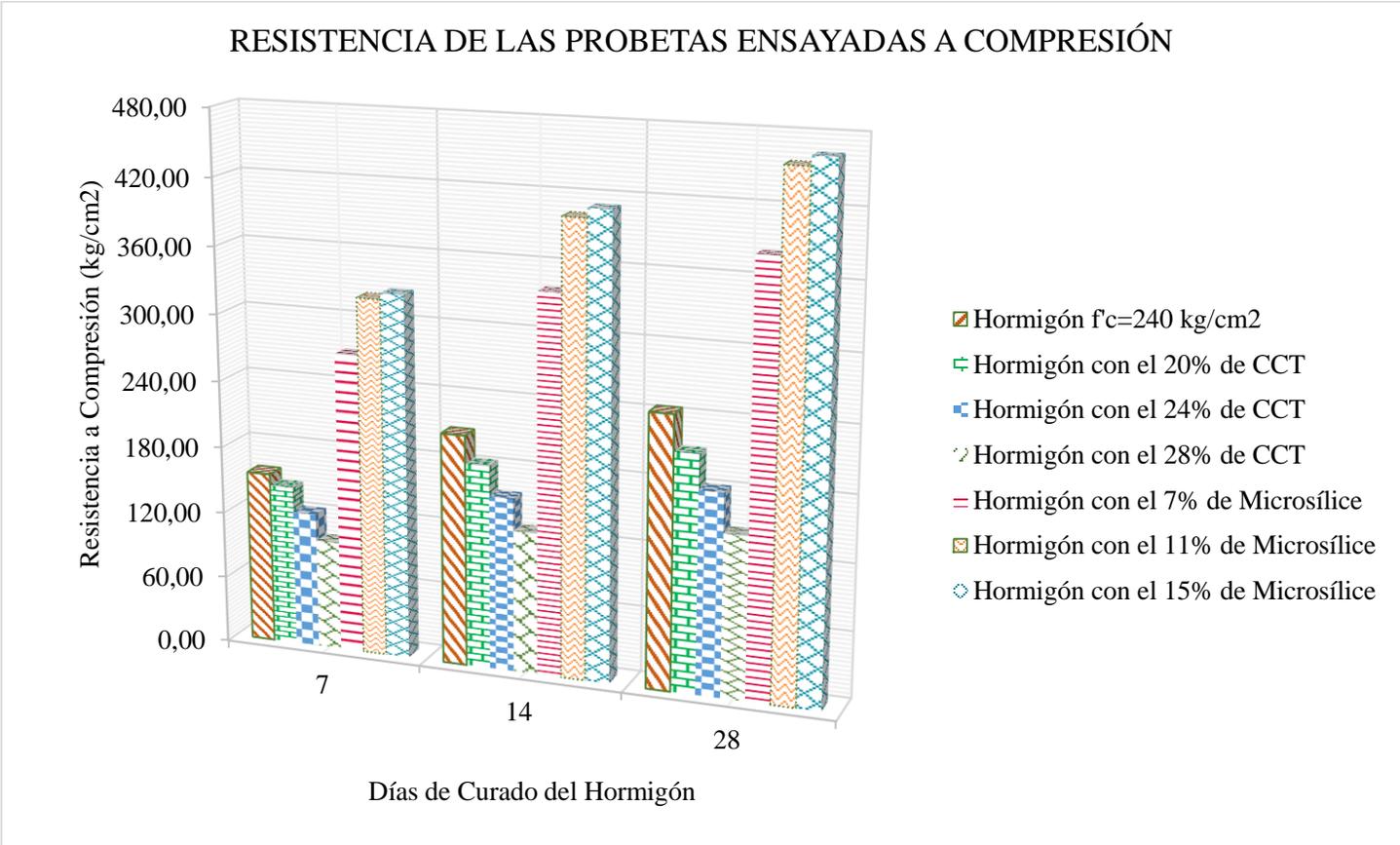
Fuente: Egdo. Klever Caiza

Gráfico 1.- Curva de resistencia de las probetas ensayadas a compresión.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Gráfico 2.- Resistencia de las probetas ensayadas a compresión.



