



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN
CON ADICIÓN DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE
RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ PRODUCIDO EN LA PROVINCIA
DE SANTA ELENA.

Autor:

Fabian Antony Orrala Yagual

Fausto Gavino Gómez Suárez

Tutor:

Ing. Richard Ramirez Palma, Mg.

La Libertad, Ecuador

2015



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN
CON ADICIÓN DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE
RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ PRODUCIDO EN LA PROVINCIA
DE SANTA ELENA.**

Autor:

Fabian Antony Orrala Yagual

Fausto Gavino Gómez Suárez

Tutor:

Ing. Richard Ramirez Palma, Mg.

La Libertad, Ecuador

2015

DECLARACIÓN EXPRESA

En atención al art. 26 del Reglamento del Trabajo de Titulación y Graduación de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, UPSE, que puntualiza: "La titularidad de la propiedad intelectual del trabajo de graduación y titulación es del autor"; nosotros, en calidad de autores del presente trabajo de grado, declaramos que la información aquí descrita no ha sido presentada para ningún grado o calificación profesional.

Nosotros, en calidad de autores, cedemos a la UPSE la propiedad intelectual del presente trabajo de grado para que promueva y/o ejecute proyectos fundamentados en el contenido científico y técnico expuesto en estas páginas, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual.

Fausto Gavino Gómez Suárez
C.I. 093058964-3

Fabian Antony Orrala Yagual
C.I. 0912636219-5

CERTIFICADO DEL TUTOR

En calidad de docente tutor del tema de tesis: **“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON ADICIÓN DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ PRODUCIDO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**; elaborado por los estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Civil, Fausto Gavino Gómez Suárez y Fabian Antony Orrala Yagual bajo mi tutoría desde SEPTIEMBRE del 2014 hasta MARZO del 2015 según el cronograma previsto, CERTIFICO que el presente trabajo de grado reúne todos los requisitos expuestos por la universidad; Por tanto autorizo con mi firma para que pueda ser presentado, defendido y sustentado en el Tribunal de Graduación.

Ing. Richard Ramírez Palma, Mg.

TUTOR DE TESIS

CERTIFICADO DE REVISIÓN DE LA REDACCIÓN Y LA ORTOGRAFÍA

Después de revisar la redacción y la ortografía del trabajo de grado de los señores egresados de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, Fausto Gavino Gómez Suárez y Fabian Antony Orrala Yagual cuyo tema es: “ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON ADICIÓN DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACIÓN DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ PRODUCIDO EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, CERTIFICO que este trabajo no presenta ningún error gramatical, por tanto autorizo con mi firma para que pueda ser presentado, defendido y sustentado en el Tribunal de Graduación.

Dora Rodríguez De la Cruz
LICENCIADA EN
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarnos la fuerza y fortaleza necesaria para cumplir con nuestros estudios universitarios, por protegernos día a día y mantenernos en su luz.

A nuestras familias, amigos y conocidos quienes de manera constante fueron una motivación que permitió perseverar con nuestras responsabilidades como estudiantes de nivel superior.

A nuestra alma mater, la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a sus docentes que con su incansable labor contribuyen al desarrollo de nuestra formación profesional.

A nuestro director de tesis, el Ing. Richard Ramírez Palma Mg. guía principal del presente trabajo de investigación compartiendo de forma idónea sus conocimientos y experiencias.

A la directora del laboratorio de hormigones, suelos y asfaltos de la UPSE la Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg. por el apoyo incondicional, el conocimiento brindado y la motivación diaria, factores vitales para el desarrollo del presente trabajo de grado.

A quienes conforman el Centro Tecnológico del Hormigón, institución que de manera desinteresada nos facilitó materiales, documentación técnica y a su vez compartieron sus conocimientos haciendo posible la parte experimental de este trabajo de grado.

Fausto Gómez S.
Fabian Orrala Y.

DEDICATORIA

A mis padres, Fausto Saúl Gómez Pinto y Zoila Matilde Suarez Panimboza, quienes siempre han sido ejemplo de honestidad, sacrificio y devoción. Guiándome en el duro camino de la vida, convirtiéndose en pilares fundamentales para hacerme un hombre de bien.

A mis hermanas Karla Estefanía e Ivette Eloísa Gómez Suarez, quienes día a día alegran mi vida.

A Dalma Andrea Tapia Guartatanga, por ser un soporte emocional y espiritual, siempre brindándome su amor, confianza y apoyo incondicional haciendo posible culminar este proyecto.

Quienes son un parte importante de mi vida: A mi familia, amigos y conocidos; que con palabras de aliento no me dejaron desistir, apoyándome constantemente hasta la culminación de mi carrera.

Fausto Gómez S.

DEDICATORIA

A mis padres Máximo Orrala Soriano y Fanny Maritza Yagual Tumbaco, por ser mi guía, ejemplo, apoyo y de esta manera poder alcanzar mis sueños y propósitos. Gracias por darme la oportunidad de vivir y ver que uno de aquellos sueños ya es una realidad.

Fabian Orrala Y.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Ramón Muñoz Suárez, Msc.
DECANO DE FACULTAD
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Ing. Juan Garcés Vargas, Mgp.
DIRECTOR DE LA ESCUELA
INGENIERÍA CIVIL

Ing. Richard Ramírez Palma, Mg.
DOCENTE UPSE
TUTOR DE TESIS

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.
DOCENTE UPSE
PROFESOR DE ÁREA

Ab. Joe Espinoza Ayala
SECRETARIO GENERAL
UPSE

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES	6
1.6.1 Formulación de la hipótesis	6
1.6.2 Variables	6
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 CEMENTO	8
2.2 CEMENTO PORTLAND.....	8
2.2.1 Componentes que influyen en la hidratación del cemento portland	8
2.2.2 Proceso de Fabricación del cemento	10
2.3 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND	13
2.3.1 Cementos portland puros.	13
2.3.2 Cementos portland con adición puzolánica.	14
2.4 PUZOLANA	18
2.4.1 Definición.....	18
2.4.2 Origen e historia.....	18
2.4.3 Clasificación de material puzolánico	19
2.4.4 Uso de las puzolanas	20
2.4.5 Puzolanas existentes en el Ecuador.....	21
2.5 PLANTA DE MAÍZ	21
2.5.1 Clasificación.....	22
2.5.2 Descripción botánica.....	23
2.5.3 Producción	23
2.5.4 Híbridos - Agri 104 (alto rendimiento)	24
2.5.5 Residuos del cultivo de maíz.	25
2.5.6 Proyecto PIDAASSE	26

2.6	AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN	27
2.6.1	Cemento	28
2.6.2	Agregados	28
2.6.3	Agua de mezclado	30
3	MARCO METODOLÓGICO	32
3.1	OBTENCIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ	32
3.2	SECADO DE LA PLANTA DE MAÍZ	33
3.3	INCINERACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ	34
3.4	MOLIENDA DE LA CENIZA.....	37
3.5	CRIBADO DE LA CENIZA	39
3.6	DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI 211.1-1985.....	40
3.6.1	Materiales a utilizar en la mezcla de hormigon	40
3.6.2	Propiedades de los Áridos determinados en laboratorio.	41
3.6.3	Calculo de la cantidad de agua.....	41
3.6.4	Corrección del agua de Mezcla	42
3.6.5	Determinación del volumen de cemento:.....	42
3.6.6	Volumen del Árido grueso:.....	43
3.6.7	Calculo del volumen del árido fino.....	43
3.6.8	Cantidad de Materiales por M ³	44
3.6.9	Comprobación de los porcentajes del Árido grueso y fino	44
3.6.10	Cantidad de Materiales por M ³ (Corrección del ACI).	45
3.6.11	Peso en Kg por volumen de mezcla.	45
3.7	ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO	46
3.7.1	Equipos.....	46
3.7.2	Requisitos para el ensayo	48
3.7.3	Muestreo del hormigón	49
3.7.4	Asentamiento, contenido de aire y temperatura.....	49
3.7.5	Procedimiento para el moldeo de especímenes.....	51
3.7.6	Curado	53
3.8	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	55
3.8.1	Especímenes.....	55
3.8.2	Procedimiento	56
3.8.3	Cálculos.....	58

3.8.4	Informe de resultados.....	59
3.8.5	Precisión y desviación.....	60
4	PRESENTACIÓN DE RESULTADO	63
4.1	DISEÑO PATRÓN DE LA MEZCLA.....	63
4.2	DOSIFICACIONES OPTIMIZADAS PARA REMPLAZO PARCIAL.	63
4.2.1	Dosificación base para remplazo parcial en 5% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.	63
4.2.2	Dosificación base para remplazo parcial en 10% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.	64
4.2.3	Dosificación base para remplazo parcial en 15% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.	64
4.2.4	Porcentaje de aprovechamiento de la ceniza después de someter los residuos del maíz al proceso de calcinación controlada	65
4.2.5	Propiedades del concreto fresco de la mezcla según el porcentaje de remplazo y la temperatura de calcinación de los residuos.	65
4.3	DENSIDADES PROMEDIO DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS.....	66
4.4	CARTERA DE ROTURAS PROMEDIO. (Ver anexos: 9-18).....	66
4.4.1	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla PATRÓN.	66
4.4.2	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 5% ceniza”.	67
4.4.3	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 10% ceniza”.	67
4.4.4	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 15% ceniza”.	68
4.4.5	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 05% ceniza”.	68
4.4.6	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 10% ceniza”.	69
4.4.7	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 15% ceniza”.	69
4.4.8	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 5% ceniza”.	70

4.4.9	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 10% ceniza”.	70
4.4.10	Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 15% ceniza”.	71
4.5	COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA SEGÚN LA TEMPERATURA DE CALCINACIÓN.	72
4.5.1	Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 500 °C”.	72
4.5.2	Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 600 °C”.	73
4.5.3	Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 700 °C”.	74
4.6	COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA PUZOLANA ARTIFICIAL	75
4.6.1	Costo por la obtención de los residuos del cultivo de maíz.	75
4.6.2	Costo de la energía utilizada para obtener la ceniza.	75
4.6.3	Costo de la mano de obra utilizada para obtener la ceniza.	75
4.6.4	Costo total de la Obtención de la ceniza.	76
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
5.1	CALCINACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ	77
5.2	MOLIENDA Y CRIBADO DE LA CENIZA	77
5.3	COSTO DE LA OBTENCIÓN DE LA PUZOLANA ARTIFICIAL	78
5.4	REVENIMIENTO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN CON CEMENTO PUZOLÁNICO.	78
5.5	DENSIDAD PROMEDIOS DE LAS MEZCLAS EN ESTADO ENDURECIDO.	79
5.6	ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	80
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
6.1	CONCLUSIONES	82
6.2	RECOMENDACIONES	83
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
7.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
8	ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Evolución del cemento portland a nivel mundial.....	2
Tabla 2.1: Peso unitario de la planta según su estructura.	25
Tabla 3.1: Propiedades de los agregados en el hormigón.	41
Tabla 3.2: Agua de mezclado para distintos tipos de asentamientos vs. TMN.....	41
Tabla 3.3: Relación a/c vs resistencia a la compresión.	42
Tabla 3.4: Volumen de agregado grueso por unidad de concreto.	43
Tabla 3.5: Volumen parcial de los materiales en el hormigón por metro cubico.	44
Tabla 3.6: Corrección del ACI para volumen de agregados pétreos en el hormigón.	44
Tabla 3.7: Volumen real de los materiales en el hormigón por metro cubico	45
Tabla 3.8: Peso nominal en Kg. para obtener un metro cubico de mezcla	45
Tabla 3.9: Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.	47
Tabla 3.10: Requisitos para determinar el método de compactación.	51
Tabla 3.11: Requisitos para el moldeo mediante varillado.	52
Tabla 3.12: Requisitos para el moldeo mediante vibración.	52
Tabla 3.13: Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.	57
Tabla 3.14: Factor de corrección según la relación de longitud al diámetro del especimen.	59
Tabla 3.15: Precisión del ensayo de compresión del hormigón para corrección.	60
Tabla 4.1: Diseño por amasada para la elaboración de probetas cilíndricas.	63
Tabla 4.2: Diseño R1 (5% de remplazo).....	63
Tabla 4.3: Diseño R2 (10% de remplazo).....	64
Tabla 4.4: Diseño R3 (15% de remplazo).....	64
Tabla 4.5: Calculo de pérdidas por la calcinación de los residuos del cultivo de maíz.	65
Tabla 4.6: Propiedades del concreto fresco por medio de ensayos.	65
Tabla 4.7: tabla de densidades promedio de probetas cilíndricas para ensayo de resistencia a la compresión.....	66
Tabla 4.8: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	66
Tabla 4.9: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	67

Tabla 4.10: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	67
Tabla 4.11: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	68
Tabla 4.12: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	68
Tabla 4.13: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	69
Tabla 4.14: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	69
Tabla 4.15: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	70
Tabla 4.16: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	70
Tabla 4.17: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.....	71
Tabla 4.18: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN - T=500°C”...	72
Tabla 4.19: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN – T600°C”. ...	73
Tabla 4.20: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN - T=500°C”...	74
Tabla 4.21: Cantidad de plantas necesarias para obtener un Kg de ceniza.	75
Tabla 4.22: Cantidad de energía necesaria para obtener un Kg de ceniza.	75
Tabla 4.23: Mano de obra necesaria para obtener un Kg de ceniza.	75
Tabla 4.24: Costo final de la obtención de la ceniza.....	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1: Esquema de fabricación del cemento portland.	10
Ilustración 2.2: Clasificación de los cementos Portland de acuerdo a normativa INEN (ASTM)	13
Ilustración 2.3: Cultivo del Zea mays en etapa de pre-cosecha.	22
Ilustración 2.4: Cultivo del Zea mays en etapa de cosecha.	24
Ilustración 2.5: Campañas de socialización del proyecto – Prov. de Santa Elena.	27
Ilustración 2.6: Vista aérea del proyecto PIDAASSE – Comuna Zapotal	27
Ilustración 2.7: Ubicación geográfica de la cantera San Vicente – Comuna Las Balsas.	29
Ilustración 2.8: Ubicación Empresa Emuvial Ep – Santa Elena.	30
Ilustración 3.1: Proyecto PIDAASSE – Zapotal.	32
Ilustración 3.2: Área de extracción de las plantas de maíz.	33
Ilustración 3.3: Secado del material por medio de exposición solar.	33
Ilustración 3.4: Horno artesanal usado para el calcinamiento de las plantas de maíz.	34
Ilustración 3.5: Termómetro registrando una de las variables de temperatura (600 °C).	35
Ilustración 3.6: Quemador diseñado para la combustión del material.	35
Ilustración 3.7: Quemador actuando como regulador de temperatura.	36
Ilustración 3.8: Obtención de la ceniza, muestra pre molienda	37
Ilustración 3.9: Ceniza en el equipo de abrasión de los ángeles.	38
Ilustración 3.10: Muestra de ceniza resultante del proceso de molienda.	38
Ilustración 3.11: Agitadora de tamices utilizado para homogenizar la ceniza.	39
Ilustración 3.12: Ensayo de un cilindro en la máquina de compresión.	61
Ilustración 3.13: Probeta cilíndrica en la prensa hidraulica.	62
Ilustración 3.14: Probeta cilíndrica ensayada.	62
Ilustración 4.1: Comparativa de las resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra "PATRÓN vs. T = 500 °C".	72
Ilustración 4.2: Comparativa de las resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra "PATRÓN vs. T = 600 °C".	73
Ilustración 4.3: Comparativa de las resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra "PATRÓN vs. T = 700 °C".	74

Ilustración 5.1: Densidad de las probetas cilíndricas según el porcentaje de Reemplazo
y temp. de calcinación. 80

RESUMEN

El presente trabajo de grado evalúa el uso de mezclas de hormigón con contenido de puzolanas artificiales, adquiridas de las cenizas obtenidas de los residuos del cultivo de maíz como sustituto parcial del cemento Portland en 5%, 10% y 15% de su proporción, diseñadas en base a una mezcla patrón con una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm². El método empleado se dividió en dos fases: la primera fue la obtención de la ceniza, lo cual implicó la extracción de hojas en una plantación de maíz, proceso de incineración, moliendas, cribado y gradado de la ceniza, así como los ensayos correspondientes a las propiedades de la ceniza según la norma ecuatoriana NTE INEN 494-81; la segunda fase comprendió: diseño, elaboración de mezclas, asentamiento en el cono de Abrams, curado de probetas, densidad y ensayos de resistencia a compresión de probetas normalizadas de 10 cm de diámetro a los 3, 7, 14 y 28 días según la Norma NTE INEN 1576-11 y NTE INEN 1573-10. Los resultados de la investigación indican que la ceniza obtenida de la calcinación controlada de la planta de maíz es un material válido como sustituto parcial del cemento Portland en mezclas de concreto.

Palabras Claves: Puzolana, ceniza, calcinación controlada, planta de maíz, hormigón, resistencia, compresión, durabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, con la finalidad de mejorar sus condiciones de vida, el hombre ha utilizado diferentes tipos de materiales, especialmente en el área de la construcción, creando e innovando a partir de los mismos. Uno de estos materiales es el cemento portland, el cual en adición con determinados agregados pétreos y agua, forma una masa capaz de unirlos entre si para posteriormente convertirse en un conglomerado compuesto y duro, similar a las rocas.

El ligante más antiguo con características cementicias encontrado, data de hace 7.000 años AC, descubiertos en 1985, durante la construcción de la carretera Yiftah El en Galilea. En el continente americano hace 5000 años, específicamente al norte de Chile, aparecen las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas (puzolana de origen vegetal), estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indios.

En el año 100 A.C., en la antigua Roma empleaban mezclas similares para unir rocas, elaborando hormigones con resistencias de hasta 5 MPa que servían para elevar estructuras que hoy en día son de gran importancia histórica como los “coliseos y panteones de la antigua Roma”, la mayoría aún perduran en nuestra época.

En 1824 Joseph Aspdin, un constructor de Leeds en Inglaterra, daba el nombre a dicha mezcla de Cemento Portland y patentaba un material polvoriento que amasado con agua y arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las piedras calizas de la isla de Portland. Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica.

Desde entonces el cemento portland ha ido evolucionando a nivel mundial empezando desde sus orígenes en Inglaterra hasta llegar a países sudamericanos como se puede apreciar en la tabla 1.1 (ver página siguiente):

AÑO	EVENTO	PAÍS
1825	Aparecen primeras fábricas de cemento	Inglaterra
1850	Instalación de primeras fábricas	Alemania, Francia, EE.UU
1870	Fabricación del cemento	Alemania, Francia, EE.UU
1901	Instalación de una fábrica de tamaño pequeño	Guatemala
1906	Instalación de una fábrica con capacidad de producción de 20.000 toneladas por año	México
1908	Funciona la primera planta de cemento	Chile

Tabla 1.1: Evolución del cemento portland a nivel mundial

Fuente: <http://www.inecyc.org.ec/indexmodificado7.htm>

Con la evolución del cemento, la práctica del uso de la puzolana empezó a darse en el año 1979, ante la necesidad de disminuir los costos que implica el uso de mezclas de concreto en obras de construcción (FERNÁNDEZ, 2009), además de las propiedades que ofrecía siendo un material silicio no aglomerante, tales como: resistencia a la intemperie, mayor trabajabilidad con la mezcla, generar concretos más plásticos con menos calor de hidratación, entre otros beneficios.