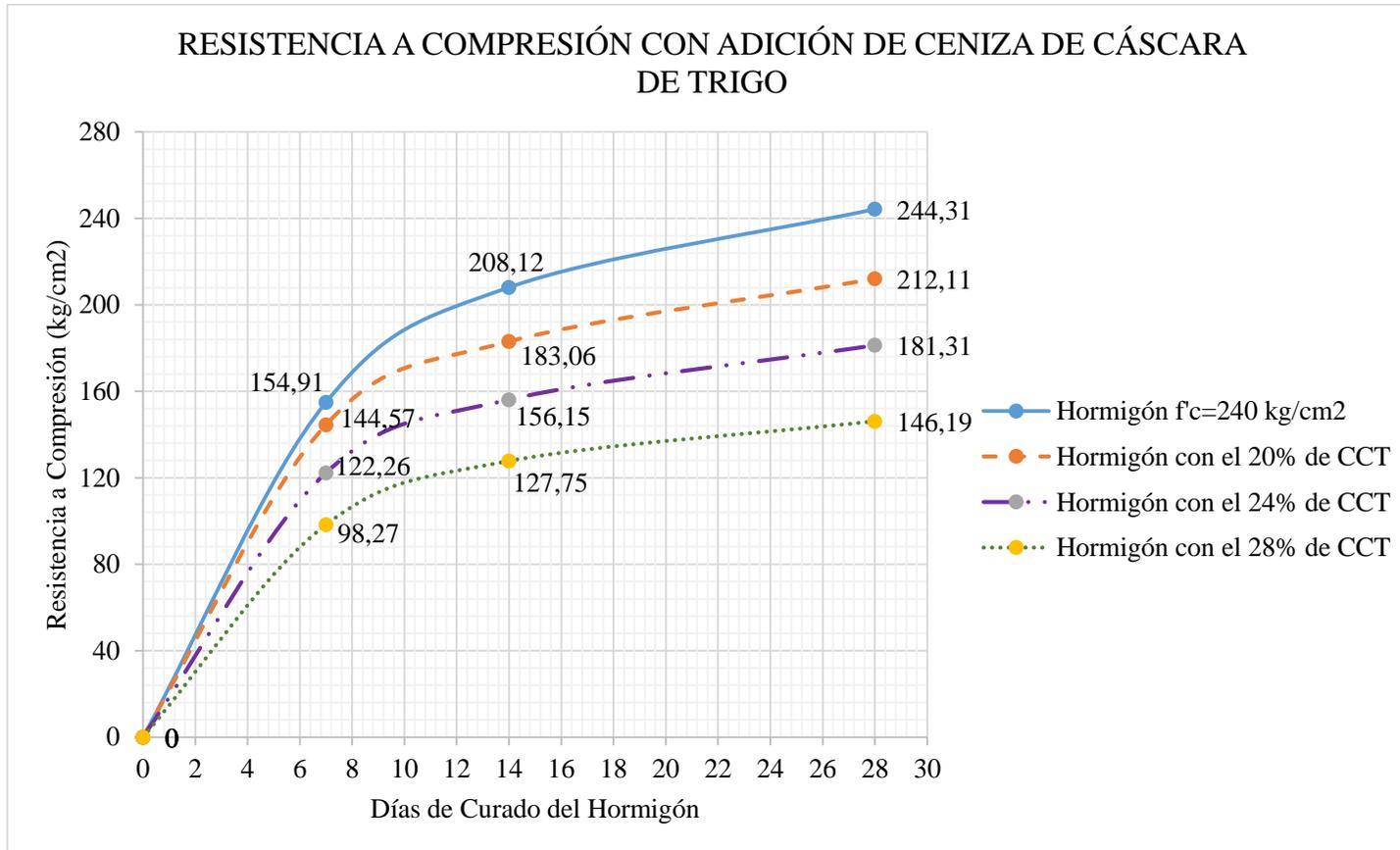
Fuente: Egdo. Klever Caiza

Con los resultados obtenidos en las gráficas 1 y 2 se observan las resistencias obtenidas con las diferentes dosificaciones tanto con adición de ceniza de cáscara de trigo como con microsílíce, ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado.

Se observa que con una mayor cantidad de ceniza de cáscara de trigo como sustitución parcial del cemento la resistencia del hormigón disminuye, indicando que con el 20% de adición de ceniza de cáscara de trigo presenta un mejor comportamiento mecánico del hormigón ensayado a compresión, en comparación con el 24% y 28% los cuales tienen resistencias más bajas.

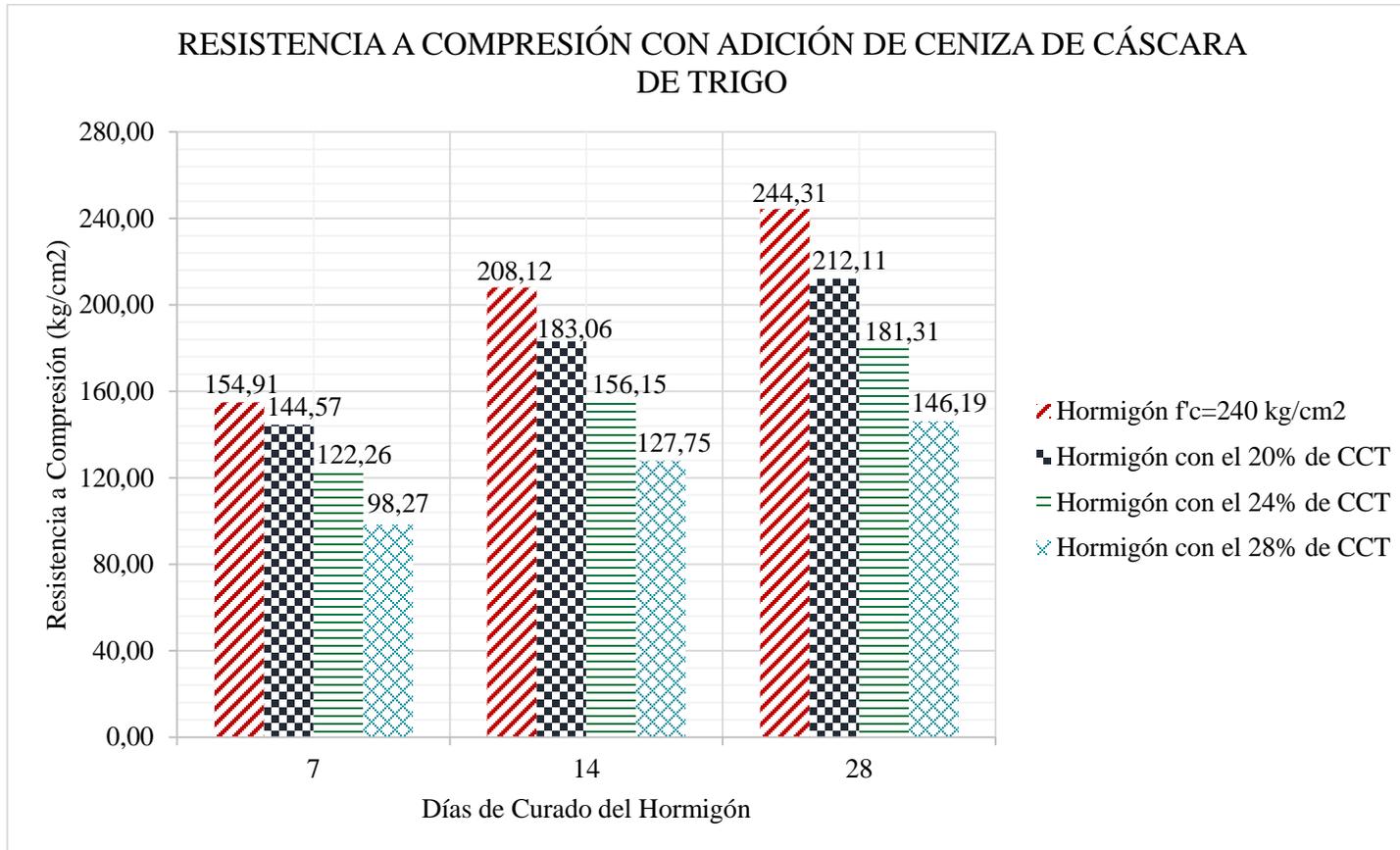
También se observa que con una mayor cantidad de microsílíce como sustitución parcial del cemento la resistencia a compresión del hormigón aumenta, indicando que con el 7% de adición de microsílíce presenta una menor resistencia en comparación con el 11% y 15% los cuales tienen una resistencia superior.

Gráfico 3.- Curva de resistencia a compresión con adición de ceniza de cáscara de trigo.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Gráfico 4.- Resistencia a compresión con adición de ceniza de cáscara de trigo.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Con los resultados obtenidos en las gráficas 3 y 4 se determina que al sustituir parcialmente al cemento con el 20% de ceniza de cáscara de trigo, el hormigón presenta una resistencia a compresión de 212,11 kg/cm² a los 28 días de curado, es decir, un poco menor que la resistencia planteada de 240 kg/cm²; con una diferencia de 27,89 kg/cm², pero que aun así no es una resistencia muy baja y puede ser aceptable para hormigones en contrapisos, aceras y bordillos.

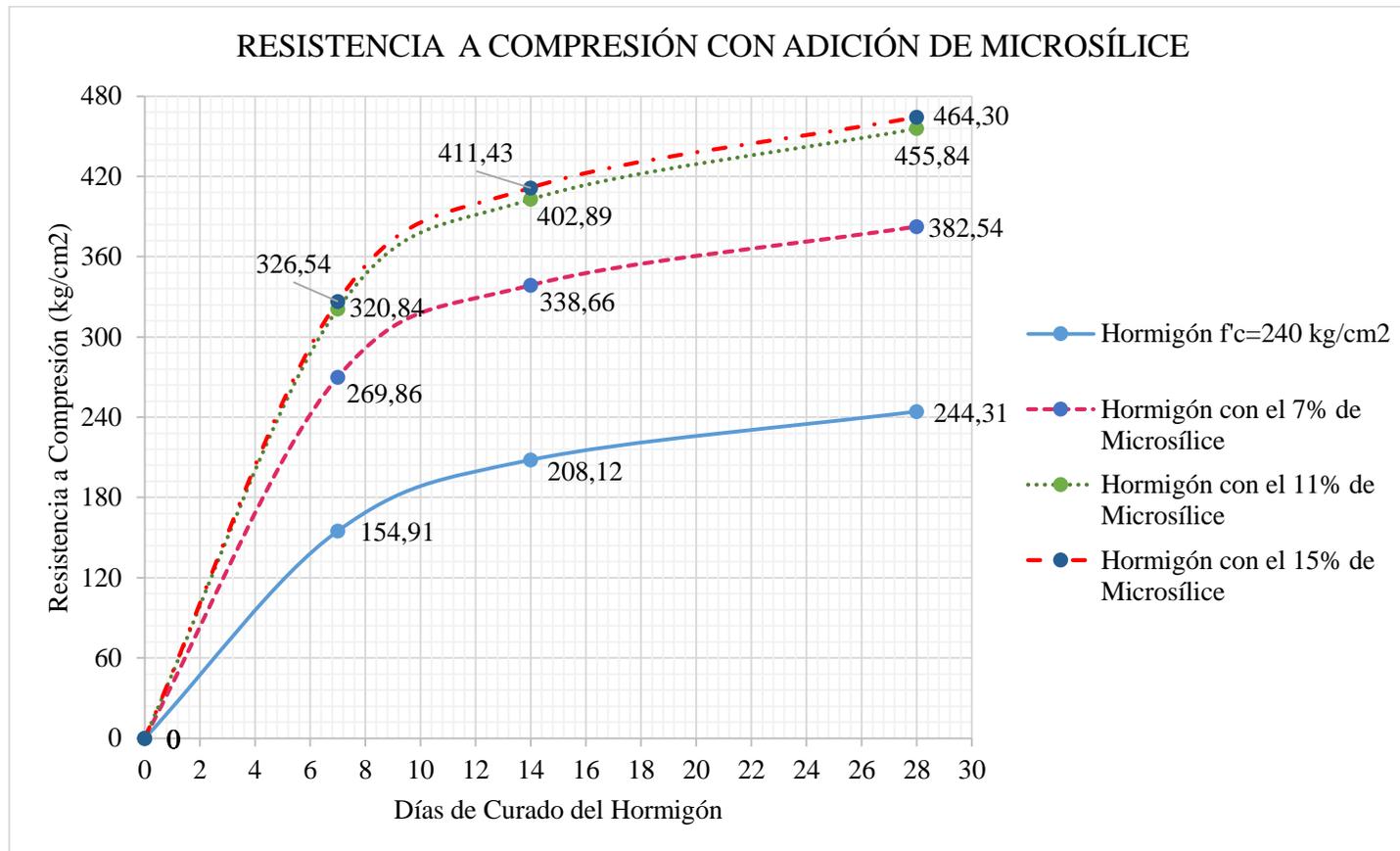
Al observar las gráficas 3 y 4 se determina que con una mayor cantidad de ceniza de cáscara de trigo como sustitución parcial del cemento la resistencia a compresión del hormigón disminuye; lo que sucedió con las adiciones del 24% y 28%.

Se observa que con el 20% de sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de trigo a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 144,57 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 183,06 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 212,11 kg/cm².

Se observa que con el 24% de sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de trigo a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 122,26 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 156,15 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 181,31 kg/cm².