En el Ecuador se empezó a comercializar el cemento hidráulico con la llegada de la primera fábrica a la ciudad de Guayaquil, en junio de 1923, con una producción de 3.000 toneladas anuales con la marca Cóndor (INECYC, 2009). Desde entonces el cemento portland ha tenido un gran avance y desarrollo, siendo el cemento portland IP, elaborado bajo Norma INEN 490 (ASTM C 595), el que presenta mayor demanda en el mercado nacional.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria del cemento es responsable de cerca del 5% del total de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre. Por esta razón, la protección del medio ambiente ha tomado un lugar primordial en la producción del cemento en todas las plantas, siendo una de las principales prioridades de la agenda de la INICIATIVA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL CEMENTO (CSI) (FICEM, 2013).

A partir de esta óptica se han generado estudios y campañas para disminuir la huella de carbono que genera la producción actual del cemento, sin repercutir en la calidad del mismo, minimizar el impacto ambiental y reducir los costos, creando así un producto viable para el libre comercio.

Materiales con componentes puzolánicos han sido utilizados en las últimas décadas como sustituto parciales del cemento Portland en mezclas de hormigón, con el propósito de minimizar el uso significativo del mismo, aportando al cuidado medio-ambiental que esto representa; aun así, existen otras cualidades por las cuales se sigue implementando el uso de estos componentes.

Las adiciones minerales de alta finura (entre ellas las puzolanas), pueden ayudar al mejoramiento de las propiedades del hormigón. Los beneficios pueden ser tanto físicos como químicos, pero el fin es el mismo: la porosidad del hormigón disminuye y la distribución y tamaño de los poros se hacen más pequeños, incluso disminuir la reacción álcali-sílice de cierto agregados, con esto se logra potencializar varias de las propiedades del cemento dentro de la mezcla de hormigón (REVISTA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION, 2008).

Uno de los elementos utilizables como sustituto parcial del cemento en la mezcla es la ceniza obtenida de la calcinación de los residuos del cultivo de maíz, (*Zea mayz L.*), perteneciente al grupo de las gramíneas, siendo uno de los productos de consumo humano más cotizados y necesarios para el hombre, tanto para la cría de animales como para su propio consumo (AGUILAR, 1994).

Con el uso de nuevas tecnologías en el área de la ingeniería, en la actualidad estos residuos son utilizados como agregado en las matrices de hormigón y compuestos derivados tales como tejas y muros de mampostería, satisfaciendo la necesidad de materiales que permitan la reducción de costos en la construcción y contribuyan, primordialmente, a la conservación del medio ambiente.

Este último punto es tomado como referencia para la elaboración del presente tema de investigación, puesto que, siendo la provincia de Santa Elena una zona agrícola, la producción de granos y cereales en la región implica en gran medida la

formación de desperdicios y residuos vegetales propios de la cosecha de los mismos, los cuales servirían para satisfacer la posible demanda de puzolana en la zona costera del país, donde se da en gran medida la producción del cultivo.

Basándose en los estándares actuales de durabilidad y conservación del hormigón (convencionales y de alta resistencia), se plantea el uso de cenizas obtenidas de la calcinación de residuos de la planta de maíz como sustituto parcial del cemento de mezcla mejorando las propiedades mecánicas, sin comprometer su calidad final.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las mezclas de hormigón con sustitución parcial del cemento por puzolanas artificiales, obtenidas mediante la calcinación controlada de residuos de la planta de maíz proveniente de la Provincia de Santa Elena, permiten obtener resistencias a la compresión similares a las realizadas con el peso total de cemento, obteniendo un consecuente beneficio económico-medioambiental.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La investigación propuesta se justifica plenamente si se logra que los resultados encontrados a lo largo del experimento, mantienen o mejor aumentan la resistencia a la compresión del hormigón.

Se utiliza como materia prima los residuos del cultivo de maíz producido en la provincia de Santa Elena para la obtención de una puzolana artificial experimental. El uso de las puzolanas artificiales proporciona dos beneficios: el empleo de residuos con un alto potencial de reutilización y una disminución considerable de los costos de obra, al poseer un material que permite reducir de manera parcial el uso del cemento en el hormigón.

Desde el punto de vista técnico, en hormigones de resistencias normales, las puzolanas tanto naturales como artificiales son añadidas a la mezcla con el propósito de reducir los costos finales del hormigón en la obra, mejorando los valores de

resistencia a la compresión a corto y largo plazo. En tales casos, las puzolanas artificiales ayudan a mejorar la compacidad de los sólidos, teniendo como rol primario proveer silicato cálcico hidratado adicional a la mezcla, por medio de la reacción con el agua y el hidróxido cálcico proveniente de la reacción del cemento portland al fraguar.

Con el uso de la puzolana obtenida de calcinación de los residuos del cultivo de maíz se lograría disminuir el calor de hidratación en la mezcla, ya que la literatura instruye en que estas disipan el calor en menos tiempo. Además la trabajabilidad del hormigón no se ve afectada puesto que esta puzolana posee una mínima absorción, por lo cual se desprecia en el diseño de la mezcla en el numeral 3,6.

Una vez concluida la investigación, se podrá constatar si verdaderamente la implementación de la puzolana artificial obtenida de la calcinación de los residuos del cultivo de maíz posee una influencia directa en la resistencia a la compresión en el hormigón, base principal de este estudio.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Obtener un hormigón de cemento portland utilizando puzolanas artificiales obtenidas por calcinación controlada de los residuos del cultivo de maíz como sustituto parcial del cemento, sin afectar su resistencia a la compresión en comparación con los diseños patrón, obteniendo un consecuente beneficio técnico-medioambiental.

1.5.2 Objetivos específicos

- Dar a conocer los fundamentos teóricos de la sustitución parcial del cemento portland por puzolanas artificiales obtenidas de la calcinación de residuos agrícolas.

- Establecer técnicas y métodos adecuados para la obtención de puzolanas artificiales mediante la calcinación de residuos agrícolas como el cultivo de maíz producido en la provincia de Santa Elena.
- Elaborar un hormigón de cemento portland con sustitución parcial de cenizas obtenidas de la calcinación de los residuos del cultivo de maíz producidos en la Provincia de Santa Elena.
- Evaluar los resultados obtenidos de la inclusión de la puzolana artificial en el cemento portland tipo HE para realizar hormigones, y su repercusión en la calidad del mismo.
- Comparar los costos de producción de la puzolana artificial obtenidas de la calcinación de los residuos del cultivo de maíz con el costo por saco de 50 kg de cemento portland con adiciones minerales.
- Exponer la aplicación y correcto empleo de la puzolana artificial obtenida de la calcinación de residuos del cultivo de maíz.

1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.6.1 Formulación de la hipótesis

- La puzolana artificial obtenida mediante calcinación controlada de los residuos del cultivo de maíz es un sustituto parcial del cemento portland en el hormigón, manteniendo o mejorando su resistencia a la compresión.

1.6.2 Variables

1.6.2.1 Variable independiente

- Residuos calcinados del cultivo de maíz producidos en la Provincia de Santa Elena.

- Cemento portland Premium tipo HE (NTE INEN 2380, 2011).
- Agregado grueso pétreo de caliza (cantera San Vicente) TMN 3/4#”.
- Agregado fino (Arena gruesa, cantera El Triunfo).
- Agua potable.
- Hormigón de resistencia a la compresión $f_c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

1.6.2.2 Variable dependiente

- Porcentaje de sustitución del cemento portland por el material puzolánico.
- Temperatura de calcinación de los residuos del cultivo de maíz.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 CEMENTO

El cemento es un material conglomerante de carácter hidráulico que al ser mezclado íntimamente con agregados pétreos es capaz de crear una masa uniforme que posteriormente fragua al reaccionar químicamente con adición de agua hasta volverse un compuesto pétreo, que se denomina hormigón. Su presentación más común es el polvo fino obtenido mediante pulverización de rocas y adiciones previamente mezcladas, calcinadas y homogenizadas.

2.2 CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland es un polvo químico finamente molido de carácter hidráulico, compuesto principalmente de silicato de calcio y en menor proporción de aluminato de calcio, los cuales fraguan y se endurecen al reaccionar químicamente con el agua, esta reacción química se denomina hidratación del hormigón (Mindiola, 2011).

Conocido en la actualidad como un material conglomerante, utilizado de manera más común para la elaboración de distintas variedades de hormigones empleados en la construcción de obras civiles de gran envergadura, diseñadas para resistir los climas más agresivos garantizando su resistencia y durabilidad respecto al paso del tiempo.

2.2.1 Componentes que influyen en la hidratación del cemento portland

En su presentación común el cemento portland es una mezcla de minerales que tienen su origen en el clinker que lo compone, por lo cual siempre debe existir la presencia del grado de reactividad de cada uno, dependiendo de manera primordial el procedimiento de elaboración de la mezcla de hormigón (Montero, 2001).

2.2.1.1 Silicato tricálcico (3CaO. SiO₂).

Principal componente del cemento portland, responsable de la regulación del proceso de hidratación tanto en el fraguado como en el estado endurecido. El silicato tricálcico presente en el clinker del cemento portland se llama “alita” y su proceso de hidratación es altamente complejo.

2.2.1.2 Aluminato tricálcico (3 CaO. Al₂O₃).

En la hidratación del cemento portland tiende a reaccionar con el sulfato de calcio (CaSO₄) presente formando “estrignita” como producto principal de dicho proceso.

2.2.1.3 Silicato dicálcico (2CaO.SiO₂).

Conocido comúnmente como “belita” siendo un componente normal del cemento; el proceso de hidratación del cemento portland produce Hidróxido de Calcio (Ca (OH)₂) en menor cantidad que el silicato tricálcico.

2.2.1.4 Aluminoferrito de calcio.

Producto conocido como “fase Ferrito” el cual bajo condiciones comparables con los productos de la hidratación del cemento portland en la fase ferrito tienen similares características a los formados en la hidratación del aluminato tricálcico.

2.2.1.5 Diversas proporciones.

Junto con pequeñas cantidades de compuestos de hierro, magnesio, manganeso, fósforo, titanio, entre otros.

2.2.1.6 Sulfato de calcio.

Para lograr condiciones de trabajabilidad y fraguado se adiciona yeso al Clinker en la etapa de molienda final.

2.2.2 Proceso de Fabricación del cemento

En la actualidad el cemento portland es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido, principalmente, a la relación coste-beneficio que presenta, por ser de carácter universal, es decir, la materia prima de la cual tiene su origen puede encontrarse en casi todos los rincones del planeta en múltiples formas y diversas cantidades, reduciendo su coste de obtención y/o producción en consideración al mercado actual.

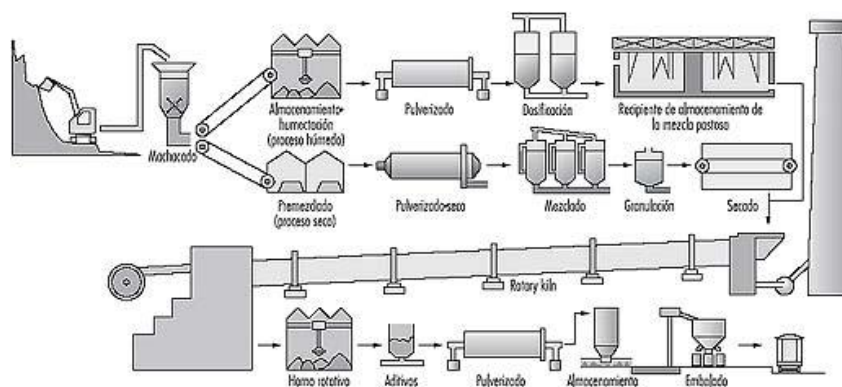


Ilustración 2.1: Esquema de fabricación del cemento portland.

Fuente: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2481>.

Las fábricas de cemento portland a nivel mundial se han adaptado a estas circunstancias, por lo que varían considerablemente de acuerdo a su ubicación y el mercado en el que se desenvuelven. Desarrollando procedimientos, normas y bases legales para garantizar la calidad de su producto. La fabricación de cemento portland se da en tres fases (ver Ilustración 2.1.):

2.2.2.1 Obtención y preparación de la materia prima.-

Las materias primas básicas para la elaboración del cemento tales como: caliza, marga, pizarra o gravas son extraídas de canteras de cielo abierto mediante excavación y voladura controlada; una vez obtenida se procede a recolectar y transportar mediante camiones de gran tonelaje hacia las trituradoras que homogenizan el material hasta un tamaño aproximado de 50 mm., para luego ser ubicados en los silos de almacenamiento hasta su uso final.

Posteriormente se determina la cantidad necesaria de cada material a ser introducida a los molinos, acorde los resultados de análisis físicos y químicos realizados al momento de ser almacenados, también se adicionan porciones minoritarias de elementos como: calcio, sílice, aluminio o hierro. Estos elementos pueden ser añadidos en los siguientes materiales como la cascarilla, arena, escoria de alto horno, cenizas volantes, puzolanas artificiales y otros, que ajustan la composición química del “crudo” obtenida de la mezcla de todos estos materiales.

Para la dosificación de las materias primas se usan básculas que permiten un control eficaz y la inclusión conjunta a los molinos de todas las materias primas. La mezcla resultante es un material fino denominado “harina de crudo” el cual se almacena en silos cerrados donde se lleva un proceso de homogenización mediante la inclusión de aire a presión desde la parte inferior del silo.

2.2.2.2 Producción del Clinker.

La “harina de crudo” es introducida a un intercambiador de calor donde se calienta progresivamente hasta los 1.000 °C donde el crudo es secado, deshidratado y posteriormente descarbonatado, mediante intercambio del calor entre los gases ascendentes procedentes de la combustión en el horno, y la materia cruda descendente existente en el intercambiador el material.

Consecutivamente los materiales ingresan a un horno cilíndrico de 45 – 60 metros de longitud y 3-7,5 metros de diámetro, dependiendo del fabricante, el cual rota a velocidades menores a las 3 rpm. Dentro del horno se produce la combustión controlada de combustibles fósiles produciendo una llama que alcanza temperaturas de hasta 1.400 °C.

A medida que el material ingresa al horno la temperatura va incrementando hasta alcanzar un máximo de 1.450 °C., necesaria para que se produzca la correcta formación de los componentes responsables de las propiedades mecánicas de los cementos. Una vez terminado este proceso de transformación se obtiene un material de aspecto granular y redondeado conocido con el nombre de “Clinker” el cual es base primordial para la obtención del cemento.

Para preservar su estructura cristalina y estabilizar los componentes formados en las temperaturas de 1.450 °C., el Clinker se enfría con aire a temperaturas inferiores a 120 °C. Los gases resultantes del proceso de combustión son emitidos a la atmósfera a través de una chimenea a una temperatura inferior a 120 °C., después de un filtrado electrostático o de mangas que retienen el 99,9% del polvo y residuos tóxicos. A su vez el calor contenido en los gases de salida es reutilizado en el proceso de secado y molienda del crudo, y de los residuos de la quema de combustibles.

Todo el proceso de molienda, calentamiento y cocción representa una gran energía, aproximadamente 1.700 Julios/gr., pero debido a las pérdidas de calor ajenas al proceso, se incrementa. Esta producción de cemento portland genera un notable consumo de energía que en la actualidad se obtiene de la quema de combustibles fósiles generando así cantidades exorbitantes de CO₂ (dióxido de carbono), actualmente se requieren 1.560 Kg. de crudo para producir 1.000 Kg. de Clinker.

2.2.2.3 Obtención del cemento.-

Para finalizar la producción, el Clinker es mezclado con otros elementos, adicionando propiedades específicas a su composición o bien reemplazar parcialmente el porcentaje de adición en la mezcla. El tipo, la cantidad de materias primas y adiciones especiales dependerá del tipo de cemento a producirse.

Esta porción específica de los materiales se da igual que en la harina de crudo, dosificando por medio de básculas que suministran material de manera constante y conjunta, determinando el peso necesario mediante análisis delimitados, ajustando la mezcla de manera automática.

En este proceso de molienda de los materiales los componentes son mezclados íntimamente y luego separados, repitiendo este proceso hasta lograr una mezcla uniforme denominada “cemento Portland” debido a su color grisáceo. Si el cemento obtenido posee un tamaño de partícula que varía entre 10 y 0,5 micras de diámetro (Chatterji, 2003), se procede a su almacenamiento en silos estancos para su posterior envase y distribución, caso contrario se reintegra a la molienda hasta cumplir por la finura necesaria.

2.3 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

En nuestro país la compraventa y comercialización de los cementos ha tenido una amplia gama de productos dependiendo de las necesidades actuales, así como los procedimientos para su fabricación y normalización, que han sufrido cambios importantes, adaptándose a las necesidades de la construcción moderna y al cuidado del medio ambiente mediante la reducción de los gases con efecto invernadero (HOLCIM, 2010).

TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
		INEN	ASTM
PUROS	I Uso común	152	C 150
	II Moderada resistencia a sulfatos Moderado calor de hidratación	152	C 150
	III Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C 150
Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire			
COMPUESTOS	IS Pórtland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP Pórtland puzolánico	490	C 595
	P Pórtland puzolánico (Cuando no se requieren resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I(PM) Pórtland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM) Pórtland con escoria modificado	490	C 595
	S Cemento de escoria	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU Uso en construcción en general	2.380	C 1157
	HE Elevada resistencia inicial	2.380	C 1157
	MS Moderada resistencia a los sulfatos	2.380	C 1157
	HS Alta resistencia a los sulfatos	2.380	C 1157
	MH Moderado calor de hidratación	2.380	C 1157
	LH Bajo calor de hidratación	2.380	C 1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos			

Ilustración 2.2: Clasificación de los cementos Portland de acuerdo a normativa INEN (ASTM)

Fuente: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2481>.

2.3.1 Cementos portland puros.

Para establecer los requisitos de los cementos, el INEN emitió la norma NTE INEN 152 (ASTM C150) que permitía a las compañías productoras tener una base comparativa para la elaboración de Cementos Portland Puros (OPC); no obstante la elaboración de estos cementos demanda una mayor cantidad de CO₂ que los cementos portland actuales debido a los procesos físico-químico, necesarios para su producción. (Ver Ilustración 2.2.). Estos fueron los primeros cementos producidos en el Ecuador.

2.3.2 Cementos portland con adición puzolánica.

Uno de los materiales de construcción más antiguos, después de la cal y la piedra caliza, fue la puzolana cuyo nombre proviene de una población cercana al Vesubio llamado Puzzuoli. Los romanos y griegos la utilizaron mezclándola con cal y ceniza volcánica (puzolanas naturales), dando una mezcla más duradera.

Esta concepción continúa plenamente vigente en la actualidad, siendo el cemento portland con adiciones de puzolana, uno de los cementos más utilizados en las grandes obras de ingeniería, debido a la larga vida útil que posee. Teniendo esto como precedente, se puede definir al cemento portland puzolánico como el producto que se obtiene después de adicionar al cemento portland ordinario (OCP), una cantidad de material puzolánico que puede variar entre un 20 al 50%. (INEN, 1980).

En la actualidad existe una amplia variedad de cementos mezclados. Los materiales inorgánicos que son usados para reducir el consumo de cemento pueden ser mezclados y/o molidos íntimamente con el Clinker, y/o mezclados durante la fabricación de este, o mezclados durante la fabricación del hormigón o morteros. Las cenizas volantes, escorias granuladas, microsílíce y otras puzolanas naturales o calcinadas son reportados como las adiciones minerales más utilizadas.