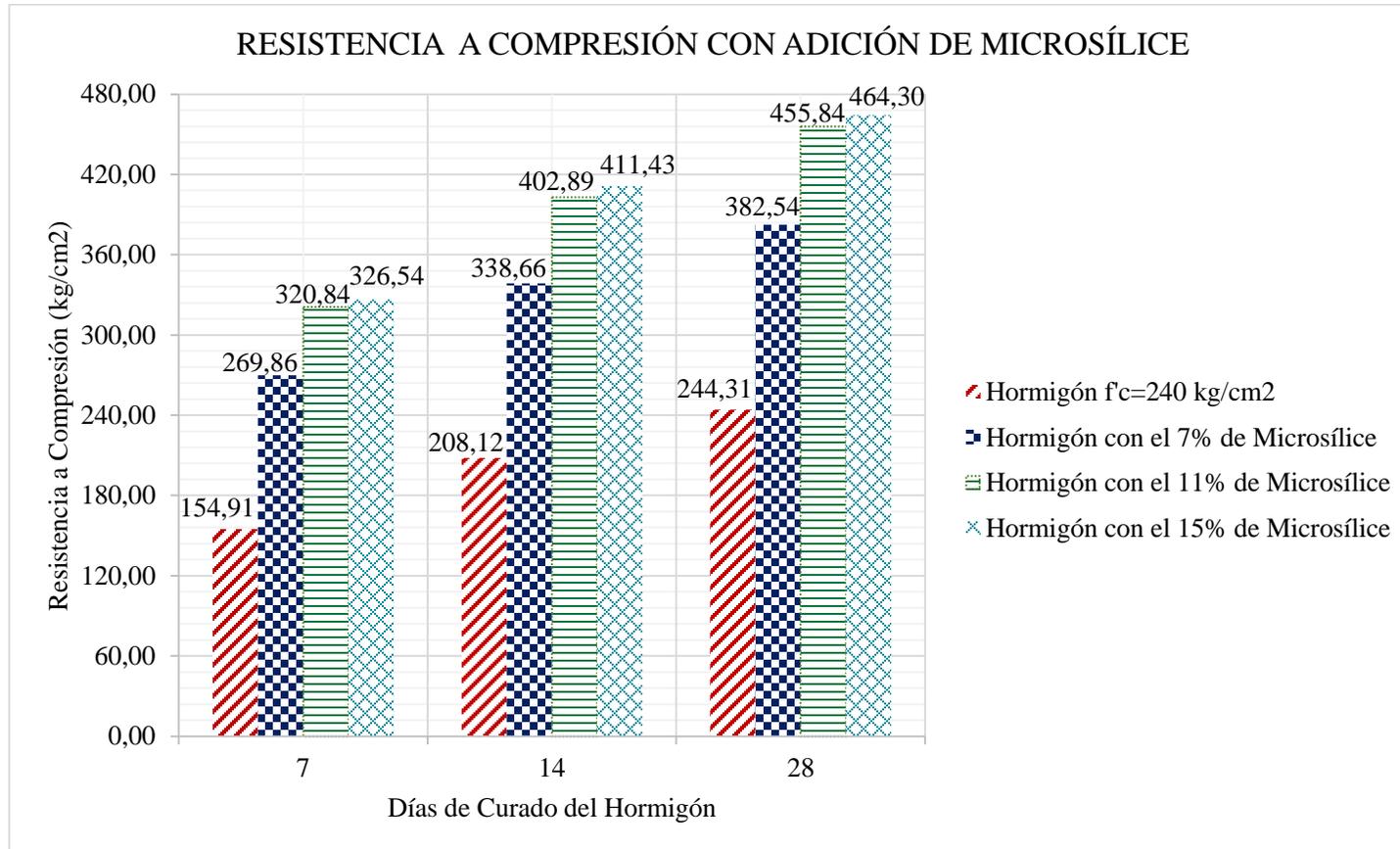
Se observa que con el 28% de sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de trigo a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 98,27 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 127,75 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 146,19 kg/cm².

Gráfico 5.- Curva de resistencia a compresión con adición de microsílíce.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Gráfico 6.- Resistencia a compresión con adición de microsílíce.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Con los resultados obtenidos en las gráficas 5 y 6 se determina que al sustituir parcialmente al cemento con el 11% y 15% de microsílíce, el hormigón presenta una resistencia de 455,84 kg/cm² y 464,30 kg/cm² correspondientemente, es decir, superó la resistencia planteada de 240 kg/cm² con una diferencia de 215,84 kg/cm² y 224,30 kg/cm² correspondientemente. En donde se concluye que con los porcentajes de 11% y 15% al sustituir parcialmente al cemento no hay una gran diferencia entre resistencias a compresión y se trabajaría correctamente con el 11% de adición.

Se observa que con el 7% de sustitución parcial del cemento con microsílíce a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 269,86 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 338,66 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 382,54 kg/cm².

Se observa que con el 11% de sustitución parcial del cemento con microsílíce a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 320,84 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 402,89 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 455,84 kg/cm².

Se observa que con el 15% de sustitución parcial del cemento con microsílíce a los 7 días de curado indica una resistencia promedio de 326,54 kg/cm², a los 14 días de curado presenta una resistencia promedio de 411,43 kg/cm² y a los 28 días de curado da una resistencia promedio de 464,30 kg/cm².

4.2.2 Análisis de Precios Unitarios:

Tabla 49.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsilice y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	1			UNIDAD:	m ³
DETALLE:	Hormigón Simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.				
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1,31
Concreteira 1 saco	1,00	5,00	5,00	1,13	5,63
				SUBTOTAL M	6,93
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Peón E.O.E2	5,00	3,26	16,30	1,13	18,34
Albañil E.O.D2	1,00	3,30	3,30	1,13	3,71
M. Mayor Ejec.Obras Civiles E.O.C1	1,00	3,66	3,66	1,13	4,12
				SUBTOTAL N	26,17
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
DESCRIPCIÓN		A	B	C = Ax B	
Cemento Portland	kg	400,00	0,14	56,80	
Arena	m ³	0,65	8,00	5,20	
Ripio tamizado	m ³	0,95	14,00	13,30	
Agua	ltr	0,22	0,75	0,17	
				SUBTOTAL O	75,47
TRANSPORTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
			A	B	C = Ax B
				SUBTOTAL P	0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					108,57
INDIRECTOS (%)					0,00% 0,00
UTILIDAD (%)					0,00% 0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					108,57
VALOR UNITARIO					108,57

SON: CIENTO OCHO DÓLARES CON CINCUENTA Y SIETE CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: NOVIEMBRE DE 2016

Egdo. Klever Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 50.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de cáscara de trigo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	2	UNIDAD:		m ³	
DETALLE:	Hormigón Simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza de cáscara de trigo.				
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1,31
Concreteira 1 saco	1,00	5,00	5,00	1,13	5,63
SUBTOTAL M					6,93
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Peón E.O.E2	5,00	3,26	16,30	1,13	18,34
Albañil E.O.D2	1,00	3,30	3,30	1,13	3,71
M. Mayor Ejec.Obras Civiles E.O.C1	1,00	3,66	3,66	1,13	4,12
SUBTOTAL N					26,17
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
DESCRIPCIÓN		A	B	C = Ax B	
Cemento Portland (80%)	kg	320,00	0,14	45,44	
Arena	m ³	0,65	8,00	5,20	
Ripio tamizado	m ³	0,95	14,00	13,30	
Agua	ltr	0,22	0,75	0,17	
Ceniza de cáscara de trigo (20%)	kg	80,00	0,04	3,20	
SUBTOTAL O					67,31
TRANSPORTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
			A	B	C = Ax B
SUBTOTAL P					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					100,41
INDIRECTOS (%)					0,00%
UTILIDAD (%)					0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					100,41
VALOR UNITARIO					100,41

SON: CIENTO DÓLARES CON CUARENTA Y UNO CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: NOVIEMBRE DE 2016

Egdo. Klever Caiza
 ELABORADO

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Tabla 51.- Rubro de hormigón simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de microfílice.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microfílice y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	3	UNIDAD:		m ³	
DETALLE:	Hormigón Simple $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de microfílice.				
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1,31
Concretera 1 saco	1,00	5,00	5,00	1,13	5,63
SUBTOTAL M					6,93
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Peón E.O.E2	5,00	3,26	16,30	1,13	18,34
Albañil E.O.D2	1,00	3,30	3,30	1,13	3,71
M. Mayor Ejec.Obras Civiles E.O.C1	1,00	3,66	3,66	1,13	4,12
SUBTOTAL N					26,17
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
DESCRIPCIÓN		A	B	C = AxB	
Cemento Portland (89%)	kg	356,00	0,14	50,55	
Arena	m ³	0,65	8,00	5,20	
Ripio tamizado	m ³	0,95	14,00	13,30	
Agua	ltr	0,22	0,75	0,17	
Microfílice (11%)	kg	44,00	2,06	90,49	
SUBTOTAL O					159,71
TRANSPORTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
			A	B	C = AxB
SUBTOTAL P					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					192,81
INDIRECTOS (%)					0,00%
UTILIDAD (%)					0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					192,81
VALOR UNITARIO					192,81

SON: CIENTO NOVENTA Y DOS DÓLARES CON OCHENTA Y UNO CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: NOVIEMBRE DE 2016

Egdo. Klever Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Klever Caiza

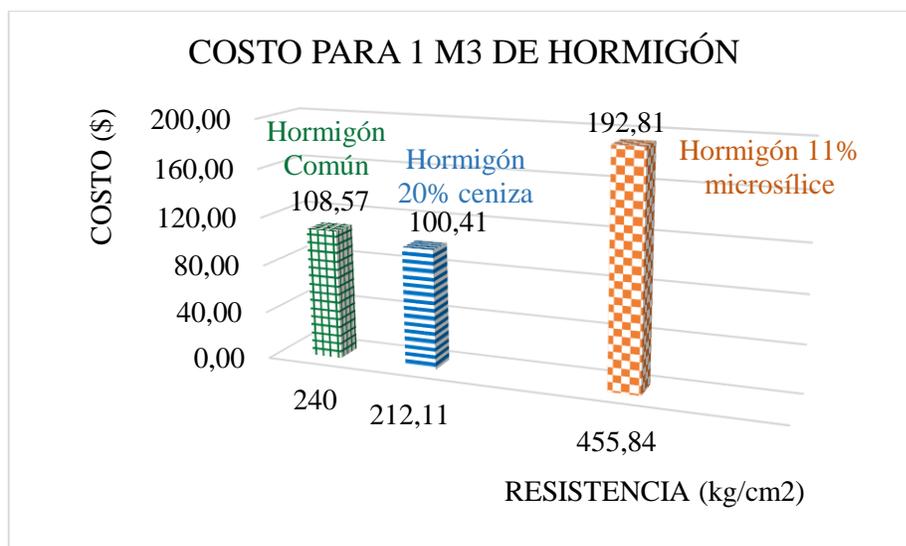
4.2.3 Análisis Costo-Beneficio:

Tabla 52.- Cuadro comparativo para el análisis costo-beneficio.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
PROYECTO: Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración "Jaime Vaca" del cantón Tena de la provincia del Napo.				
COSTO INDICADO PARA 1 M3 DE HORMIGÓN				
TIPO DE HORMIGÓN	COSTO (\$)	AHORRO (\$)	AHORRO (%)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN OBTENIDA
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	108,57	0,00	0,00	240 kg/cm^2
Hormigón con el 20% de adición de ceniza de cáscara de trigo	100,41	8,16	8,13	212,11 kg/cm^2
Hormigón con el 11% de adición de microsílíce	192,81	-84,25	-43,69	455,84 kg/cm^2

Fuente: Egdo. Klever Caiza

Gráfico 7.- Análisis costo-beneficio para 1 m³ de hormigón.



Fuente: Egdo. Klever Caiza

Se realizó un cuadro comparativo para el análisis costo-beneficio indicado en la tabla 50 con relación a la gráfica 7; donde se determina que el hormigón con el 20% de adición de ceniza de cáscara de trigo presenta un ahorro económico del 8,16% obteniendo una resistencia de 212,11 kg/cm² pero debido a que no alcanzó la resistencia de diseño, no es apta para la utilización en construcciones; mientras que el hormigón con el 11% de adición de microsílíce no presenta ningún ahorro económico pero debido a que la resistencia obtenida fue de 455,84 kg/cm² superando considerablemente a la resistencia de diseño, es apta para la utilización en todo tipo de construcciones.