La relativa proporción de los productos de reacción dependen de las características químicas y mineralogía de las puzolanas usadas. Como se vio anteriormente, hoy en día existen disímiles usos de la puzolana, entre ellos se destaca el de la fabricación de cementos Portland GU (uso general) y HE (Premium, altas resistencias iniciales) de la compañía HOLCIM los cuales lideran el mercado nacional ecuatoriano.

2.3.2.1 Ventajas de los cementos portland con adición puzolánica.

Este tipo de cemento ofrece muchas ventajas sobre otros cementos puros, debido al efecto puzolánico, el cual consiste en que los aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del

cemento portland provocando una lenta reacción al calor. Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de hidratación.
- Incrementa la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye consumo de agua.

2.3.2.2 Importancia del uso de cementos portland con adición puzolánica.

En todos los casos la unidad de cemento portland con adiciones tendrá un menor costo que el portland normal, por cuanto se reemplaza, parcialmente, un elevado porcentaje de cemento por puzolana, por consiguiente se obtiene un costo de fabricación relativamente menor, especialmente en casos de puzolanas no tratadas. El tratamiento de las puzolanas es en ciertos casos fundamental pues, tanto su finura como la temperatura de calcinación acrecientan notablemente sus propiedades.

Al portland normal, se le adiciona un porcentaje en peso dependiendo del tipo de cemento a elaborar de material puzolánico, teniendo en cuenta el peso específico de este último. Comúnmente este material se llama de reemplazamiento, para diferenciar el caso de los cementos a los cuales se les agrega una pequeña parte de puzolana como aditivo para lograr mayor docilidad y otras propiedades.

Ambos materiales se pueden unir, sea en Clinker, pasando luego juntos a los molinos para ser molidos y ensacados, o luego de producirse el cemento portland. En determinadas construcciones de magnitud, el cemento con adiciones se fabrica en obra

permitiendo graduar el porcentaje de puzolana acorde a las características del concreto deseado.

En el país actualmente se encuentra regulada la fabricación de cemento Portland con adiciones puzolánica, de acuerdo a los requisitos contemplados en la norma NTE INEN 490, los cuales catalogan la cantidad de material puzolánico adicionado, logrando resistencia similares a los cementos puros y NTE INEN 2380 que se basan en el desempeño de las mezclas independientemente de cómo se logren estas resistencias.

2.3.2.3 Aspectos técnicos.

Los cementos con adiciones puzolánicas, principalmente los cementos portland que poseen propiedades y comportamientos que los cementos portland puros no, se les da mayor relevancia ante necesidades y usos específicos en las construcciones civiles de la actualidad, especialmente porque favorecen en propiedades tales como: calor de hidratación, plasticidad, durabilidad, resistencia a ambientes abrasivos como aguas ácidas y sulfatos.

2.3.2.4 Aspectos económicos.

En la actualidad existe una gran controversia por las construcciones civiles debido a la utilización de los recursos naturales sin medida, así como campañas de concientización de los mismos considerando el calentamiento global y la huella de carbono que la utilización de combustibles fósiles genera, repercutiendo gravemente en nuestro medio ambiente.

Considerando la cantidad de energía y por ende la cantidad de combustibles fósiles que se requiere para producir una tonelada de cemento, la sustitución parcial de clinker por puzolanas en diferentes porciones, según el tipo de cemento a producir, supone un ahorro significativo, no solo en el uso combustibles fósiles los cuales actualmente son necesarios para cualquier proceso industrial sino en el clinker como materia principal del cemento portland.

2.3.2.5 Propiedades de los cementos portland con adición puzolánica.

Las características más significativas de los cementos portland puzolánicos o cementos portland adicionados se encuentran en el incremento de las condiciones de trabajabilidad y durabilidad tanto en edades iniciales como en edades avanzadas en el hormigón.

En el concreto fresco:

- Mejora la docilidad, permitiendo su fácil puesta en obra.
- Disminuye la exudación de las mezclas y la tendencia a la segregación.

En el concreto endurecido:

- Mejor resistencia a la exposición a la intemperie.
- Resistencia a aguas agresivas (obras de cimentación, tuberías, desagües, obras de alcantarillado).
- Menor calor de hidratación (útil en obras masivas como: presas, cimentaciones, vigas de puente, entre otros).

En lo que respecta a las características de deformación y resistencia:

- Retracción y fluencia.- Ambos fenómenos se ven acrecentados en el caso de los portland con adición puzolánica. El campo de variación es amplio, según sea la puzolana, cemento usado y tipo de agregado.
- Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos con adición puzolánica. Aunque no se puede determinar coeficientes al respecto, dada la cantidad de parámetros incidentes.
- Las resistencias mecánicas disminuyen en los cementos con adición puzolánica, especialmente en los concretos ricos en aglomerantes. En las mezclas pobres, eventualmente, pueden incrementar la resistencia a la compresión.

2.4 PUZOLANA

2.4.1 Definición

La Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, que proviene de la población de Puzzuoli (Italia), en las faldas del Vesubio. Según la American Society of Testing Materials (ASTM) la puzolana es el material silíceo que no siendo aglomerante por sí mismo -o en muy baja magnitud- contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

Puzolanas han sido definidas como los materiales que carentes de actividad hidráulica por sí solas, pero contienen constituyentes que al combinarse con la cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dan lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos.

2.4.2 Origen e historia

La puzolana proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya era explotada en tiempos de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la puzolana de origen natural podían tener usos sustitutivos (Miranda, 2012). La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podrían ofrecer.

Uno de los mejores exponentes que podemos encontrar es el Panteón de Roma, construido en el año 123 A.C., fue durante 1.500 años la mayor cúpula construida, y con sus 43,3 metros de diámetro aún mantiene records como ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo (Mindiola, 2011). Esta construcción fue realizada mezclando cal, puzolana y agua; otro ejemplo es el Coliseo de Roma. En algunas ciudades europeas, fue utilizada en la construcción de murallas mezclándola con cal, y recuerdan más a un moderno bunker de hormigón que a murallas medievales.

2.4.3 Clasificación de material puzolánico

2.4.3.1 Puzolanas naturales

2.4.3.1.1 Puzolanas naturales de rocas volcánicas.

Materiales cuyo el constituyente principal es un vidrio amorfo producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas como: la piedra pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.

2.4.3.1.2 Puzolanas naturales de rocas o suelos

Materiales cuyo constituyente sílice contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

2.4.3.2 Puzolanas artificiales

2.4.3.2.1 Cenizas volantes.

De manera general, son las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

2.4.3.2.2 Arcillas activadas o calcinadas artificialmente.

Por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C como adoquines y espacatos.

2.4.3.2.3 Escorias de fundición.

Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.

2.4.3.2.4 Cenizas de residuos agrícolas.

La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar, cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión (temperaturas entre 500 °C. – 700 °C.).

Es a partir de este concepto que se genera el presente trabajo de grado, estableciendo a la provincia de Santa Elena como una potencia agronómica en crecimiento de las cuales se genera una alta producción de cultivos que podrían aportar la materia prima necesaria para la obtención de puzolanas artificiales propias de la zona.

2.4.4 Uso de las puzolanas

La puzolana de origen natural no solo se emplea por sus propiedades como aditivo al cemento, sino como ornamento de parques y jardines. Además de los ya señalados como aditivo para el cemento, existen otras aplicaciones de interés para este material calibrado, por ejemplo:

- Fabricación de Hormigones de baja densidad (como ya se ha señalado en el caso del Panteón de Roma).
- Drenaje natural en campos de fútbol e instalaciones deportivas.
- Filtro natural de líquidos por su elevada porosidad.
- Absorbente (en el caso del agua del 20 al 30 % del peso de árido seco), y preparación de tierras volcánicas olorosas.
- Aislante Térmico.
- Sustrato inerte y aireante para cultivos hidropónicos.

- Jardinería, en numerosas rotondas, jardines. Sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego.
- Arqueología, protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación por construcción sobre ellos o con carácter temporal.

2.4.5 Puzolanas existentes en el Ecuador

El Ecuador es tierra de grandes elevaciones, debido a su ubicación forma parte de una serie de volcanes denominado el Cinturón de Fuego el cual cubre todo el Océano Pacífico, América, Asia y Oceanía. Se pueden apreciar estos fenómenos con mayor claridad en la región sierra del país, donde se irguen cadenas montañosas de las que se destacan al menos una decena de volcanes, en su mayoría activos y de gran proximidad.

Estas elevaciones volcánicas representan un gran atractivo turístico, así como una gran preocupación para el mismo, por su origen volcánico están sujetos a constante actividad sísmica, así como de erupciones eventuales las cuales generan residuos del magma y otros elementos que ingresan a la atmósfera, afectando las zonas aledañas.

Estos residuos, denominados cenizas volcánicas han causado a lo largo de los años un sinnúmero de afectaciones a la población en sus viviendas, cosechas enteras y causando enfermedades respiratorias y de la piel, tanto a pobladores como al ganado local, promoviendo medidas de seguridad para contrarrestar este problema que ha venido suscitándose desde hace cientos de años.

No fue sino hasta los años 70 que las industrias cementeras del país empezaron a utilizar estos residuos de manera técnica y normalizada por las entidades locales, usándoles principalmente como sustituto parcial del Clinker, o del cemento portland para adicionarle características especiales que hasta ese entonces no poseían y reduciendo los costos de producción.

2.5 PLANTA DE MAÍZ

La planta de maíz, *Zea mays L*, es una planta anual, originaria de América, explotada desde la época en que los aborígenes regían gran parte de Centro y Sudamérica, para aprovechar su valor alimenticio y surtir de alimentos a personas y animales del reino. A diferencia de otro tipo de plantas, este cultivo puede ser usado como alimento o materia prima de las distintas fases del desarrollo de la misma, incluso después de la cosecha sigue manteniendo un gran valor.

Las mazorcas tiernas de maíz, cosechadas antes de la floración de la planta sirven como hortaliza, así como un producto de gran comercio en el Ecuador conocido como “maíz dulce”. Una vez las mazorcas se encuentran en un estado verde pueden ser destinados al ensilaje para su posterior uso como alimento del ganado (ver Ilustración 2.3).



Ilustración 2.3: Cultivo del Zea mays en etapa de pre-cosecha.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

Una vez que la plantación ha cumplido los 140 días de edad y la mazorca se encuentra en estado maduro son cosechados como “maíz duro seco”; el cual es destinado para balanceado y productos de consumo humano. Después de este proceso el residuo restante no posee valor alguno, por lo que es retirada de los previos del cultivo antes de iniciar la siguiente siembra. Esto genera la oportunidad de reciclar dichos residuos como materia prima para obtener puzolanas artificiales.

2.5.1 Clasificación

La planta de maíz se encuentra clasificada como: (Cadena, 1991):

REINO:	Vegetal
DIVISIÓN:	Spermatofitas
SUBDIVISIÓN:	Angiospermas
FAMILIA:	Gramíneas
GÉNERO:	Zea
ESPECIE:	Mays L.

2.5.2 Descripción botánica

La planta de maíz, al pertenecer a la familia de las gramíneas posee características definidas, las cuales podemos denotar a continuación:

2.5.2.1 Raíces.

Fasciculadas y robustas, permite un anclaje perfecto y aporte adecuado de nutrientes.

2.5.2.2 Tallo.

Posee aspecto de caña, con entrenudos rellenos de una médula esponjosa, erecto, sin ramificaciones, de aproximadamente 1 pulgada de diámetro y una altura media entre los 2 metros.

2.5.2.3 Hojas.

Son alternas, paralelinervias, abrazadas al tallo y provistas de vellosidades con extremos afilados y cortantes; el número de hojas depende de la variedad, del ciclo y la época de siembra llega a poseer de 10 – 25 hojas.

2.5.3 Producción

El maíz, *Zea mays L.*, es uno de los productos de consumo más cotizados y necesario, tanto para el consumo humano como para alimento utilizado en la crianza de animales desde la antigüedad. Actualmente se conserva este cultivo extendiéndolo a casi todas las regiones del globo terráqueo, teniendo una producción anual promedio de 645'414.836,10 Tm, de las cuales se exportan 97'329.233,60 Tm, siendo Estados Unidos, Argentina y Francia los principales exportadores; y México, China, Indonesia e India los principales consumidores (INEC, 2010).



Ilustración 2.4: Cultivo del Zea mays en etapa de cosecha.

Fuente: tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

En el Ecuador anualmente se produce un promedio de 717.940 Tm de maíz duro seco sectorizado en su mayoría en la región Costa; y, 43.284 Tm de maíz duro suave sectorizado en su mayoría en la región Sierra, posicionándonos como el principal exportador de América Latina con el 70.38 % de las exportaciones promedio en la región (INEC, 2011).

En la actualidad El Ecuador ha llegado a producir 750.000 Tm., teniendo la región Costa una superficie de cosecha de 275.580 Ha. y una producción en grano seco y limpio de 88.000 Tm., esto representa un rendimiento de 2,77 Tm/Ha, de los cuales la provincia de Los Ríos y el Guayas son las de mayor área de sembrado (Diario Hoy, 2013).

2.5.4 Híbridos - Agri 104 (alto rendimiento)

El maíz híbrido es el cultivo que resulta de la mezcla de dos o más variedades de maíz con el objetivo de hacerlos más resistentes a problemas y/o enfermedades, que normalmente les afecta de manera natural. Estas mezclas proveen una mayor resistencia a ciertas condiciones climáticas perjudiciales, así como a combatir una gran variedad de plagas, elevando la productividad final del cultivo.

Entre los maíces con mayor rendimiento se destaca el híbrido AGRI 104, que presenta tolerancias a la sequía y un buen comportamiento en suelos salinos, a su vez requiere un control parcial de fertilización para garantizar una elevada producción final, por lo que es el principal cultivo generado en la provincia de Santa Elena.

2.5.5 Residuos del cultivo de maíz.

El cultivo de la planta de maíz genera alrededor del 60% de una masa total de biomasa aérea, correspondiendo a sus diversas estructuras: tallo, ramas, hojas y mazorca. En el Ecuador esta producción de biomasa residual generada es de 20 a 25 Tm / Ha., teniendo un aproximado de 14 Tm. de residuos generalmente destinados al material de establo. La proporción, de cada una de las distintas partes que componen la planta de maíz, va de acuerdo a la variedad, tipo de fertilización, tipo de riego y clima del área de sembrado. Para el presente trabajo de grado se establece un promedio del peso por parte de la planta de Agri 104, expresado en la Tabla 2.1:

Estructura de la Planta	Peso seco (%)
Tallos	23,4
Ramas	19,5
Hojas	11,5
Sub-total (cuerpo)	54,4
Cubierta y núcleo de la mazorca	11,7
Grano	33,9
Sub total(espiga)	45,6
TOTAL	100

Tabla 2.1: Peso unitario de la planta según su estructura.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

Por medio del Proyecto Integral de Desarrollo Agrícola, Ambiental y Social de forma Sostenible del Ecuador (PIDAASSE), se producen alrededor de 13400 plantas

por Ha., con un peso promedio de 0.68 kg., por planta, generando un residuo post-cosecha de aproximadamente 9112 kg/Ha los cuales se encuentran disponibles a partir de la primera semana de cosecha.

Estos residuos son generalmente un problema para los agricultores, debido a que el terreno debe ser limpiado para la siguiente siembra. La disposición general de estos residuos está reservada al ensilaje por el alto contenido de nutrientes que conserva la planta, no obstante este uso solo es viable dentro del mes posterior a la cosecha en los cuales pierde por completo su utilidad como alimento para ganado. Una vez concluido este periodo el residuo restante es destinado a la quema a cielo abierto usualmente en los predios del terreno.

Este proceso de calcinación resulta inconveniente al afectar directamente a los cultivos adyacentes con la ceniza volante generada y a los agricultores, tanto en daño colateral a equipos de riego como en enfermedades respiratorias que representan un costo adicional y así se reduce la ganancia total de los agricultores.

2.5.6 Proyecto PIDAASSE

Es un proyecto de habilitación de tierras para uso agrícola en áreas comunales de la Península de Santa Elena denominado como Proyecto Integral de Desarrollo Agrícola, Ambiental y Social de forma Sostenible del Ecuador (PIDAASSE), aprobado por el SENPLADES y en vigencia desde el 2012, proponiendo sistemas integrales de producción agropecuaria con tecnologías modernas y sostenibles en tierras comunales con mano de obra local.

El proyecto PIDAASSE tiene como objetivo fundamental el desarrollo agrícola de las áreas comunales, entrando en convenios con el MAGAP, donde se establece la parte técnica y social, para llevar a cabo los trabajos de campo y la socialización a cada comuna, para establecer el espacio y los equipos que requiera cada cultivo (ver ilustración 2.5).

El proyecto abarca 540 Ha., de las cuales 440 constan con sistema de riego, extendiéndose a lo largo de la península en las comunas de Las Balsas, Cerezal,

Bellavista, Manantial de Guángala, Pechiche, San Rafael, Zapotal, Sacachún, La Barranca, Juntas del Pacífico, Limoncito, El Azúcar y Bajada de Chanduy en la Provincia de Santa Elena; y, en las comunas San Antonio y San Miguel, en la Provincia del Guayas.



Ilustración 2.5: Campañas de socialización del proyecto – Prov. de Santa Elena.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

Una de las mayores áreas de producción se encuentra a 2,5 km de la comuna Zapotal con un total de 58.25 Ha. para el cultivo y producción agrícola (ver ilustración 2.6.), beneficiando a 46 familias que en estas tierras poseen sembríos de maíz, maracuyá, pimiento, pepino, cebolla y fréjol; siendo el 90% de esta producción ocupada por el cultivo de maíz (EL Verdadero, 2012).



Ilustración 2.6: Vista aérea del proyecto PIDAASSE – Comuna Zapotal

Fuente: <http://www.andes.info.ec/es/econom%C3%ADa/primer-fase-proyecto-agr%C3%ADcola>

2.6 AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN

2.6.1 Cemento

El cemento utilizado en esta investigación, es el cemento Holcim Tipo HE por sus siglas en inglés HIGH EARLY-STRENGTH, producido en la planta Guayaquil, de la Provincia del Guayas. Mediante gestión conjunta de la Universidad y los interesados se logró obtener 4 sacos de 50 kg., por medio del Centro Técnico del Hormigón, el cual brindó la información necesaria para la elaboración de este tema de investigación.

Este cemento, generalmente recomendado para la elaboración de hormigones que serán sometidos a grandes cargas en edades tempranas tales como: Losas, postes, columnas, vigas en elementos armados, post y pre tensados. En el país se elabora bajo la normativa ecuatoriana de normalización INEN, siguiendo la NTE INEN 2380 (ASTM C 1157), que describe los requisitos para hormigones hidráulicos por desempeño.

2.6.2 Agregados

Uno de los factores que más incide en la resistencia final de un hormigón es la selección y calidad de los agregados, donde su obtención, clasificación y liberación de materia orgánica juegan un papel importante, ya que la presencia de esta materia afecta considerablemente en la resistencia a la compresión, tensión o resistencia al intemperismo, la permeabilidad, entre otros.