4.3 Verificación de hipótesis:

Según los ensayos realizados a las probetas de hormigón con la sustitución parcial del cemento por ceniza de cáscara de trigo y microsílíce en el laboratorio para una resistencia establecida de 240 kg/cm², se observa que la resistencia a compresión con la adición de ceniza de cáscara de trigo no llega a la resistencia establecida, mientras que con la adición de microsílíce la resistencia a compresión supera a la especificada.

Los ensayos realizados a los 28 días de curado en donde el hormigón normal alcanza el 100% de su resistencia a compresión, se determina que el hormigón con el 20% de sustitución parcial de cemento con ceniza de cáscara de trigo alcanza una resistencia de 212,11 kg/cm² y el hormigón con el 11% de sustitución parcial de cemento con microsílíce alcanza una resistencia de 455,84 kg/cm².

Ambos materiales tanto la ceniza de cáscara de trigo y microsílíce sirven como sustitución parcial del cemento e influyen en la resistencia a compresión del hormigón. Cada material influye con diferentes características físicas y mecánicas en el hormigón dando buenos resultados en el ámbito de la construcción, es decir, el hormigón con el 20% de ceniza de cáscara de trigo puede ser usado en hormigones para contrapisos, aceras y bordillos; mientras que el hormigón con el 11% de microsílíce se puede usar en grandes construcciones como hidroeléctricas, puentes, represas y edificios de gran altura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

Al comparar el asentamiento entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$), hormigón con adición de microsílíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo con su respectiva dosificación se determina que:

- ✓ El asentamiento presentado en el hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ es de 7 cm teniendo una consistencia plástica igual que el hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo con un asentamiento de 6 cm dando una consistencia plástica, debido a que poseen asentamientos similares dentro del rango de la consistencia.
- ✓ El asentamiento presentado en el hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ es de 7 cm teniendo una consistencia plástica diferente que el hormigón con adición de microsílíce con un asentamiento de 5 cm dando una consistencia seca, debido a que poseen asentamientos diferentes dentro del rango de la consistencia.
- ✓ El asentamiento presentado en el hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo es de 6 cm teniendo una consistencia plástica diferente que el hormigón con adición de microsílíce con un asentamiento de 5 cm dando una consistencia seca, debido a que poseen asentamientos diferentes dentro del rango de la consistencia.

Par la obtención del porcentaje óptimo de adición con microsílíce para un hormigón de alta resistencia a compresión se determina que:

- ✓ De los porcentajes de microsílíce, es decir, del 7%, 11% y 15%; la mejor sustitución parcial del cemento es con el 11%, presentando un mejor comportamiento a compresión de $455,84 \text{ kg/cm}^2$ siendo superior a la resistencia establecida de 240 kg/cm^2 y demostrando ser un hormigón de alta resistencia.

Para determinar el análisis costo-beneficio de los hormigones con adición de microsílíce y ceniza de cáscara de trigo como sustitución parcial del cemento se establece que:

- ✓ Al realizar un análisis costo-beneficio se comprobó que el hormigón con adición del 20% de ceniza de cáscara de trigo presenta un ahorro económico del 8,13% con respecto al hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, pero debido a que la resistencia obtenida fue menor a la establecida; es decir, de $212,11 \text{ kg/cm}^2$ por lo que no es factible para la utilización en construcciones.
- ✓ Mediante un análisis costo-beneficio se determinó que el hormigón con adición del 11% de microsílíce no presenta ningún ahorro económico con respecto al hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, pero debido a que la resistencia obtenida fue mucho mayor a la establecida; es decir, de $455,84 \text{ kg/cm}^2$ por lo que es factible para la utilización en todo tipo de construcciones.
- ✓ De los porcentajes de ceniza de cáscara de trigo, es decir, del 20%, 24% y 28%; la mejor sustitución parcial del cemento es con el 20%, presentado un mejor comportamiento a compresión de $212,11 \text{ kg/cm}^2$ sin embargo no alcanzó la resistencia establecida de 240 kg/cm^2 . Esto se puede deber a que la adición de esta puzolana artificial funciona mejor en bajos porcentajes.
- ✓ Conforme se aumenta el porcentaje de sustitución parcial del cemento con microsílíce la resistencia a compresión del hormigón aumento, siempre y cuando se encuentre dentro del rango establecido por la Norma ACI 201.2R-01.
- ✓ Al aumentar el porcentaje de sustitución parcial del cemento con ceniza de cáscara de trigo la resistencia a compresión del hormigón disminuye en un 15% aproximadamente.
- ✓ La variación del porcentaje de resistencias a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$) y hormigón con adición del 11% de microsílíce ($f'c = 455,84 \text{ kg/cm}^2$) es del 89,93%.

- ✓ La variación del porcentaje de resistencias a compresión entre el hormigón con adición del 20% de ceniza de cáscara de trigo ($f'c = 212,11 \text{ kg/cm}^2$) y hormigón con adición del 11% de microsílíce ($f'c = 455,84 \text{ kg/cm}^2$) es del 101,55 %.
- ✓ La variación del porcentaje de resistencias a compresión entre el hormigón ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$) y hormigón con adición del 20% de ceniza de cáscara de trigo ($f'c = 212,11 \text{ kg/cm}^2$) es del 11,62 %.

5.2 Recomendaciones:

- ✓ Determinar correctamente el contenido de absorción de la ceniza de cáscara de trigo, para no tener problemas en la dosificación calculada en el momento de elaborar la mezcla de hormigón.
- ✓ Moler la ceniza de cáscara de trigo obtenido del horno ya que sale grumosa y con escombros, tamizar por el tamiz #200 después que esté bien molido y completamente seco obteniendo una ceniza fina similar al material fino del cemento.
- ✓ Para una mejor trabajabilidad del hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo o microsílíce es necesario la utilización de un superplastificante y de este modo evitar porosidad en las probetas cilíndricas.
- ✓ Enrazar adecuadamente las muestras de hormigón para permitir que al momento de ensayar dichas probetas a compresión las cargas se distribuyan uniformemente sobre la misma y así obtener resultados más confiables.
- ✓ Al sacar las probetas de hormigón de la cámara de curado dejarlas secar por lo menos 1 hora antes de ser ensayadas a compresión debido a que el hormigón cuando se encuentra saturado de agua no alcanza la resistencia total.

MATERIALES DE REFERENCIA

1. Bibliografía:

- [1] J. Camposano, «Hormigón de Alto Desempeño,» *Notas Técnicas*, vol. 1, nº 1, p. 7, 2011.
- [2] L. Allauca, H. Amen y J. Lung, «Uso de sílice en hormigones de alto desempeño,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009.
- [3] O. Coyasamin, «Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón adicionado con cenizas de cáscara de arroz (CCA) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBC),» Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2016.
- [4] L. Mendoza, «Influencia del uso de microsílce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia,» Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador, 2012.
- [5] J. Arrega, «Fuentes de Energía en el Ecuador,» 28 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://blog.espol.edu.ec/jhohearr/energia-hidraulica-en-el-ecuador/centrales-hidroelectricas-del-ecuador/>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [6] Entrix, «Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: Construcción de la Vía de acceso a la casa de máquinas,» Don Bosco, Quito, 2009.
- [7] P. Bastidas y G. Ortiz, «Comportamiento de la ceniza de de la cascarilla de arroz en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar,» Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, Quito, 2016.
- [8] J. Molina, «Adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz en Hormigón Compactado con Rodillo,» Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Guayaquil, 2002.
- [9] E. Besoain, «Mineralogía de arcillas de suelos,» vol. II, San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1985, p. 723.
- [10] R. Robayo, P. Matthey y S. Delvasto, «Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero,» *Revista de la Construcción*, vol. 12, nº 2, p. 3, 01 Agosto 2013.
- [11] M. Ascazubi, «Andes (Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica),» 12 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/reactivacion-sembríos-trigo-beneficia-agricultores-sur-ecuatoriano.html>. [Último acceso: 20 Julio 2016].

- [12] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, «Fundamentals of Concrete,» de *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed., vol. 4th, Illinois, Portland Cement Association, 2008, p. 12.
- [13] D. Ma-Tay, «Valorización de cenizas de bagazo procedentes de Honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento pórtland,» Valencia, 2014.
- [14] R. O'Neill et al, de *Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R)*, 4ta ed., Michigan, American Concrete Institute, 2001, pp. 2-11.
- [15] A. Fiorato, «Standard Specification for Concrete Aggregates (ASTM C33),» de *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2003, pp. 3-6.
- [16] G. Realpe et al, de *Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso (INEN 0696)*, 1era ed., Quito, 2011, p. 4.
- [17] K. Beyer et al, de *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves (ASTM E11)*, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2013, p. 7.
- [18] N. T. E. de *Áridos para hormigón. Requisitos (INEN 0872)*, 1era ed., Quito, 2011, pp. 4-7.
- [19] A. Fiorato et al, «Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates (ASTM C125),» de *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2000, p. 2.
- [20] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, «Aggregates for Concrete,» de *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed., vol. 4th, Illinois, Portland Cement Association, 2008, pp. 79-86.
- [21] G. Realpe et al, de *Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos (INEN 0858)*, 1era ed., Quito, 2010, p. 4.
- [22] G. Realpe et al, de *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (INEN 0856)*, 1era ed., Quito, 2010, p. 4.
- [23] G. Realpe et al, de *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso (INEN 0857)*, 1era ed., Quito, 2010, p. 4.
- [24] G. Realpe et al, de *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad (INEN 0862)*, 1era ed., Quito, 2011, pp. 4-7.

- [25] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, «Portland, Blended, and Other Hydraulic Cements,» de *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed., vol. 4th, Illinois, Portland Cement Association, 2008, pp. 21-42.
- [26] R. Camaniero et al, de *Cemento Portland. Requisitos (INEN 0152)*, 1era ed., Quito, 2012, p. 4.
- [27] R. Camaniero et al, de *Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos (INEN 2380)*, 2da ed., Quito, 2011, pp. 4-5.
- [28] R. Camaniero et al, de *Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos (INEN 0490)*, 1era ed., Quito, 2011, pp. 4-5.
- [29] G. Realpe et al, de *Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos. (INEN 2617)*, 1era ed., Quito, 2012, pp. 4-7.
- [30] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, «Designing and Proportioning Normal Concrete Mixtures,» de *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed., vol. 4th, Illinois, Portland Cement Association, 2008, pp. 149-152.
- [31] G. Realpe et al, de *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento (INEN 1578)*, 1era ed., Quito, 2010, pp. 4-8.
- [32] L. Machado et al, «Propiedades del Hormigón Fresco,» de *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CIRSOC 201)*, Buenos Aires, INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), 2005, pp. 172-174.
- [33] G. Realpe et al, de *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo (INEN 1576)*, 1era ed., Quito, 2011, pp. 4-11.
- [34] G. Realpe et al, de *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. (INEN 1573)*, 1era ed., Quito, 2010, pp. 4-13.
- [35] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, «Fly Ash, Slag, Silica Fume, and Natural Pozzolans,» de *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed., vol. 4th, Illinois, Portland Cement Association, 2008, pp. 57-62.
- [36] H. Farzam et al, «Cement and Concrete Terminology (ACI 116R),» de *ACI: Manual of Concrete Practice (Part 1)*, 4ta ed., Michigan, American Concrete Institute, 2005, pp. 49-51.
- [37] J. Dominguez, «Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP),» 03 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rtrigo>. [Último acceso: 05 Octubre 2016].