Debido a la creciente demanda de hormigones de altas prestaciones en la provincia de Santa Elena, las canteras de nuestro medio ofrecen materiales provenientes de la zona, capaces de cumplir los requerimientos establecidos en la normativa ecuatoriana NTE INEN 572 (ASTM C 33), la cual permite cualificar parámetros sobre la gradación, sustancias perjudiciales o la resistencia a ciertos ambientes agresivos, que serán determinantes para garantizar la calidad final del hormigón.

2.6.2.1 Agregado grueso.

Se considera al material constituido por gravas, rocas trituradas, escorias de alto horno, residuos triturados de hormigón o mezcla de estas, de carácter duro y generalmente distribuido uniformemente en tamaños varios, que van desde los 9,5 mm hasta los 50 mm, dependiendo del tipo de estructura y el volumen de hormigón a diseñar.

El árido grueso a ser utilizado en la investigación fue obtenido del centro de acopio de materiales de la presa San Vicente ubicado en la parte norte de la Provincia de Santa Elena, proveniente de una de las canteras inactivas de la zona, teniendo presencia de varios estratos viables para la explotación. Esta piedra es un remanente del material utilizado en la construcción de la presa San Vicente de Colonche en los años 90 por parte de la constructora Norberto Odebrecht. El material elegido para el presente trabajo de grado es una caliza dura triturada de TMN de 3/4“y 1”.



Ilustración 2.7: Ubicación geográfica de la cantera San Vicente – Comuna Las Balsas.

Fuente: Google earth, coordenadas ingresadas al sistema.

Las características físico-mecánico de este material serán analizadas por medio de ensayos de laboratorio, estableciendo si su uso es adecuado para elaborar hormigones con adición de puzolanas artificiales obtenidas de la calcinación de los residuos de maíz evaluando su distribución granulométrica, absorción, humedad, solidez, resistencia al desgaste, masa volumétrica suelta, varillada y sustancias perjudiciales presentes mediante la normativa NTE INEN 172 (ASTM C33), que establece los requisitos para los áridos en el hormigón.

2.6.2.2 Agregado fino.

Se define como árido fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, o residuos de la trituración, generalmente son partículas finas con tamaños inferiores a los 5 mm. Para su uso en la construcción se las clasifica por su distribución granulométrica en: finas, medias y gruesas; estas últimas son las que proporcionan mayores resistencias al hormigón cumpliendo la función de ocupar los espacios entre el aglomerante (cemento) y los áridos pétreos (árido grueso) incrementando la resistencia final.

La arena a ser utilizada en el presente estudio será gruesa, limpia, e inerte, de color gris oscuro, proveniente de los bancos residuales de los ríos del cantón El Triunfo, de la provincia del Guayas, traída por medio de camiones mula a los centros de acopio y distribución en la Provincia de Santa Elena, dentro de los predios de la compañía Emuvial, la cual facilitó la obtención del material mediante gestión de la institución y el personal administrativo de la empresa.

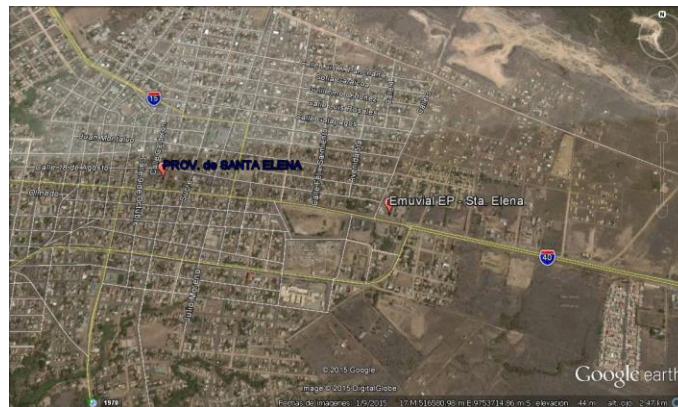


Ilustración 2.8: Ubicación Empresa Emuvial Ep – Santa Elena.

Fuente: Google earth, coordenadas ingresadas al sistema.

Las características físico-mecánico de este material serán analizadas por medio de ensayos estableciendo si su uso es adecuado para elaborar hormigones con adición de puzolanas artificiales obtenidas de la calcinación de los residuos de maíz evaluando su distribución granulométrica, absorción, humedad, masa volumétrica suelta, gravedad específica y sustancias perjudiciales mediante la normativa NTE INEN 172 (ASTM C33), que establece los requisitos para los áridos en el hormigón.

2.6.3 Agua de mezclado

En el hormigón el agua de mezcla cumple 2 funciones principales: permitir la hidratación del cemento y darle a la mezcla un alto grado de trabajabilidad, siendo una parte vital del diseño. Del agua total que es empleada en la elaboración del hormigón una parte está destinada a la hidratación del cemento, y otra porción residual se encuentra libre en la mezcla aumentando su trabajabilidad, hasta que esta se evapora con el tiempo dejando vacíos que reducen la resistencia y durabilidad.

Puede provenir de fuentes naturales o redes de agua potable si se encuentre libre de elementos orgánicos, sólidos suspendidos, sales orgánicas, arcillas, aceites y/o sedimentos resultando su uso inadecuado. El agua a emplearse en el presente estudio proviene de las redes de agua potable expedida por la planta potabilizadora de la compañía AGUAPEN S.A., establecida en la vía Guayaquil – Salinas, debido a que su composición, color y estado son viables para la elaboración de hormigones sin ningún otro tratamiento.

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 OBTENCIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ

Se aprovechó, en lo posible toda la planta de maíz como materia prima base en la investigación, la incineración de este material permitió obtener la ceniza necesaria que será utilizada en la composición del concreto puzolánico, diseñada con la proporción de ceniza del 5%, 10% y 15%, como sustitución parcial en el total de la masa de cemento portland tipo HE determinado.

El material se obtuvo en uno los predios del Proyecto PIDAASSE, ubicado en la Comuna Zapotal, kilómetro 90 vía a la Costa, autovía Guayaquil – Salinas. El proyecto fue implementado por el gobierno nacional para el desarrollo agrícola en la provincia de Santa Elena comprendiendo 58.25 Ha. de donde el cultivo de maíz es la principal actividad del proyecto y corresponde en un 90% del total de las plantaciones que se desarrollan en el sector (ver ilustración 3.1).



Ilustración 3.1: Proyecto PIDAASSE – Zapotal.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

Al iniciar el proceso de extracción de la materia prima se hizo uso de herramientas menores (machetes, rastrillos, entre otros.), con las cuales se retiró los residuos de cultivo de la plantas de maíz del área y a su vez se eliminó rastros de maleza o cualquier otro material ajeno al espécimen que pudiera representarse con el paso del tiempo.

Durante este proceso se logró obtener un total de 1800 plantas de maíz por el cual se canceló un total de 7 dólares (precio establecido por mutuo acuerdo) al responsable del cultivo teniendo así la cantidad necesaria para alcanzar la ceniza deseada para el soporte investigativo (ver ilustración 3.2).



Ilustración 3.2: Área de extracción de las plantas de maíz.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

3.2 SECADO DE LA PLANTA DE MAÍZ

Las plantas de maíz fueron colocadas dentro de la misma área de cosecha, para proceder a su respectivo secado natural por acción de luz solar (ver ilustración 3.3). Se formaron 72 grupos de plantaciones o bultos distribuidos uniformemente y de manera lineal, para facilitar la labor de recolección y posterior transporte en un camión alquilado propio de la comuna Zapotal el cual presta servicios de transporte para materiales de construcción.



Ilustración 3.3: Secado del material por medio de exposición solar.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

El periodo de secado del material duró alrededor de un mes, tiempo en el cual no fue dispuesto para otro tipo de uso por el dueño con el cual se había llegado a un previo acuerdo. Después del tiempo mencionado se inspeccionó que la plantación en exposición solar esté totalmente seca y libre de plagas o cualquier elemento extraño, para su posterior transporte.

3.3 INCINERACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ

El proceso de incineración de las plantas de maíz se realizó en un horno artesanal compuesto en su gran mayoría por bloques de arcillas (ver ilustración 3.4), material que desde la antigüedad ha sido utilizado por su capacidad de resistir altas temperaturas (1500 °C), requisito fundamental para la elaboración del presente tema de investigación.



Ilustración 3.4: Horno artesanal usado para el calcinamiento de las plantas de maíz.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

Para la incineración no se utilizó ningún tipo de combustible fósil, el horno fue previamente calentado con el uso de carbón vegetal, el cual, disperso en la cámara del mismo, permitió alcanzar los primeros 500 °C., temperatura primaria ideal para la combustión del material.

Las diferentes temperaturas en la calcinación del material, denotadas como variables en la presente investigación proponiendo temperaturas de 500 °C., 600 °C., y 700 °C. de las cuales se detallará el resultado de cada una de las incineraciones y las muestras obtenidas serían aisladas individualmente siguiendo el procedimiento.

El registro y control de temperatura se logró mediante la instalación de un termómetro digital equipado con una termocupla capaz de resistir temperaturas de hasta 1300 °C y ubicándolo en la parte superior del horno (bóveda), la cual registraba la temperatura alcanzada en el momento de la combustión, de esta manera se pudo determinar si la variable en mención mantenía el valor establecido (ver ilustración 3.5).



Ilustración 3.5: Termómetro registrando una de las variables de temperatura (600 °C).

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

Para incrementar la temperatura dentro de la cámara del horno según los requerimientos establecidos (500 °C, 600 °C y 700 °C) se diseñó un quemador especial, el cual consta básicamente de un blower o inductor de aire, así como de un inyector o pílora de 0.8 mm acoplado al sistema que regula a entrada de gas GLP a la mezcla, permitiendo la creación de la flama necesaria y consecuentemente una alta temperatura (ver ilustración 3.6).



Ilustración 3.6: Quemador diseñado para la combustión del material.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

El quemador está basado en un principio de premezcla de gas GLP y aire inducido en una cámara sellada, para posteriormente ser conducido por un tubo largo (cañón) hacia la boquilla de ignición donde se produce una llama constituida por un cono interior azul rodeado de una capa de una llama menos luminosa.

Este quemador está constituido por materiales de alta calidad y resistencia: tubería de acero inoxidable C 40 para el cañón, dos válvulas reguladoras de presión para controlar el suministro de aire y gas GLP, inyector de premezcla, tanque de gas, base del quemador, boquilla de acero carbonatado, uniones y accesorios de acero inoxidable (Ver anexo No. 20).

El objetivo de este quemador es desarrollar un mecanismo ideal de combustión que permita incinerar los residuos del cultivo de la planta de maíz a una temperatura constante, esto se logra mediante el correcto uso de la presión de aire y gas GLP que mediante válvulas reguladoras se procede a determinar la posición ideal para cada temperatura. A medida que se incrementa la cantidad de aire en el sistema, aumenta la flama y por ende aumenta la temperatura dentro de la cámara del horno (ver ilustración 3.7).



Ilustración 3.7: Quemador actuando como regulador de temperatura.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

Antes de colocar las plantas de maíz en el horno se realizó un barrido en el interior del mismo, eliminando todo rastro de carbón vegetal utilizado genéricamente para elevar su temperatura, luego se procedió a ubicar un lecho compuesto de planchas metálicas en la base interna para evitar contaminar el producto resultante.

Se ingresó un total de 275 plantas en la primera incineración (500 °C), las cuales permanecieron en el interior de la cámara por el lapso de una hora, luego se procedió a la extracción del material, colocando el producto obtenido en bandejas metálicas para su correcta oxigenación y enfriamiento.

El procedimiento fue el mismo para las plantas de maíz a calcinarse dentro de los rangos de 600 °C., y 700 °C. Cabe recalcar que durante el proceso se procedió a agitar el material dentro del horno con la ayuda de una barra de acero carbonatado con el propósito de juntar y reacomodar los elementos expuestos a calcinación, obteniendo como resultado una ceniza mucho más homogénea y de mejor calidad (ver ilustración 3.8).



Ilustración 3.8: Obtención de la ceniza, muestra pre molienda

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

Al final, el peso de la ceniza obtenida fue registrado por prueba y temperatura de calcinación, generando un total de 40 Kg. aproximadamente de muestra utilizable, estableciendo que el peso total de la ceniza varía entre el 8 y 11 % del peso total de las plantas de maíz recolectadas para la incineración.

3.4 MOLIENDA DE LA CENIZA

Considerando la cantidad, la forma y la textura del material obtenido se procedió a someter el material a un proceso de molienda con el fin de homogenizar la muestra, para ello se utilizó el equipo de abrasión de los ángeles del laboratorio de suelos, hormigones y asfaltos de la Carrera de Ingeniería Civil de la UPSE.

El propósito no era ensayar el material como tal, sino lograr que la ceniza adquiriera un grado de finura mucho menor que la original, para esto se colocó el material dentro de un equipo de abrasión junto a 12 esferas metálicas de 46,8 mm de diámetro para después sellar la entrada de la maquina Posteriormente se gradúo el contador en 600 revoluciones y así obtener resultados similares a los esperados, según la experiencia y recomendaciones del laboratorista (ver ilustración 3.9).



Ilustración 3.9: Ceniza en el equipo de abrasión de los ángeles.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

Al finalizar la molienda se obtuvo una muestra visiblemente mucho más fina y homogénea que la obtenida después de la calcinación, el procedimiento se repitió para los tres tipos de muestra de acuerdo a las variables de temperatura antes mencionadas (500 °C., 600 °C., y 700 °C) (ver ilustración 3.10), obteniendo la ceniza, la cual tras su posterior molienda y cribado será utilizada para la sustitución parcial del cemento en el diseño de la mezcla.



Ilustración 3.10: Muestra de ceniza resultante del proceso de molienda.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala

3.5 CRIBADO DE LA CENIZA

Considerando que la ceniza de la planta de maíz es un sustituto parcial del cemento Premium tipo HE, en este estudio se procuró que el tamaño de las partículas de ambos componentes fuesen lo suficientemente similares o, que más del 60 % cumplan con esta propiedad, por lo tanto se procedió a tamizar la muestra con el fin de obtener una partícula con un diámetro menor a 75 micras, es decir, que resulte del pasante de la malla No. 200 con el fin de garantizar una óptima interacción de las partículas del cemento y las puzolanas.

El cribado de la ceniza de maíz se realizó en la maquina agitadora de tamices (ver ilustración 3.11) del laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena incluyendo poco a poco las muestras, para así obtener como resultado una muestra homogénea y volátil. Una vez obtenido el material puzolánico artificial se procederá a realizar ensayos que expongan las propiedades del mismo validando su posible uso como sustituto parcial del cemento portland en la mezcla.

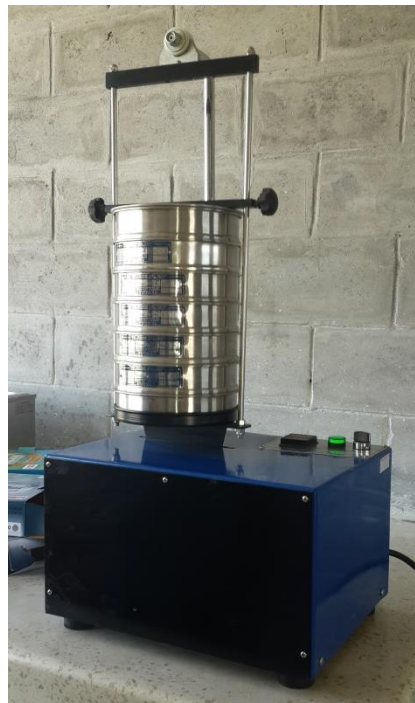


Ilustración 3.11: Agitadora de tamices utilizado para homogenizar la ceniza.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

3.6 DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI 211.1-1985

A continuación se describirá la práctica recomendada para seleccionar las porciones ideales del concreto normal según el procedimiento detallado por el Instituto Americano del Concreto (ACI), para obtener una mezcla homogénea de materiales inertes de diferentes tamaños utilizando el cemento portland como aglomerante y el agua como liante.

La mezcla detallada será de carácter plástico, con la trabajabilidad adecuada para ser ensayadas bajo la norma NTE INEN 1 576-11 para su posterior ensayo, con el fin de determinar las propiedades en concreto fresco como: Asentamiento, contenido de aire y temperatura.

Para iniciar el diseño de mezcla para concreto, es importante conocer 3 aspectos fundamentales:

- Resistencia a la compresión del Concreto a 28 días: $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
- Asentamiento: 7,5 – 10 cm acorde con elementos normales, y una trabajabilidad buena.
- Árido grueso: 19 mm (3/4") – piedra triturada

3.6.1 Materiales a utilizar en la mezcla de hormigon

- Cemento: Tipo Premium tipo HE (HOLCIM) - NTE INEN 2380
- Áridos:
 - Árido grueso: Triturada 3/4" - San Vicente, Las Balsas.
 - Árido fino: Arena de rio - El Triunfo.

Todos los materiales fueron ensayados en el laboratorio de suelos, hormigones y asfaltos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en el 1 Km de la vía La Libertad – Santa Elena, bajo la supervisión del laboratorista Rojer Magallanes Tómalá y la dirección de la Ing. Lucrecia Moreno Alcívar; siguiendo la normativa NTE INEN 872-2011 para determinar las propiedades y calidad de los agregados a ser utilizados en el hormigón. (Ver anexos: 1-8, 21)

3.6.2 Propiedades de los Áridos determinados en laboratorio.

Previo al diseño de la mezcla se procedió a ensayar los Áridos y obtener los valores de sus propiedades físicas y mecánicas necesarias para el diseño de la mezcla (Tabla 3.1):

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS								
AGREGADO GRUESO			AGREGADO FINO			DENSIDADES		
D.S.S.S.	2551	Kg/m ³	D.S.S.S.	2632	Kg/m ³	δ CEMENTO	2900	Kg/m ³
P.V.S.	1247	Kg/m ³	P.V.S.	1580	Kg/m ³	δ AGUA	1000	Kg/m ³
P.V.V.	1423	Kg/m ³	M.F.		2.54	δ ARENA	2632	Kg/m ³
ABSORCIÓN		0.94	ABSORCIÓN		1.97	δ PIEDRA	2551	Kg/m ³

Tabla 3.1: Propiedades de los agregados en el hormigón.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

3.6.3 Calculo de la cantidad de agua.

Conociendo el asentamiento y el tamaño Máximo Nominal del agregado grueso podemos determinar la cantidad de agua necesaria para obtener la resistencia deseada. (Tabla 3.2.):

AGUA DE MEZCLADO PARA DISTINTOS REVENIMIENTO vs TAMAÑOS DE AGREGADOS								
TAMAÑO DEL AGREGADO								
REVENIMIENTO EN CM	9,5 mm	13 mm	19 mm	25 mm	38 mm	51 mm	76 mm	152 mm
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO								
2,5 A 5	207.5	197.6	182.8	177.8	163.0	153.1	143.3	123.5
5 A 10	227.2	217.3	202.5	192.6	177.8	168.0	158.0	138.3
15 A 20	242.0	227.2	212.4	202.5	187.7	177.8	168.0	148.2
AIRE ENTRAMPADO	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Tabla 3.2: Agua de mezclado para distintos tipos de asentamientos vs. TMN.

Fuente: American Concrete Institute I.

Cantidad de agua leída: 202.5 litros

3.6.4 Corrección del agua de Mezcla

Los áridos utilizados en el siguiente diseño, al ser componentes pétreos de origen natural poseen un determinado porcentaje de absorción en relación a su peso nominal, por lo que es necesario llevar a cabo una corrección del agua de mezclado total.

Cantidad de agua corregida: $202.5 * ((Ab.P + Ab. A) / (100+1)) = 208.4$ Lts.

3.6.5 Determinación del volumen de cemento:

De la tabla No. 3.3 se obtiene la relación agua/cemento por medio de la resistencia nominal especificada.

RELACIÓN AGUA-CEMENTO vs RESISTENCIA Kg / cm ²	
A / C	Kg / cm ²
0.7	140
0.65	190
0.6	210
0.55	250
0.52	280
0.5	290
0.45	310
0.4	350
0.35	390

Tabla 3.3: Relación a/c vs resistencia a la compresión.

Fuente: American Concrete Institute I.

Cantidad de cemento: $\text{agua}/(a/c) = 208.4/0.52 = 401$ kg/m³

Volumen del cemento por m³: cantidad de cemento / densidad del cemento:
 $401/2900 = 0.138$ m³.

3.6.6 Volumen del Árido grueso:

Conociendo el módulo de finura del Árido fino, así como el TMN del árido grueso, se establece por medio de la tabla 3.4 el volumen del árido grueso en la mezcla de hormigón. De no existir el valor requerido se debe interpolar con los valores aproximados.

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE CONCRETO					
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO		MODULO DE FINURAS			
pulg	mm	2.48	2.6	2.8	3
3/8 "	9.8	0.44	0.44	0.42	0.4
1/2 "	12.7	0.55	0.53	0.51	0.49
3/4 "	19	0.65	0.63	0.61	0.59
1 "	25.4	0.7	0.68	0.66	0.64
1 1/2 "	38.1	0.76	0.74	0.72	0.78
2 "	58.8	0.79	0.77	0.75	0.73
3 "	76.2	0.84	0.82	0.8	0.78
6 "	152.4	0.9	0.88	0.88	0.84

Tabla 3.4: Volumen de agregado grueso por unidad de concreto.

Fuente: American Concrete Institute I.

Volumen del AG: $(P.V.V.*V.A.G.)/D.S.S.S: (1423*0.64)/2551 = 0.357 \text{ m}^3$.

3.6.7 Calculo del volumen del árido fino.

Teniendo cada uno de los valores adicionales, como el volumen del cemento, árido grueso, agua y aire se procede a realizar una diferencia de volumen para establecer el volumen parcial del árido fino.

Volumen del Árido fino = $1 - V_{\text{cemento}} - V_{\text{piedra}} - V_{\text{agua}} - V_{\text{aire}} = 1 - 0.318 - 0.357 - 0.208 - 0.02 = 0.276 \text{ m}^3$.

3.6.8 Cantidad de Materiales por M³.

Como se puede apreciar en la tabla 3.5 se han obtenido los valores parciales de cada uno de los materiales en la mezcla de hormigón.

CALCULO DE AGREGADOS POR M ³ DE HORMIGÓN (V= P/δ)				
CEMENTO	401	Kg	0.138	m ³
	<hr/>			
	2900	Kg/m ³		
PIEDRA	P.V.V* V.A.G		0.357	m ³
	<hr/>			
	D.S.S.S.			
ARENA	1 - Vcemento - Vpiedra - Vagua - Vaire		0.276	m ³
AGUA	208	lts	0.208	m ³
	<hr/>			
	1000	Kg/m ³		
AIRE	0.02	%	0.02	m ³
				20 dm ³

Tabla 3.5: Volumen parcial de los materiales en el hormigón por metro cubico.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

3.6.9 Comprobación de los porcentajes del Árido grueso y fino

El ACI estipula que el volumen de arena no debe exceder el 40% del volumen total de los áridos para garantizar una correcta relación de los áridos en la mezcla de hormigón. Siendo este un parámetro para establecer el volumen real de los materiales por metro cubico de hormigón el cual se podrá establecer en la tabla 3.6.

CORRECCIÓN ACI PARA RELACIÓN DE VOLUMEN EN MEZCLAS DE HORMIGÓN						
	TOTAL		PIEDRA		ARENA	
VOLUMEN CALCULADO	0.633	m ³	0.357	m ³	0.276	m ³
VOLUMEN CORREGIDO	0.633	m ³	0.380	m ³	0.253	m ³

Tabla 3.6: Corrección del ACI para volumen de agregados pétreos en el hormigón.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

3.6.10 Cantidad de Materiales por M³ (Corrección del ACI).

Como se puede apreciar en la tabla 3.7 se han obtenido los valores corregidos parciales de cada uno de los materiales en la mezcla.

CALCULO DE AGREGADOS POR M ³ DE HORMIGÓN (V= P/δ) (CORREGIDO)			
CEMENTO	$\frac{401 \text{ Kg}}{2900 \text{ Kg/m}^3}$	0.138 m ³	138 dm ³
PIEDRA	$\frac{P.V.V*V.A.G}{D.S.S.S.}$	0.357 m ³	380 dm ³
ARENA	$1 - V_{\text{cimento}} - V_{\text{piedra}} - V_{\text{agua}} - V_{\text{aire}}$	0.276 m ³	253 dm ³
AGUA	$\frac{208 \text{ lts}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$	0.208 m ³	208 dm ³
AIRE	0.02 %	0.02 m ³	20 dm ³

Tabla 3.7: Volumen real de los materiales en el hormigón por metro cubico

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

3.6.11 Peso en Kg por volumen de mezcla.

Teniendo los valores de la tabla 3.7, se procede calcular los valores necesarios en peso para obtener un metro cubico de mezcla (Tabla 3.8.).

PESO EN Kg POR M ³ DE HORMIGÓN					
CEMENTO	2900 Kg/m ³	*	0.138 m ³		401 Kg
PIEDRA	2551 Kg/m ³	*	0.380 m ³		970 Kg
ARENA	2632 Kg/m ³	*	0.253 m ³		667 Kg
AGUA	1000 Kg/m ³	*	0.208 Lts		208 Lts
PESO POR M³ DE HORMIGÓN					2245 Kg

Tabla 3.8: Peso nominal en Kg. para obtener un metro cubico de mezcla

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

3.7 ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO SEGÚN LA NORMA ECUATORIANA NTE INEN 1576 -2011.

3.7.1 Equipos

3.7.1.1 Moldes, bisagras y seguros.

Los moldes para elaborar especímenes, así como las bisagras y seguros que estén en contacto con el hormigón, deben ser de: acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el hormigón de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico. Los moldes deben mantener sus dimensiones y forma, bajo cualquier condición de uso; deben ser impermeables durante su uso, comprobándose por su capacidad para mantener el agua vertida en su interior. Se puede utilizar un sellante adecuado como grasa pesada, arcilla moldeable o cera micro cristalina, cuando sea necesario prevenir la fuga de agua a través de las juntas. Se deben proveer los seguros necesarios para sujetar firmemente las bases a los moldes. Los moldes reutilizables deben ser cubiertos ligeramente en su interior, con aceite mineral o con un material desmoldante no reactivo, antes de su uso.

3.7.1.2 Los moldes.

Para la elaboración de especímenes para ensayo de hormigón deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 470.

3.7.1.3 Varilla de compactación.

Varilla de acero, recta, lisa y de sección circular, con un diámetro que cumpla los requisitos de la tabla 3.1. Su longitud debe ser de por lo menos 100 mm mayor que la profundidad del molde en el cual se está realizando la compactación, pero no mayor de 600 mm de longitud total.

La tolerancia en la longitud de la varilla de compactación es de 4 mm. La varilla debe tener el borde de compactación o ambos extremos redondeados, con una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

Diámetro del cilindro o ancho de la viga (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10 ± 2
≥ 150	16 ± 2

Tabla 3.9: Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación.

Fuente: NTE INEN 1576-11.

3.7.1.4 Mazo.

Se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero no tratado, con una masa de 0,6 kg ± 0,2 kg.

3.7.1.5 Herramientas de colocación.

Deben ser de un tamaño suficientemente grande, para que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente en el que se tomó la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para que el hormigón no se derrame durante la colocación en el molde. Para la colocación del hormigón en el molde para cilindros, la herramienta aceptable es un cucharón. Para la colocación del hormigón en el molde para vigas, se permite el uso de una pala o de un cucharón.

3.7.1.6 Herramientas para el terminado.

Deben ser una llana o una paleta.

3.7.1.7 Equipo para medir asentamiento.

Debe ser un molde cónico, varilla y cinta de medición, de acuerdo a los requisitos de la NTE INEN 1.578.

3.7.1.8 Recipiente para toma de muestras.

El recipiente debe ser una bandeja de metal de lámina gruesa, una carretilla o un tablero plano, limpio y no absorbente, de capacidad suficiente para permitir una fácil remezcla de toda la muestra con una pala o una paleta.

3.7.1.9 Equipo para medir el contenido de aire.

Debe ser una olla de presión tipo Washington de acuerdo a los requisitos de las normas ASTM C 173 o ASTM C 231.

3.7.1.10 Equipo para la medición de la temperatura.

Termómetro digital o analógico de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C 1.064.

3.7.2 Requisitos para el ensayo

3.7.2.1 Cilindros.

Los especímenes para resistencia a compresión deben ser cilindros y fraguar en posición vertical. El número y tamaño de los cilindros moldeados deben ser los indicados en las especificaciones de la obra o en la norma NTE INEN 1855-1 o NTE INEN 1855-2. Adicionalmente, la longitud debe ser el doble del diámetro, y el diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Ensayos de aceptación de la resistencia a compresión especificada, los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm o de 100 mm x 200 mm.

3.7.2.2 Técnicos de campo.

Los ensayos de hormigón requeridos para determinar el cumplimiento de esta norma deben ser realizados por un Técnico en Ensayos de Campo del Hormigón, ACI - Grado I o con título certificado por una institución superior o equivalente.

3.7.3 Muestreo del hormigón

- Las muestras utilizadas para elaborar especímenes de ensayo bajo esta norma, deben ser obtenidas de acuerdo con la norma NTE INEN 1.763, a menos que haya sido aprobado o especificado un procedimiento alternativo.
- Registrar la identificación de la muestra con respecto a la ubicación en la que se coloca el hormigón que representa, la fecha y hora de moldeo.

3.7.4 Asentamiento, contenido de aire y temperatura

3.7.4.1 Asentamiento.

Este ensayo se utiliza para evaluar las propiedades de trabajabilidad del concreto fresco tomando la depresión de la mezcla y relacionarla con el grado de compacidad de esta. En términos generales se puede decir que cuando menor sea el valor del asentamiento medido, mayor será el esfuerzo necesario para compactar el hormigón en obra.

Para efectuar el ensayo de Asentamiento debemos colocar un molde cónico de chapa (de 30 cm de altura y 20 cm de diámetro de base inferior y 10 cm de diámetro de base superior) sobre una superficie lisa, plana y no absorbente; se lo mantiene afirmado contra el piso, apoyando los pies sobre las orejas inferiores del dispositivo.

El molde cónico se llena con la mezcla en tres capas iguales, compactadas con la varilla mediante 25 golpes enérgicos por capa, que atraviesan la capa a compactar. Cuando se llega a la base superior se enrasa con cuchara dejando la superficie de hormigón lisa. Se levanta el molde tomándolo por las manijas superiores hasta dejar libre totalmente la mezcla en estudio para establecer la depresión resultante.

Medir y registrar el asentamiento de cada amasada de hormigón, del cual se elaboran los especímenes, inmediatamente después de remezclar en el recipiente de muestreo, de acuerdo con la norma NTE INEN 1.578.

3.7.4.2 Contenido de aire.

En esta prueba se determina la cantidad de aire que puede contener el hormigón recién mezclado excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados. Por esta razón este ensayo es aplicable para concretos con agregados relativamente densos y que requieran la determinación del factor de corrección del agregado.

La inclusión de aire es necesaria en el concreto que estará expuesto a ciclos de congelación y deshielo, químicos descongelantes y ambientes marinos o expuestos a sulfatos. Los vacíos microscópicos de aire incluido aportan una fuente de alivio a la presión interna dentro del concreto para acomodar las presiones desarrolladas cuando se forman los cristales de hielo en los poros y capilares del concreto.

Para realizar el ensayo se llena el recipiente en capas con el concreto fresco, varillando según se especifica, se enrasa el recipiente y se tapa, a continuación se llena con agua el volumen de la tapa hasta purgar el líquido al través de unas válvulas, posteriormente se cierran las válvulas y se bombea aire, la presión que se levanta mueve la aguja de un indicador en la tapa del recipiente, después se libera la presión y se lee el contenido de aire directamente en el indicador.

Determinar y registrar el contenido de aire de acuerdo con la norma ASTM C173 o la norma ASTM C 231.

El hormigón utilizado para determinar el contenido de aire no debe ser empleado para elaborar los especímenes de ensayo a la compresión del hormigón por lo que sus propiedades han sido modificadas.

3.7.4.3 Temperatura.

Las altas temperaturas durante los procesos de colocación y fraguado del concreto incrementan la resistencia a muy temprana edad pero afectan negativamente la resistencia a edades posteriores, especialmente después de los 7 días, debido a que

se da una hidratación superficial de los granos de cemento que producen una estructura físicamente más pobre y porosa. Determinar y registrar la temperatura del concreto en estado fresco de acuerdo a la norma ASTM C 1.064. Esta variable debe ser tomada con un margen de error de ± 0.1 °C.

3.7.5 Procedimiento para el moldeo de especímenes

3.7.5.1 Lugar para el muestreo.

Moldear los especímenes lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar tan cercano como sea posible al lugar donde van a ser almacenados.

3.7.5.2 Moldeo de cilindros.

Seleccionar la varilla de compactación adecuada según el numeral de la tabla 3.10. Determinar el método de compactación, salvo que otro método esté especificado para el diseño de hormigón.

Si el método de compactación es por varillado, de la tabla 3.11, determinar los requisitos para el moldeo. Si es por vibración, de la tabla 3.12, determinar los requisitos para el moldeo.

Asentamiento (mm)	Método de compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

Tabla 3.10: Requisitos para determinar el método de compactación.

Fuente: NTE INEN 1576-11.

Mientras se coloca el hormigón en el molde, mover el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución del hormigón con la mínima segregación.

Cada capa de hormigón debe ser compactada según se requiera en las tablas siguientes. Al colocar la última capa de concreto, adicionar una cantidad extra de hormigón para asegurar que, después de la compactación, el molde quede lleno y se proceda a realizar el acabo final.

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas de aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
Cilindros: Diámetro (mm) 100 150 225	2 3 4	25 25 50
Vigas: Ancho (mm) De 150 a 200 > 200	2 3 o más capas de igual altura, cada una no debe exceder de 150 mm	Ver numeral 5.6.3 Ver numeral 5.6.3

Tabla 3.11: Requisitos para el moldeo mediante varillado.

Fuente: NTE INEN 1576-11.

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas	Número de inserciones del vibrador por capa	Altura aproximada por capa (mm)
Cilindros: Diámetro (mm) 100 150 225	2 2 2	1 2 4	La mitad de la altura del espécimen
Vigas: Ancho (mm) De 150 a 200 > 200	1 2 o más	Ver numeral 5.6.4.2 Ver numeral 5.6.4.2	La altura del espécimen 200, lo más aproximado posible

Tabla 3.12: Requisitos para el moldeo mediante vibración.

Fuente: NTE INEN 1576-11.

3.7.5.3 Compactación por varillado.

Para cada capa superior, permitir que la varilla penetre toda la capa que está siendo compactada e ingrese a la capa inferior aproximadamente 25 mm. Luego de compactada, golpear en el exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo.

Estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada.

3.7.5.4 Terminado.

Todo el terminado será realizado con la mínima manipulación, con el fin de producir una superficie plana, lisa, sin imperfecciones notables, que esté nivelada con el borde superior del molde y que no tenga depresiones o proyecciones mayores de 3,3 mm. Se recomienda el uso de llanas de empaste para la obtención de un mejor terminado.

3.7.5.5 Cilindros.

Luego de la compactación, igualar y terminar la superficie superior con la varilla compactadora cuando la consistencia del hormigón lo permita o con una llana o paleta. Si se desea, colocar sobre la superficie del hormigón fresco una capa delgada de una pasta rígida de cemento hidráulico, permitiéndole que fragüe y cure con el espécimen, ver la sección de materiales para refrentado de la norma ASTM C 617.

3.7.5.6 Identificación.

Marcar los especímenes para su identificación y del hormigón que representan. Utilizar un método que no altere la superficie del hormigón, no se debe marcar en los elementos removibles del molde. Luego de retirar el molde, marcar los especímenes de ensayo para mantener su identificación.

3.7.6 Curado

3.7.6.1 Almacenamiento.

Si los especímenes no pueden ser moldeados en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente luego del terminado, mover los especímenes al lugar del curado inicial para su almacenamiento. La superficie sobre la que se almacenarán los especímenes debe estar nivelada dentro de 20 mm por metro. Si se mueven los cilindros, elaborados en moldes de un solo uso, levantar y sostener los cilindros de la parte baja del molde con una paleta grande o un dispositivo similar. Si se daña la superficie durante el movimiento hacia el almacenamiento inicial, inmediatamente se debe dar un nuevo terminado.

3.7.6.2 Curado inicial.

Inmediatamente después del moldeo y terminado, el espécimen debe ser almacenado por un período de hasta 48 horas, a una temperatura entre 16 °C., y 27 °C., en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 40 MPa o mayor, la temperatura de curado inicial debe estar entre 20 °C., y 26 °C.

Se permite hacer uso de varios procedimientos capaces de mantener las condiciones de humedad y temperatura especificada durante el periodo de curado inicial; es recomendable utilizar un procedimiento apropiado o una combinación de procedimientos como por ejemplo proteger: todos los especímenes de los rayos directos del sol y de cualquier radiación calórica, si se utiliza.

La temperatura de almacenamiento debe ser controlada utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, según sea necesario. Registrar la temperatura utilizando un termómetro de máximas y mínimas. Si se utilizan moldes de cartón, proteger las superficies exteriores de los moldes de su contacto con paños húmedos o cualquier fuente de agua.

3.7.6.3 Curado final en Cilindros.

Una vez concluido el curado inicial y dentro de 30 minutos después de remover los especímenes de los moldes, curarlos a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, manteniendo todo el tiempo sus superficies con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado, que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 2 528, excepto cuando se los refrenta con mortero de azufre inmediatamente antes del ensayo.

Cuando se refrenta con mortero de azufre, se deben secar las superficies superior e inferior del cilindro para prevenir la formación de paquetes de vapor o espuma mayores de 6 mm, debajo o dentro del refrentado, inmediatamente antes del ensayo, no se requieren temperaturas de curado normalizado, a condición de que se mantenga en los cilindros la humedad libre y la temperatura ambiente esté entre 20 °C

y 30 °C como se describe en la norma ASTM C 617. Para un periodo que no exceda las 3 horas.

3.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN NORMA ECUATORIANA NTE INEN 1 573:2010

3.8.1 Especímenes

Los especímenes no deben ser ensayados si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más del 2%.

Antes de ser ensayados, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes en más de 0,5° (aproximadamente equivalente 1 mm en 100 mm).