- [38] I. Águila y M. Sosa, «Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 23, n° 4, pp. 6-9, 10 Diciembre 2008.
- [39] A. Fiorato et al, «Silica Fume Used in Cementitious Mixtures (ASTM C1240),» de *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2015, p. 2.
- [40] A. Fiorato, «Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete (ASTM C618),» de *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2003, pp. 1-3.
- [41] G. Mass et al, de *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash (ACI 211.4R)*, 2da ed., Michigan, American Concrete Institute, 1998, pp. 7-8.
- [42] N. Carino et al, «Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete (ASTM C172),» de *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02, West Conshohocken, ASTM Internacional, 2004, pp. 1-3.
- [43] K. Andrade y K. Flores, «Propiedades físico-mecánicas del hormigón al complementar la mezcla con el compuesto del residuo de factor de craqueo catalítico,» Quito, 2016.
- [44] R. Goyes, «Pichincha Universal,» 15 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.pichinchauniversal.com.ec/index.php/extras/especiales1/item/31489-lloa-una-parroquia-para-visitar>. [Último acceso: 07 Octubre 2016].
- [45] J. Quijano, «PP Digital,» 08 Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://www.ppdigital.com.ec/noticias/actualidad/1/lloa-algo-mas-que-una-parroquia>. [Último acceso: 06 Octubre 2016].

2. Anexos:

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS



Fotografía 1.- Agregado fino.



Fotografía 2.- Agregado grueso.



Fotografía 3.- Tamizado del agregado fino.



Fotografía 4.- Tamizado del agregado grueso.



Fotografía 5.- Peso retenido en cada tamiz del agregado fino.



Fotografía 6.- Peso retenido en cada tamiz del agregado grueso.



Fotografía 7.- Densidad aparente suelta del agregado grueso.



Fotografía 8.- Densidad aparente compactada del agregado grueso.



Fotografía 9.- Peso de la muestra con agregado grueso compactado.



Fotografía 10.- Densidad aparente suelta del agregado fino.



Fotografía 11.- Densidad aparente compactada del agregado fino.



Fotografía 12.- Peso de la muestra con agregado fino compactado.



Fotografía 13.- Mezcla de los agregados grueso y fino.



Fotografía 14.- Densidad aparente compactada de la mezcla de agregados.



Fotografía 15.- Peso de la muestra con la mezcla de los agregados compactados.



Fotografía 16.- Secado del agregado fino hasta el estado saturado superficie seca.



Fotografía 17.- Ensayo para determinar el estado saturado superficie seca.



Fotografía 18.- Secado del agregado grueso hasta el estado saturado superficie seca.



Fotografía 19.- Peso de las muestras de los agregados en estado saturado superficie seca.



Fotografía 20.- Densidad real del agregado fino.



Fotografía 21.- Mezclado de la arena en estado saturado superficie seca con el agua.



Fotografía 22.- Densidad real del agregado grueso.

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



Fotografía 23.- Peso del picnómetro añadido cemento.



Fotografía 24.- Mezclado de la gasolina con el agua.



Fotografía 25.- Peso del picnómetro añadido cemento y gasolina hasta el aforo.



Fotografía 26.- Llenado de la gasolina en el picnómetro hasta el aforo.

ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN F´C = 240 KG/CM2



Fotografía 27.- Dosificación al peso de los agregados en parihuelas.



Fotografía 28.- Ensayo del asentamiento con el cono de Abrams.



Fotografía 29.- Chequeo del asentamiento del hormigón f´c = 240 kg/cm2.



Fotografía 30.- Elaboración de las probetas de hormigón f´c = 240 kg/cm2.



Fotografía 31.- Enrazado de la probeta de hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.



Fotografía 32.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.

ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE TRIGO



Fotografía 33.- Sacos con cáscara de trigo.



Fotografía 34.- Quemado de la cáscara de trigo en un horno.



Fotografía 35.- Ceniza de cáscara de trigo.



Fotografía 36.- Cernido de la ceniza de cáscara de trigo con el tamiz #200.



Fotografía 37.- Ceniza de cáscara de trigo en estado saturado superficie seca.



Fotografía 38.- Pesos de las muestras de ceniza de cáscara de trigo en estado S.S.S.



Fotografía 39.- Colocación de las muestras de ceniza de cáscara de trigo S.S.S en el horno



Fotografía 40.- Medición del diámetro de los cilindros para las probetas de hormigón.



Fotografía 41.- Colocación de la ceniza en la concreteira después de los agregados.



Fotografía 42.- Chequeo del asentamiento con el cono de Abrams.



Fotografía 43.- Elaboración de las probetas de hormigón con ceniza de cáscara de trigo.



Fotografía 44.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón con ceniza.

ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE



Fotografía 45.- Medición del diámetro de los cilindros para las probetas de hormigón.



Fotografía 46.- Colocación de microsílíce en la concretera después de los agregados.



Fotografía 47.- Ensayo del asentamiento con el cono de Abrams.



Fotografía 48.- Chequeo de asentamiento del hormigón con adición de microsílíce.



Fotografía 49.- Peso del cilindro más muestra de hormigón con microsíllice.



Fotografía 50.- Colocación de etiquetas en las probetas de hormigón con microsíllice.

ENSAYO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN



Fotografía 51.- Desencofrado de las probetas de hormigón.



Fotografía 52.- Colocación de las probetas de hormigón en la cámara de curado.



Fotografía 53.- Medición del diámetro de las probetas de hormigón a ser ensayadas.



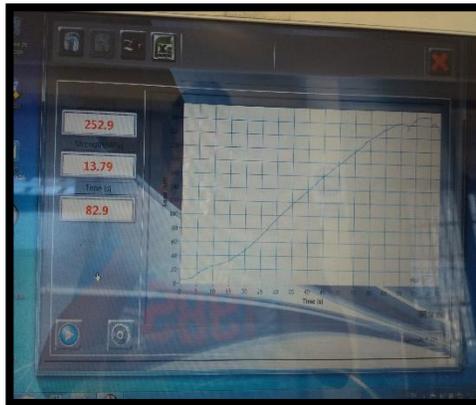
Fotografía 54.- Peso de las probetas de hormigón a ser ensayadas.



Fotografía 55.- Colocación de las probetas de hormigón en la máquina de compresión.



Fotografía 56.- Ensayo de las probetas de hormigón en la máquina de compresión.



Fotografía 57.- Resistencias de las probetas de hormigón en la máquina de compresión.



Fotografía 58.- Desalajo de las probetas de hormigón ensayadas.