Los extremos de los especímenes para ensayo de compresión que no estén planos dentro de 0,050 mm deben ser cortados o limados para cumplir esta tolerancia o se deben refrentar con mortero de azufre de acuerdo con la norma ASTM C 617 o, cuando se permita, con la norma ASTM C 1.231.

El diámetro utilizado para calcular el área de la sección transversal del espécimen de ensayo debe determinarse con una aproximación de 0,25 mm promediando dos diámetros medidos alrededor de la altura media del espécimen y que formen ángulos rectos entre sí.

Se permite reducir el No. de cilindros individuales medidos para determinación del diámetro promedio, a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, el que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido fabricados de un solo lote de moldes reusables o para un solo uso, que siempre producen especímenes de diámetros promedio dentro de un rango de 0,5 mm.

Cuando los diámetros promedio no caen dentro del rango de 0,5 mm o cuando los cilindros no están fabricados de un solo lote de moldes, el diámetro de cada cilindro

ensayado debe ser medido y este valor utilizado en el cálculo de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen.

Si el usuario de los servicios de ensayo solicita la medición de la densidad de los especímenes de ensayo, se debe retirar cualquier humedad superficial mediante una toalla para luego determinar la masa de los especímenes antes del refrentado.

Determinar la masa del espécimen utilizando una balanza que tenga una precisión dentro del 0,3% de la masa que está siendo medida.

Medir la longitud del espécimen con una precisión de 1 mm en tres posiciones espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Calcular la longitud promedio y registrarla con una precisión de 1 mm.

Alternativamente, determinar la densidad del cilindro registrando la masa del cilindro en el aire y luego, sumergido en el agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y calcular el volumen de acuerdo al numeral 3.8.3.

Cuando no se requiere la determinación de la densidad y la relación de la longitud al diámetro es menor que 1,8 o mayor que 2,2, cuando sea necesario medir la longitud del espécimen con una aproximación de 0,05 D.

3.8.2 Procedimiento

Se deben realizar los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo, tan pronto como sea posible, luego de extraerlos del almacenamiento húmedo.

Los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda. Se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el período comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo de compresión.

Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada, deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, señaladas en la tabla 3.14:

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm 0,5$ h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Tabla 3.13: Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.

Fuente: NTE INEN 1576-11.

3.8.2.1 Colocación del espécimen.

Colocar el bloque de carga plano (inferior), con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo del bloque de carga esférico (superior).

Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico.

Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero. En los casos en que el indicador no está adecuadamente colocado en cero hay que ajustarlo, puesto que se lleva el bloque de carga esférico hasta apoyar sobre el espécimen, girar con la mano suavemente, su parte móvil de tal modo de obtener un asentamiento uniforme.

3.8.2.2 Velocidad de carga.

Aplicar la carga continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. Se debe mantener la velocidad de movimiento señalada al menos durante la última mitad de la fase de la carga esperada.

Se permite una velocidad de carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga esperada, la misma que debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto.

Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y el espécimen demuestre un patrón de fractura bien definido. Para una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura de espécimen, no se permite el apagado automático de la máquina de ensayo hasta que la carga haya decrecido hasta un valor menor al 95% de la carga máxima.

Cuando se ensaya con cabezales que tienen almohadillas no adherentes (neoprenos), puede ocurrir una fractura en la esquina, similar a los modelos tipo 5 o 6, antes que se haya alcanzado la capacidad última del espécimen; en estos casos se debe continuar comprimiendo el espécimen hasta que el laboratorista esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última.

Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y anotar el tipo de modelo de fractura. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos, dibujar y describir brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia obtenida es menor de lo esperado, examinar el hormigón fracturado y anotar la presencia de grandes cavidades de aire, evidencia de segregación, comprobar si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de árido grueso y verificar si la preparación de los extremos del cilindro fue realizada de acuerdo con las normas ASTM C 617 o ASTM C 1.231.

3.8.3 Cálculos

Calcular la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal, determinada como se describe en el numeral 4.4 y expresar el resultado con una aproximación a 0,1 MPa.

Si la relación de la longitud al diámetro del espécimen es de 1,75 o menos, corregir el resultado obtenido en el numeral 3.8.1 multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la tabla 3.14.

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

Tabla 3.14: Factor de corrección según la relación de longitud al diámetro del espécimen.

Fuente: NTE INEN 1575-11.

Para determinar los factores de corrección para los valores L/D intermedios entre los valores dados en la tabla 3.14, se debe interpolar. Cuando se ha solicitado en el informe de resultados, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³ se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V}$$

Donde:

W = Masa del espécimen en kg; y,

V = Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio, o determinado mediante la obtención de su masa al aire y sumergido, en m³.

Cuando el volumen sea determinado mediante la obtención de su masa sumergida, calcular el volumen de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w}$$

Donde:

W_s = Masa aparente del espécimen sumergido, en kg, y

γ_w = Densidad del agua a 23 °C = 997,5 kg/m³.

3.8.4 Informe de resultados

Se debe elaborar un informe que contenga como mínimo lo siguiente:

- a) Laboratorio y fecha de ensayo
- b) Número de identificación
- c) Diámetro (longitud, si se está fuera del rango de 1,8 D a 2,2 D), en mm.
- d) Área de la sección transversal, en milímetros cuadrados
- e) Carga máxima, en kilonewtons
- f) Resistencia a la compresión calculada con una aproximación de 0,1 MPa
- g) Tipo de fractura, si es diferente que el cono habitual
- h) Defectos en cada espécimen o refrentado
- i) Edad del espécimen

3.8.5 Precisión y desviación

3.8.5.1 Precisión.

3.8.5.1.1 Precisión dentro del ensayo.

La tabla proporciona la precisión dentro del ensayo en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y de 100 mm por 200 mm moldeados de una muestra de hormigón correctamente mezclada en condiciones de laboratorio y en condiciones de campo (ver el numeral 4.7.1.2 de la norma NTE INEN 1573).

	Coeficiente de variación.	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales.	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	2,9%	8,0%	9,5%
Cilindros de 100 por 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3,2%	9,0%	10,6%

Tabla 3.15: Precisión del ensayo de compresión del hormigón para corrección.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

El coeficiente de variación dentro del ensayo representa la variación esperada de la resistencia medida de los cilindros compañeros preparados con la misma muestra de hormigón y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para

el coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 150 mm por 300 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 15 MPa a 55 MPa y para los cilindros de 100 mm por 200 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 17 MPa a 32 MPa. El coeficiente de variación dentro del ensayo para cilindros de 150 mm por 300 mm se obtienen de los datos del Concrete Proficiency Sample Data (CCRL), para condiciones de laboratorio y una compilación de 1.265 informes de ensayos de 225 laboratorios de ensayos comerciales en 1978. De 100 mm por 200 mm se obtiene únicamente para condiciones de laboratorio.

3.8.5.2 Desviación

Dado que no hay un material de referencia aceptado, no se hace ninguna declaración de desviación para el presente trabajo de grado.

3.8.5.3 Observaciones:

Señalar responsabilidades sobre los procedimientos de muestreo, transporte y curado de especímenes, además de cualquier variación a los procedimientos señalados en ésta norma durante cada uno de los pasos del ensayo de compresión.



Ilustración 3.12: Ensayo de un cilindro en la máquina de compresión.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.



Ilustración 3.13: Probeta cilíndrica en la prensa hidraulica para ser ensayada.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.



Ilustración 3.14: Probeta cilíndrica ensayada a los 28 días de edad.

Fuente: Tomada por Fausto Gómez y Fabian Orrala.

4 PRESENTACIÓN DE RESULTADO

4.1 DISEÑO PATRÓN DE LA MEZCLA.

VOLUMEN / CILINDRO				1.57E-03	m ³	No. Cilindros	12
CEMENTO	401	Kg	*	0.019	m ³	7.554	Kg
PIEDRA	970	Kg	*	0.019	m ³	18.275	Kg
ARENA	667	Kg	*	0.019	m ³	12.568	Kg
AGUA	208	Kg	*	0.019	m ³	3.928	Lts
PESO POR KG POR n CILINDROS						42.325	Kg

Tabla 4.1: Diseño por amasada para la elaboración de probetas cilíndricas.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

La mezcla presentada fue calculada por amasada, la cual estuvo compuesta de 12 cilindros de 100 mm x 200 mm.

4.2 DOSIFICACIONES OPTIMIZADAS PARA REPLAZO PARCIAL.

4.2.1 Dosificación base para remplazo parcial en 5% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.

DISEÑO R1 (5% remplazo)	
CEMENTO	7.177 Kg
CENIZA (maíz)	0.378 Kg
PIEDRA	18.275 Kg
ARENA	12.568 Kg
AGUA	3.928 Lts
PESO TOTAL	42.325 Kg

Tabla 4.2: Diseño R1 (5% de remplazo)

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.2.2 Dosificación base para remplazo parcial en 10% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.

DISEÑO R2 (10% remplazo)		
CEMENTO	6.799	Kg
CENIZA (maíz)	0.755	Kg
PIEDRA	18.275	Kg
ARENA	12.568	Kg
AGUA	3.928	Lts
PESO TOTAL	42.325	Kg

Tabla 4.3: Diseño R2 (10% de remplazo)

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.2.3 Dosificación base para remplazo parcial en 15% de cemento portland por ceniza de los residuos del maíz.

DISEÑO R3 (15% remplazo)		
CEMENTO	6.421	Kg
CENIZA (maíz)	1.133	Kg
PIEDRA	18.275	Kg
ARENA	12.568	Kg
AGUA	3.928	Lts
PESO TOTAL	42.325	Kg

Tabla 4.4: Diseño R3 (15% de remplazo)

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.2.4 Porcentaje de aprovechamiento de la ceniza después de someter los residuos del maíz al proceso de calcinación controlada

Una vez concluido el proceso de calcinación de los residuos del cultivo de maíz se registró los pesos totales, obteniendo así las pérdidas para cada temperatura de calcinación.

TEMP. DE CALCINACIÓN	PLANTAS SECAS	PESO NOMINAL	PESO CENIZA	PORCENTAJE DE OBTENCIÓN
500 °C	550 Und.	192.50 Kg	21.18 Kg	11%
600 °C	550 Und.	192.50 Kg	17.33 Kg	9%
700 °C	550 Und.	192.50 Kg	15.40 Kg	8%

Tabla 4.5: Calculo de pérdidas por la calcinación de los residuos del cultivo de maíz.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.2.5 Propiedades del concreto fresco de la mezcla según el porcentaje de remplazo y la temperatura de calcinación de los residuos.

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO										
TEMP. DE CALCINACIÓN	PATRÓN	500 °C			600 °C			700 °C		
% DE REMPLAZO		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
ASENTAMIENTO (cm)	7.50	7.00	6.50	5.00	7.00	6.50	5.00	7.00	6.50	5.00
TEMPERATURA (°C)	30	30	28	27	29	29	27	29	27	27

Tabla 4.6: Propiedades del concreto fresco por medio de ensayos.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.3 DENSIDADES PROMEDIO DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS.

ETIQUETA DEL CILINDRO	PESO PROMEDIO	DIÁMETRO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN PROMEDIO	DENSIDAD
	Kg	mm	mm	cm ²	cm ³	Kg/m ³
PATRÓN	4.00	102.50	202.50	82.51	1670.74	2394.15
500-HE-05	3.94	102.5	202.5	82.51	1670.74	2358.24
500-HE-10	3.88	102.5	202.5	82.51	1670.74	2322.33
500-HE-15	3.84	102.5	202.5	82.51	1670.74	2298.39
600-HE-05	3.90	102.5	202.5	82.51	1670.74	2334.30
600-HE-10	3.86	102.5	202.5	82.51	1670.74	2310.36
600-HE-15	3.82	102.5	202.5	82.51	1670.74	2286.41
700-HE-05	3.88	102.5	202.5	82.51	1670.74	2322.33
700-HE-10	3.86	102.5	202.5	82.51	1670.74	2310.36
700-HE-15	3.82	102.5	202.5	82.51	1670.74	2286.41

Tabla 4.7: tabla de densidades promedio de probetas cilíndricas para ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4 CARTERA DE ROTURAS PROMEDIO. (Ver anexos: 9-18)

4.4.1 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla PATRÓN.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
PA-HE	3	3.98	102	202	139.2	174.2
PA-HE	3	3.98	102.5	202.5	143.4	
PA-HE	3	3.98	102.5	202.5	138.9	
PA-HE	7	3.98	102.5	202	195.1	247.2
PA-HE	7	3.98	102.5	202.5	203.1	
PA-HE	7	3.98	102.5	202.5	201.9	
PA-HE	14	3.98	102.5	202.5	232.6	289.4
PA-HE	14	3.98	102	202.5	234.2	
PA-HE	14	3.98	102.5	202.5	233.4	
PA-HE	28	3.98	102.5	202.5	252.5	312.1
PA-HE	28	3.98	102.5	202.5	254.3	
PA-HE	28	3.98	102.5	202	250.8	

Tabla 4.8: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.2 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 5% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
500-HE-05	3	3.94	102	202.5	167.2	212.4
500-HE-05	3	3.94	102	202.5	170.7	
500-HE-05	3	3.94	102	202	172.6	
500-HE-05	7	3.94	102	202.5	222	277.0
500-HE-05	7	3.94	102	202.5	223.2	
500-HE-05	7	3.94	102.5	202.5	222.7	
500-HE-05	14	3.94	102.5	202.5	244.6	304.7
500-HE-05	14	3.94	102.5	202.5	245.2	
500-HE-05	14	3.94	102.5	202.5	249.8	
500-HE-05	28	3.94	102	202.5	262.7	323.7
500-HE-05	28	3.94	102.5	202.5	262.4	
500-HE-05	28	3.94	102.5	202.5	258.1	

Tabla 4.9: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.3 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 10% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
500-HE-10	3	3.88	102.5	202.5	187.7	226.8
500-HE-10	3	3.88	102.5	202.5	178.2	
500-HE-10	3	3.88	102.5	202	184.5	
500-HE-10	7	3.88	102	202.5	238	297.4
500-HE-10	7	3.88	102.5	202.5	232.7	
500-HE-10	7	3.88	102.5	202.5	248.8	
500-HE-10	14	3.88	102.5	202.5	264.2	332.7
500-HE-10	14	3.88	102.5	202.5	272.5	
500-HE-10	14	3.88	102.5	202.5	270.8	
500-HE-10	28	3.88	102	202.5	281.1	348.2
500-HE-10	28	3.88	102.5	202.5	280.5	
500-HE-10	28	3.88	102.5	202.5	280.9	

Tabla 4.10: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.4 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 500 °C – 15% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
500-HE-15	3	3.86	102.5	202	141	173.9
500-HE-15	3	3.86	102.5	202.5	138.4	
500-HE-15	3	3.86	102.5	202	142.7	
500-HE-15	7	3.86	102.5	202.5	183.5	233.9
500-HE-15	7	3.86	102.5	202.5	193	
500-HE-15	7	3.86	102	202.5	189.4	
500-HE-15	14	3.86	102	202.5	209.2	254.8
500-HE-15	14	3.86	102.5	202.5	207.4	
500-HE-15	14	3.86	102.5	202.5	199.7	
500-HE-15	28	3.86	102.5	202.5	212.6	266.1
500-HE-15	28	3.86	102.5	202.5	219.8	
500-HE-15	28	3.86	102.5	202.5	213.4	

Tabla 4.11: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.5 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 05% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
600-HE-05	3	3.90	102.5	202.5	168.3	211.0
600-HE-05	3	3.90	102	202.5	171.8	
600-HE-05	3	3.90	102	202.5	168.6	
600-HE-05	7	3.90	102.5	202.5	221.7	278.5
600-HE-05	7	3.90	102	202.5	221.4	
600-HE-05	7	3.90	102	202.5	228.4	
600-HE-05	14	3.90	102	202.5	251.6	312.9
600-HE-05	14	3.90	102	202.5	251.6	
600-HE-05	14	3.90	102.5	202.5	251.4	
600-HE-05	28	3.90	102.5	202.5	274.2	338.4
600-HE-05	28	3.90	102.5	202.5	272.4	
600-HE-05	28	3.90	102.5	202.5	274.7	

Tabla 4.12: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.6 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 10% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
600-HE-10	3	3.84	102.5	202	199.6	245.4
600-HE-10	3	3.84	102.5	202.5	195.8	
600-HE-10	3	3.84	102.5	202.5	200.3	
600-HE-10	7	3.84	102.5	202	272.8	332.2
600-HE-10	7	3.84	102.5	202.5	272.9	
600-HE-10	7	3.84	102.5	202.5	220.7	
600-HE-10	14	3.84	102.5	202.5	283.9	352.6
600-HE-10	14	3.84	102.5	202.5	283.3	
600-HE-10	14	3.84	102.5	202.5	288.7	
600-HE-10	28	3.84	102.5	202.5	305.2	378.5
600-HE-10	28	3.84	102.5	202.5	307.2	
600-HE-10	28	3.84	102.5	202.5	306.3	

Tabla 4.13: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.7 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 600 °C – 15% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
600-HE-15	3	3.82	102.5	202.5	143.3	179.3
600-HE-15	3	3.82	102.5	202	146.8	
600-HE-15	3	3.82	102	202.5	143.6	
600-HE-15	7	3.82	102.5	202.5	206.7	254.8
600-HE-15	7	3.82	102.5	202.5	206.4	
600-HE-15	7	3.82	102	202.5	203.4	
600-HE-15	14	3.82	102.5	202.5	238.6	295.0
600-HE-15	14	3.82	102	202.5	237.6	
600-HE-15	14	3.82	102.5	202.5	237.4	
600-HE-15	28	3.82	102.5	202.5	261.2	324.1
600-HE-15	28	3.82	102.5	202.5	263.2	
600-HE-15	28	3.82	102.5	202.5	262.4	

Tabla 4.14: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.8 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 5% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
700-HE-05	3	3.88	102	202.5	124.7	156.4
700-HE-05	3	3.88	102.5	202.5	128.1	
700-HE-05	3	3.88	102	202	124.5	
700-HE-05	7	3.88	102	202.5	179.7	229.0
700-HE-05	7	3.88	102	202.5	178.8	
700-HE-05	7	3.88	102.5	202.5	193.8	
700-HE-05	14	3.88	102.5	202.5	211.2	253.0
700-HE-05	14	3.88	102.5	202.5	200.2	
700-HE-05	14	3.88	102.5	202.5	202.8	
700-HE-05	28	3.88	102.5	202.5	228.7	279.4
700-HE-05	28	3.88	102	202.5	223.6	
700-HE-05	28	3.88	102	202.5	221.6	

Tabla 4.15: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.9 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 10% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
700-HE-10	3	3.86	102	202.5	145.7	179.9
700-HE-10	3	3.86	102.5	202.5	144.2	
700-HE-10	3	3.86	102.5	202.5	145.4	
700-HE-10	7	3.86	102.5	202	205.5	251.5
700-HE-10	7	3.86	102.5	202.5	203.1	
700-HE-10	7	3.86	102.5	202.5	201.9	
700-HE-10	14	3.86	102	202.5	235.7	294.1
700-HE-10	14	3.86	102	202.5	238.6	
700-HE-10	14	3.86	102.5	202.5	234.8	
700-HE-10	28	3.86	102	202	259.7	323.9
700-HE-10	28	3.86	102	202.5	263.7	
700-HE-10	28	3.86	102.5	202.5	257.6	

Tabla 4.16: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.4.10 Cartera de roturas promedio de probetas cilíndricas sometidas a ensayo de compresión simple en mezcla “T = 700 °C – 15% ceniza”.

ETIQUETA	EDAD	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
	DÍAS		DIÁMETRO	ALTURA		
700-HE-15	3	3.82	102	202.5	104.7	128.7
700-HE-15	3	3.82	102.5	202	103.1	
700-HE-15	3	3.82	102.5	202.5	103.5	
700-HE-15	7	3.82	102.5	202	164.7	200.8
700-HE-15	7	3.82	102.5	202.5	163.8	
700-HE-15	7	3.82	102.5	202.5	158.8	
700-HE-15	14	3.82	102	202.5	181.2	224.4
700-HE-15	14	3.82	102	202.5	180.2	
700-HE-15	14	3.82	102.5	202.5	179.8	
700-HE-15	28	3.82	102	202.5	200.7	247.1
700-HE-15	28	3.82	102	202.5	198.6	
700-HE-15	28	3.82	102.5	202.5	196.6	

Tabla 4.17: Tabla de resultados de resistencias promedio sometidas a ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.5 COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA SEGÚN LA TEMPERATURA DE CALCINACIÓN.

4.5.1 Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 500 °C”.

EIDADES	Resistencias a la compresión (T = 500 °C)			
	PATRÓN	R1 (5% ceniza)	R2 (10% ceniza)	R3 (15% ceniza)
3 d	174.2 Kg/cm ²	156.4 Kg/cm ²	179.9 Kg/cm ²	128.7 Kg/cm ²
7 d	247.2 Kg/cm ²	229.0 Kg/cm ²	251.5 Kg/cm ²	200.8 Kg/cm ²
14 d	289.4 Kg/cm ²	253.0 Kg/cm ²	294.1 Kg/cm ²	224.4 Kg/cm ²
28 d	312.1 Kg/cm ²	279.4 Kg/cm ²	323.9 Kg/cm ²	247.1 Kg/cm ²

Tabla 4.18: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN - T=500°C”.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

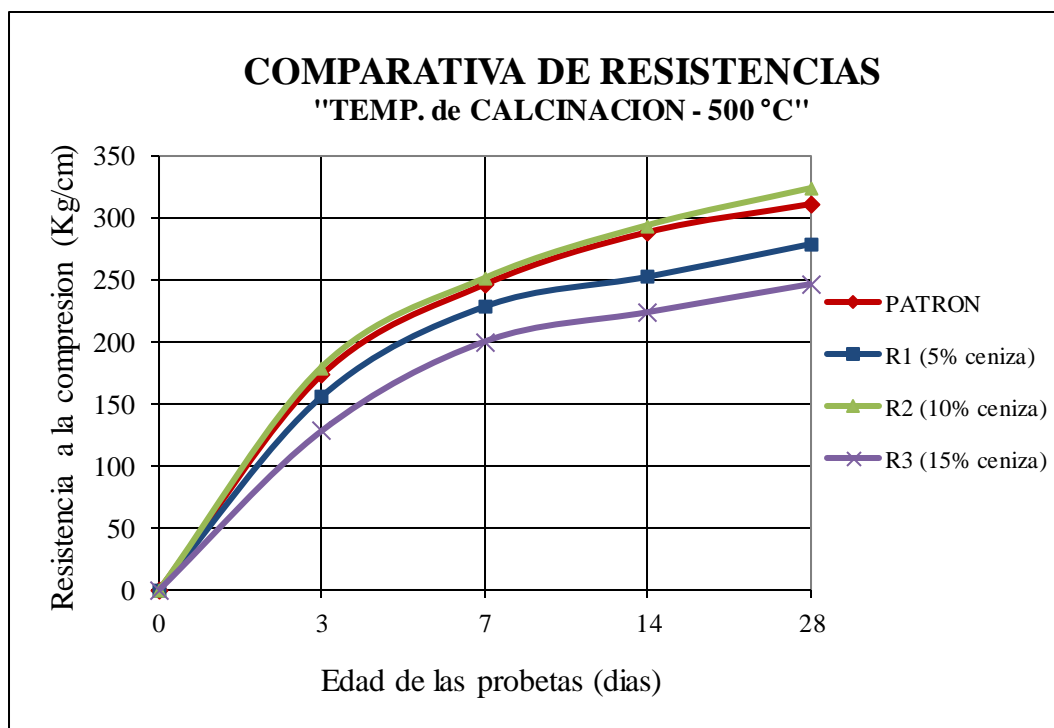


Ilustración 4.1: Comparativa de la resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra "PATRÓN vs. T = 500 °C".

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.5.2 Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 600 °C”.

EIDADES	Resistencias a la compresión (T = 600 °C)			
	PATRÓN	R1 (5% ceniza)	R2 (10% ceniza)	R3 (15% ceniza)
3 d	174.2 Kg/cm ²	211.0 Kg/cm ²	245.4 Kg/cm ²	179.3 Kg/cm ²
7 d	247.2 Kg/cm ²	278.5 Kg/cm ²	332.2 Kg/cm ²	254.8 Kg/cm ²
14 d	289.4 Kg/cm ²	312.9 Kg/cm ²	352.6 Kg/cm ²	295.0 Kg/cm ²
28 d	312.1 Kg/cm ²	338.4 Kg/cm ²	378.5 Kg/cm ²	324.1 Kg/cm ²

Tabla 4.19: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN – T600°C”.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

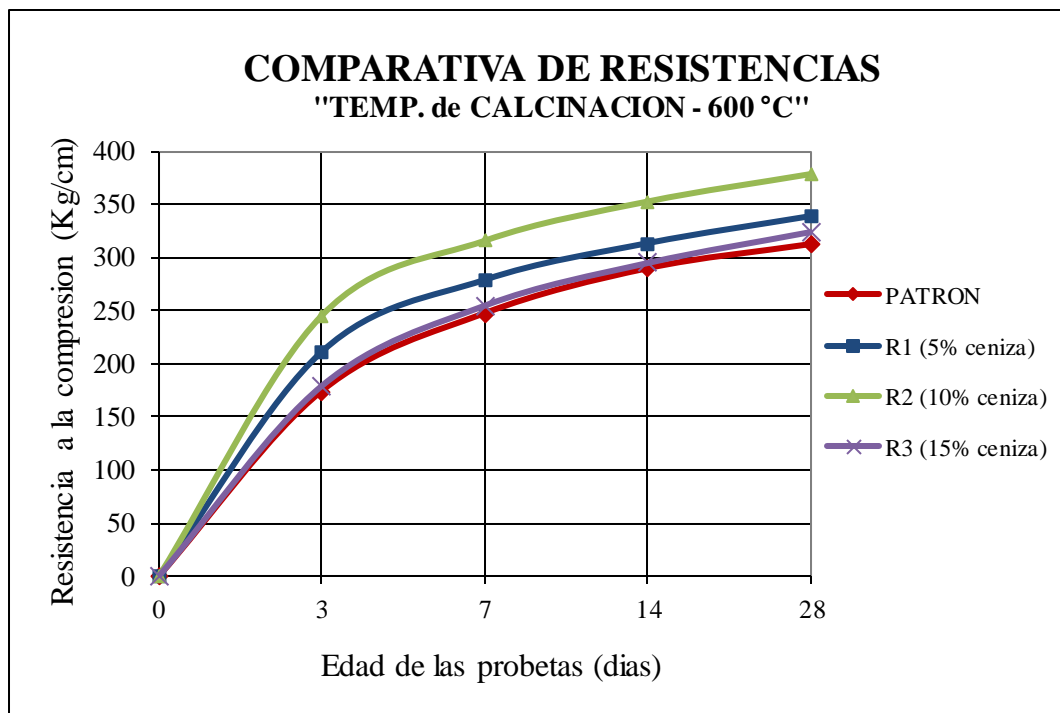


Ilustración 4.2: Comparativa de las resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra “PATRÓN vs. T = 600 °C”.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.5.3 Comparativa de la resistencia media a la compresión de la mezcla patrón vs. Mezcla “T = 700 °C”.

EIDADES	Resistencias a la compresión (T = 700 °C)			
	PATRÓN	R1 (5% ceniza)	R2 (10% ceniza)	R3 (15% ceniza)
3 d	174.2 Kg/cm ²	212.4 Kg/cm ²	226.8 Kg/cm ²	173.9 Kg/cm ²
7 d	247.2 Kg/cm ²	277.0 Kg/cm ²	297.4 Kg/cm ²	233.9 Kg/cm ²
14 d	289.4 Kg/cm ²	304.7 Kg/cm ²	332.7 Kg/cm ²	254.8 Kg/cm ²
28 d	312.1 Kg/cm ²	323.7 Kg/cm ²	348.2 Kg/cm ²	266.1 Kg/cm ²

Tabla 4.20: Comparativa de resistencias a la compresión “PATRÓN - T=500°C”.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

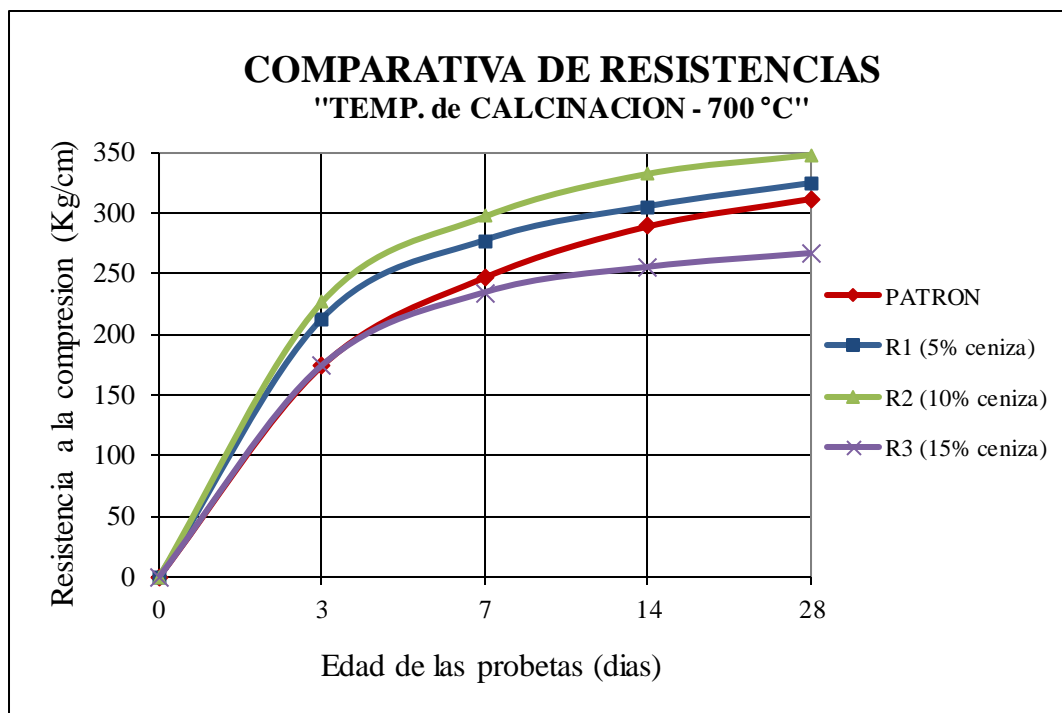


Ilustración 4.3: Comparativa de las resistencia media a la compresión en función de la edad de ensayo de la muestra “PATRÓN vs. T = 700 °C”.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.6 COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA PUZOLANA ARTIFICIAL

4.6.1 Costo por la obtención de los residuos del cultivo de maíz.

COSTO DE LOS RESIDUOS DEL MAIZ		
Cantidad necesaria para obtener un Kg.	Precio / Kg	Total
15	\$ 0,0042	\$ 0,063

Tabla 4.21: Cantidad de plantas necesarias para obtener un Kg de ceniza.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.6.2 Costo de la energía utilizada para obtener la ceniza.

CANTIDAD DE ENERGIA NECESARIA PARA PRODUCIR 1 KG DE CENIZA			
Descripción	Cant./hora	Precio/hora	Total
Horno de arcilla	0,00001	1000	0,0100
Quemador a gas/tanque de GLP	0,005	0,29	0,0015
Quemador a gas/inductor de aire	0,055	0,0176	0,0010
Molino de Bolas	0,007	0,73	0,0051
		TOTAL	0,0175

Tabla 4.22: Cantidad de energía necesaria para obtener un Kg de ceniza.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.6.3 Costo de la mano de obra utilizada para obtener la ceniza.

MANO DE OBRA NECESARIA PARA PRODUCIR 1 KG DE CENIZA			
Descripción	Cant./H	Precio/hora	Total
Operador quemador	0,055	2,7	0,1485
Operador molino de bolas	0,007	2,7	0,0189
		TOTAL	0,1674

Tabla 4.23: Mano de obra necesaria para obtener un Kg de ceniza.

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

4.6.4 Costo total de la Obtención de la ceniza.

COSTO TOTAL DE LA OBTENCION	
MATERIALES	0,063
EQUIPOS	0,018
MANO DE OBRA	0,167
TOTAL	0,248
INDIRECTOS (25%)	0,062
COSTO/1Kg	0,310
COSTO/50Kg	15,506

Tabla 4.24: Costo final de la obtención de la ceniza

Fuente: Elaborado por Fausto Gómez y Fabian Orrala

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CALCINACIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ

La implementación del quemador y el horno artesanal adquirieron un papel fundamental en el proceso de incineración de los residuos del cultivo de maíz, y en el alcance de los resultados esperados. Con este método por calcinación controlada se obtuvo una acertada aproximación a las condiciones que se requieren para convertir este residuo agrícola en una ceniza útil en la investigación.

En el resultado al finalizar el proceso de combustión se observó que las muestras de ceniza calcinadas para cada una de las temperaturas, adquirieron tonalidades diferentes, empezando por las de 500 °C con un aspecto gris oscuro, la de 600 °C de coloración gris claro y la de 700 °C que alcanzó a una tonalidad blanquecina.

El espécimen incinerado 500 °C muestra un estado medio de carbonatación, es decir con cantidades moderadas de inquemados, la de 600 °C presenta un mayor grado de sintetización, mientras que la de 700 °C revelaba una tonalidad blanquecina pudiendo indicar la cristalización parcial de la sílice en la ceniza, componente necesario en las puzolanas de origen vegetal la cual optimiza las propiedades del cemento dentro del hormigón. Habiendo finalizado este proceso, de manera general, se obtuvo un producto no uniforme, requiriendo de un cribado para conseguir la partícula requerida.

5.2 MOLIENDA Y CRIBADO DE LA CENIZA

El proceso de molienda y tamizado de la ceniza nos permitió obtener una partícula con un aspecto similar a la del cemento tipo HE. La molienda con esferas metálicas permitió obtener un material totalmente fino y homogenizado de tal manera que más del 80% de la muestra cribada original sea utilizable. En efecto, se obtuvo una ceniza visiblemente fina y volátil, que cumple con los lineamientos establecidos por la norma NTE INEN 490 2011, la cual establece que las puzolanas que vayan a ser

mezcladas con cemento deberán poseer su mismo grado de finura, siendo éste el material pasante del cribado por la malla No. 200 o 75 micras.

5.3 COSTO DE LA OBTENCIÓN DE LA PUZOLANA ARTIFICIAL.

Una vez obtenida la materia prima se establece los valores generados para la obtención de la puzolana artificial tomando en consideración una producción del cultivo mínima por Ha de 13333 plantas, las cuales generan un total de 9067 Kg/Ha de residuo útil a costo de 56 dólares. Con este valor se establece que el costo de los residuos del cultivo de maíz para obtener 1Kg de ceniza es de 0.063 dólares. (Ver tabla 4.1)

En la tabla 4.2 se describe el costo de los equipos utilizados en el proceso de incineración y molienda para la obtención de 1 Kg de ceniza descritos, así como la tabla 4.3 detalla el valor de la mano de obra empleada; estos valores representan un total de 0.194 dólares adicionales para producir 1 Kg de ceniza. Cabe recalcar que las cantidades expresadas se basan en el método actual de obtención de la ceniza, el cual reduciría su costo al industrializar este proceso.

Considerando el valor óptimo de pérdida en el proceso de calcinación de los residuos del cultivo de maíz (10%) se establece que del peso aproximado de la ceniza obtenida será de 1088 Kg/Ha, la cual puede ser utilizada como sustituto parcial del cemento portland en la mezcla a un costo de 0.25 dólares/Kg y un valor de 15.50 dólares por 50 Kg, (Ver anexo No. 19). Este Valor representa un aumento del 106% con respecto al precio del cemento portland con adiciones en el mercado actual (7,50 dólares/50 Kg) por lo que su uso no es económicamente factible.

5.4 REVENIMIENTO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN CON CEMENTO PUZOLÁNICO.

El asentamiento o revenimiento resultante de la mezclas de hormigón normal (patrón) con cemento tipo HE fue de 8 cm. puesto que se diseñó para un rango entre 5 a 10 cm. Esto nos indica que el resultado es una mezcla fluida y con buena

trabajabilidad, labor que facilitó una adecuada colocación en los cilindros de moldeo y una apropiada compactación.

La mezcla HE+10C donde se reemplazó el 10% del peso total del cemento por ceniza, obtuvo un asentamiento de 7,0 cm, esto quiere decir que hubo una leve disminución con relación a la mezcla patrón, factor que se atribuye a una ligera absorción de agua por parte de la ceniza incorporada. A pesar de esto, la mezcla resultante poseía una consistencia y trabajabilidad media.

La mezcla HE+5C donde se reemplazó el 5% del peso total del cemento por ceniza obtuvo un asentamiento de 7.5 cm, esto quiere decir que hubo una leve disminución con relación a la mezcla patrón.

La mezcla HE+15C en la cual se reemplazó el 15% del peso total del cemento por ceniza obtuvo un asentamiento de 5.5 cm, esto quiere decir que hubo una considerable disminución con relación a la mezcla patrón, factor que se atribuye a una mayor absorción de agua por parte de la ceniza, pero aun así la mezcla conservó una mediana consistencia y trabajabilidad.

En términos generales, el asentamiento no se vio afectado de acuerdo al diseño de mezcla establecido (asentamiento de 5-10 cm.), esto se debe al uso del cemento tipo HE. Este cemento posee un alto grado de plasticidad, por lo tanto, la absorción de agua por parte de la ceniza no afectó a la consistencia y trabajabilidad de la mezcla de hormigón.

5.5 DENSIDAD PROMEDIOS DE LAS MEZCLAS EN ESTADO ENDURECIDO.

Como se aprecia en la ilustración 5.1 (ver página siguiente), la densidad promedio patrón con respecto a las densidades promedio obtenidas en las adiciones del 5%, 10% y 15% con la temperatura de calcinación de 500 °C, presentaron una disminución evidente obteniendo valores de 1,49%, 2,99% y 3,99% respectivamente.

De la misma manera a una temperatura de 600 °C con las adiciones del 5%, 10% y 15%, presentaron una disminución de las densidades con respecto a la muestra patrón del 2,49%, 3,49% y 4,49% respectivamente.

Así mismo a una temperatura de 700 °C con las adiciones del 5%, 10% y 15%, presentaron una disminución de las densidades con respecto a la muestra patrón del 3,00%, 3,49% y 4,49% respectivamente. Esto demuestra que, mientras mayor sea el porcentaje de adición de la puzolana de ceniza de maíz en las mezclas de hormigón, menor será la densidad del mismo.

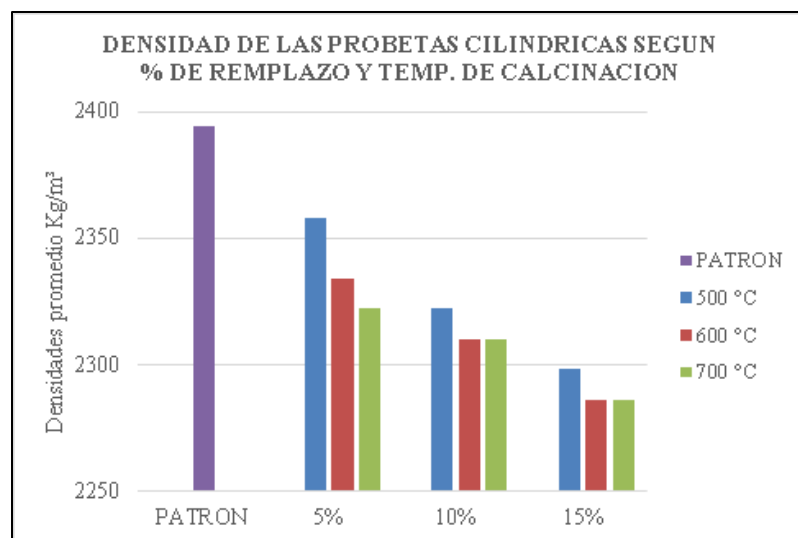


Ilustración 5.1: Densidad de las probetas cilíndricas según el porcentaje de Reemplazo y temp. de calcinación.

Fuente: Elaborado por Fabian Orrala y Fausto Gómez.

5.6 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Del análisis de los resultados de resistencia a la compresión f_c $280\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días, en probetas de hormigón y con adiciones puzolánicas del 5%, 10% y 15%, cada una de ellas incorporadas a tres tipos de temperaturas de calcinación diferentes, 500 °C, 600 °C y 700 °C se han logrado los resultados descritos a continuación.

La resistencia a la compresión promedio de la muestra patrón fue de $312,12\text{kg}/\text{cm}^2$. Las probetas ensayadas con mezclas de adiciones puzolánicas del 5%, 10% y 15% y con ceniza calcinada a 500 °C determinan resistencias a la compresión de

323,72kg/cm², 348,23kg/cm² y 266,06kg/cm² respectivamente, siendo su valor más alto la ensayada con el 10 % de adición, lo que representa un incremento con respecto a la resistencia a la compresión de la muestra patrón del 11,56%.

El mayor incremento de resistencia a la compresión que se obtuvo en toda la etapa experimental se dio en la que sería nuestra puzolana óptima, la calcinada a 600 °C, puesto que encontramos en las adiciones del 5, 10 y 15% resistencias a la compresión de 338,36kg/cm², 378,49kg/cm² y 324,15kg/cm² respectivamente, lo que representa el máximo incremento encontrado que es el 21,26 % con respecto a la resistencia promedio del patrón.

Los ensayos con adiciones del 5%,10% y 15% y con ceniza calcinada a 700 °C determinan resistencias a la compresión de 279,44kg/cm², 323,88kg/cm² y 247,12kg/cm² respectivamente, aquí volvemos a encontrar el pico más alto con el 10% de adición puzolanica, 3,76% es el porcentaje con el cual esta muestra supera la resistencia promedio del patrón.

Claramente podemos observar que de los resultados obtenidos con la adición de ceniza 600 °C es la que mejor resistencias presenta, inclusive en las adiciones del 5% y 15% de ceniza sobrepasa la resistencia promedio del patrón en un 8,4% y en 3,85% respectivamente.

Es satisfactorio observar de igual manera que agregando el 10% de ceniza de maíz a la mezcla de cualquiera de las tres variables de temperatura experimentada, el resultado es superior al comparar con el hormigón patrón.

La tendencia de la resistencia a la compresión de las mezclas y su evolución a los 3, 7 y 14 días se las puede apreciar en la Tabla 4.15, donde se destaca principalmente las altas resistencias alcanzadas durante los primeros 15 días debido al uso de cementos con altas resistencias tempranas (tipo HE).

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La tesis desarrollada pone en manifiesto el fundamento tanto teórico como práctico necesario para garantizar el uso de hormigón con adición de puzolana a base de ceniza producida por la calcinación del cultivo de maíz. Esta ceniza es un material válido en la sustitución parcial del cemento portland, respaldado por normas y ensayos que avalan la puzolana así obtenida.

El método de calcinación controlada escogido para realizar la combustión de los residuos del cultivo de maíz detallado en el Capítulo 3 es adecuado, ya que se obtuvo un material puzolánico artificial. Con este método se logró cumplir con los requerimientos de temperatura constante de 500 °C, 600 °C y 700 °C contemplado en el numeral 2.4.3.2.4 del capítulo 2 y pérdidas por exposición al fuego menor al 91% como se establece en la tabla 4.6.

Se determinó que la puzolana artificial obtenida a distintas temperaturas de calcinación (500 °C, 600 °C y 700 °C) no cumplen con las propiedades puzolánicas de la norma NTE INEN 494-81 como el índice de actividad puzolánica (IAP) >75% y pérdidas por calcinación (PC) < 10%. Sin embargo cabe recalcar que la ceniza producida a los 600 °C obtuvo parámetros cercanos a los contemplados en la norma, con un IAP de un 72% y una PC del 7%; valores notablemente mayores con respecto a las cenizas producidas en las temperaturas de 500 °C y 700 °C.

Se elaboró un hormigón de cemento portland con piedra triturada de TMN de 3/4" procedente de San Vicente – Comuna las Balsas, arena gruesa de río - El Triunfo, agua potable y sustitución de puzolana obtenida de la calcinación de los residuos del cultivo de maíz en proporciones de 5%, 10% y 15% con respecto al peso total del cemento; obteniendo resistencias a la compresión mayores a $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

El hormigón con sustitución puzolánica al 10 % fue comparado con la muestra patrón según lo especificado en el capítulo 3, logrando este un aumento en la

resistencia a la compresión de 21 % a los 28 días de curado. Además este hormigón es 3,3 % más ligero, basándonos en los resultados de la densidad promedio de las probetas en estado seco.

El costo de producción de la puzolana obtenida represento un aumento considerable comparándola con el precio del cemento portland dentro del mercado nacional (7.5 dólares) teniendo un valor de 15.50 dólares por 50 kg, es decir un 106% mayor, por lo que su uso como sustituto parcial del cemento en el hormigón no es económicamente factible.

La ceniza de los residuos del cultivo de maíz puede ser utilizada como sustituto parcial del cemento al mejorar las propiedades de resistencia a la compresión en el hormigón, sin modificar el proceso de obtención del mismo. De esta manera se genera un producto de posible comercio considerando que los residuos del cultivo de maíz son un producto renovable, a diferencia de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento portland.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir los parámetros establecidos en la normativa NTE INEN 494-81 la cual establece los requisitos tanto físicos como químicos de las puzolanas naturales y artificiales para determinar la calidad de la materia obtenida, aun teniendo en cuenta que esta norma se considera de carácter voluntario.

Para posteriores trabajos investigativos es aconsejable que el proceso de calcinación del cultivo de maíz se lleve a cabo en hornos industriales, con el fin de conseguir mejores resultados al disminuir el uso de equipos y mano de obra, factores que aumentarían la viabilidad de una producción de puzolanas artificiales propias de la provincia de Santa Elena capaces de competir a nivel nacional.

Para la elaboración de hormigones o morteros que requieran mayores propiedades de trabajabilidad, resistencia o utilización de cementos de uso común, es recomendable tomar en cuenta la absorción de agua de la ceniza para el diseño del hormigón, asegurando el resultado final de la mezcla.

Al evaluar los diferentes porcentajes de sustitución del cemento no se recomienda reemplazar menos del 5%, al no representar disminución económica válida y justificable. Tampoco se recomienda el reemplazo superior al 15% al repercutir de manera negativa en las propiedades de resistencia, afectando la calidad final del mismo.

Se recomienda experimentar con diferentes variedades del cultivo de maíz producidas en la provincia además del Agri 104 para de esta manera determinar los cultivos adecuados para producir materiales puzolánicos artificiales adecuados mediante un proceso de calcinación

Se recomienda realizar un cribado de la puzolana artificial por el tamiz No. 325 (45 micras) con el fin de mejorar la interacción de las partículas del cemento portland y las partículas de la puzolana artificial para evaluar su incidencia en cuanto a la resistencia a la compresión en edades avanzadas (90, 120 y 365 días).

Nuestra investigación invita a realizar nuevas investigaciones relacionadas con las puzolanas artificiales provenientes de la calcinación de residuos agrícolas, siendo la Provincia de Santa Elena una potencia agrícola en crecimiento. Procuramos el desarrollo de nuevos materiales alternativos de construcción que logren disminuir la huella de carbono existente en la fabricación del cemento, para que las futuras generaciones puedan agradecer a sus antecesores por haberles dejado un mundo mejor.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



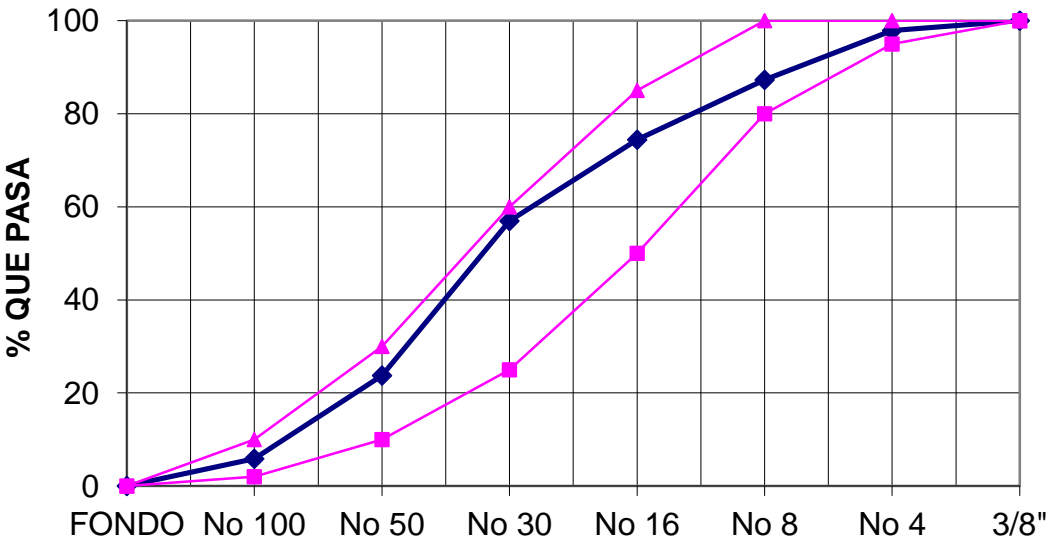
7.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cadena, J. D. (1991). Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/266/1/03%20AGP%2094%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- Chatterji, S. (2003). Dialnet. *Cemento Hormigon*, 16-23.
- EL Verdadero, E. (18 de 11 de 2012). *PP El verdadero*. Obtenido de PP El verdadero: <http://www.ppelverdadero.com.ec/pp-comerciante/item/e-l-pidaasse-beneficia-a-46-familias-de-zapotal.html>
- FERNÁNDEZ, S. (2009). *EVALUACIÓN DE CEMENTOS PUZOLÁNICOS ELABORADOS CON CONTENIDO CENIZA DE HOJA DE MAIZ PARA USO ESTRUCTURAL*. Recuperado el 28 de 10 de 2014
- FICEM, F. I. (Agosto de 2013). *FICEM*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de http://www.ficem.org/estadisticas/informe_estadistico_2013.pdf
- HOLCIM. (2010). Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- HOLCIM. (2014). Obtenido de http://construyeconconfianza.com/pdfs/holcim_cementos_normativas_2014.pdf
- HOLCIM. (2014). *Tipos de cemento y normativa*. Obtenido de http://construyeconconfianza.com/pdfs/holcim_cementos_normativas_2014.pdf
- INEC. (2011). Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.com/sistagroalim/pdf/Maiz.pdf>
- INECYC. (2009). *INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON-NOTAS TECNICAS*. Recuperado el 25 de 10 de 2014, de BREVE HISTORIA DE LOS AGLOMERANTES: <http://www.inecyc.org.ec/index.php/component/content/category/81-contenidos>
- INEN. (16 de 12 de 1980). *PUBLIC RESOURCES*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0491.1981.pdf>
- Mindiola, C. J. (2011). *Cemento portland puzolanico-influencia del tipo de cemento en la cantidad de agua de mezclado*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.



- Miranda, M. P. (2012). Obtenido de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/502_palma_misahel.pdf
- Montero, H. F. (2001). Obtencion de concreto de alta resistencia mediante adiccion en el diseño de un superplastificante y ceniza de cascarilla de arroz. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- NTE INEN 2380. (2011). *INEN*. Obtenido de INEN: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2380.2011.pdf>
- REVISTA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION. (DICIEMBRE de 2008). *REVISTA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION*. Recuperado el 4 de NOVIEMBRE de 2014, de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732008000300005>

8 ANEXOS.



ANEXO No. 1: Granulometria del arido fino

	<p>TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE</p>																																																																												
DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON (NTE INEN 696-10)																																																																													
Cantera	Cuenca "Rio Milagro"	Coordenadas:	-																																																																										
Ubicación	Canton El Triunfo - Prov. del Guayas		-																																																																										
Descripcion:	Color gris, medianamente graduada	Fecha de ensayo:	06/02/2015																																																																										
Tipo	Arena gruesa para hormigon																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMIZ</th> <th rowspan="2">W parcial por cribado</th> <th colspan="2">% RETENIDO</th> <th rowspan="2">% QUE PASA</th> <th rowspan="2">ESPECIFICACION A . S . T . M.</th> </tr> <tr> <th>pulg.</th> <th>mm</th> <th>parcial</th> <th>acumulado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.5</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>100.00</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>No 4</td> <td>4.75</td> <td>21.58</td> <td>2.16</td> <td>2.16</td> <td>97.84</td> <td>95 - 100</td> </tr> <tr> <td>No 8</td> <td>2.36</td> <td>105.4</td> <td>10.55</td> <td>12.71</td> <td>87.29</td> <td>80 - 100</td> </tr> <tr> <td>No 16</td> <td>1.18</td> <td>128.35</td> <td>12.85</td> <td>25.57</td> <td>74.43</td> <td>50 - 85</td> </tr> <tr> <td>No 30</td> <td>600μ</td> <td>174.3</td> <td>17.45</td> <td>43.02</td> <td>56.98</td> <td>25 - 60</td> </tr> <tr> <td>No 50</td> <td>300μ</td> <td>331.71</td> <td>33.21</td> <td>76.23</td> <td>23.77</td> <td>10 - 30.</td> </tr> <tr> <td>No 100</td> <td>150μ</td> <td>178.85</td> <td>17.91</td> <td>94.14</td> <td>5.86</td> <td>2 - 10.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">FONDO</td> <td>58.53</td> <td>5.86</td> <td>100</td> <td>0.00</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL</td> <td>998.72</td> <td>100.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TAMIZ		W parcial por cribado	% RETENIDO		% QUE PASA	ESPECIFICACION A . S . T . M.	pulg.	mm	parcial	acumulado	3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	No 4	4.75	21.58	2.16	2.16	97.84	95 - 100	No 8	2.36	105.4	10.55	12.71	87.29	80 - 100	No 16	1.18	128.35	12.85	25.57	74.43	50 - 85	No 30	600 μ	174.3	17.45	43.02	56.98	25 - 60	No 50	300 μ	331.71	33.21	76.23	23.77	10 - 30.	No 100	150 μ	178.85	17.91	94.14	5.86	2 - 10.	FONDO		58.53	5.86	100	0.00	0	TOTAL		998.72	100.00					
TAMIZ		W parcial por cribado	% RETENIDO		% QUE PASA	ESPECIFICACION A . S . T . M.																																																																							
pulg.	mm		parcial	acumulado																																																																									
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100																																																																							
No 4	4.75	21.58	2.16	2.16	97.84	95 - 100																																																																							
No 8	2.36	105.4	10.55	12.71	87.29	80 - 100																																																																							
No 16	1.18	128.35	12.85	25.57	74.43	50 - 85																																																																							
No 30	600 μ	174.3	17.45	43.02	56.98	25 - 60																																																																							
No 50	300 μ	331.71	33.21	76.23	23.77	10 - 30.																																																																							
No 100	150 μ	178.85	17.91	94.14	5.86	2 - 10.																																																																							
FONDO		58.53	5.86	100	0.00	0																																																																							
TOTAL		998.72	100.00																																																																										
Modulo de finura "Mf" :	2.54	requisitos para "Mf" en el hormigon 2,3 - 3,1 (fina-gruesa)																																																																											
Especificación:	Arena media																																																																												
<h3>GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO</h3> 																																																																													
Tesista:	Laboratorista:	Director de Laboratorio:																																																																											
FAOY - FGGS	Rojer Magallanes	Ing. Lucrecia Moreno																																																																											

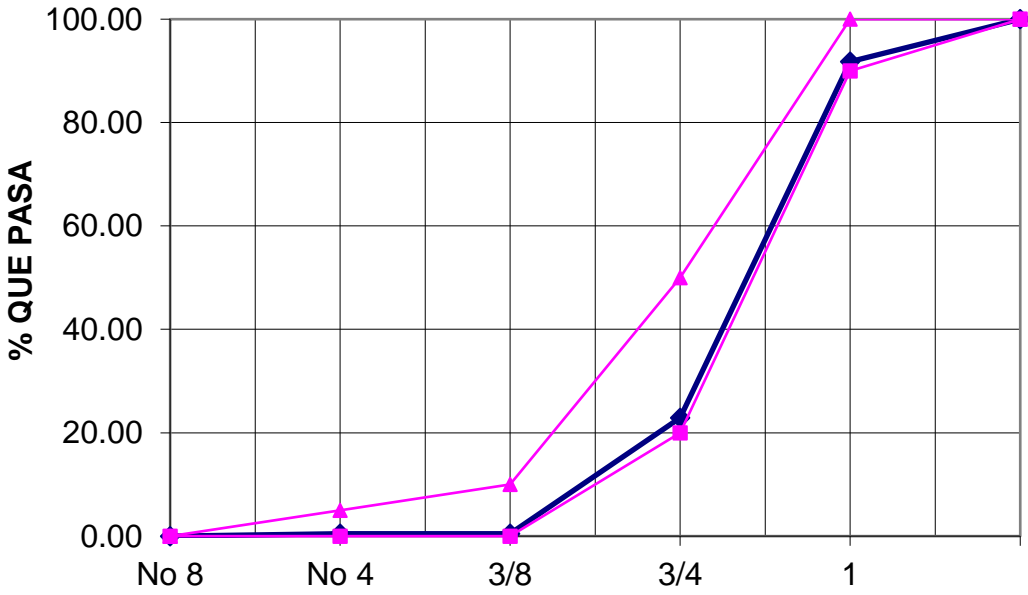
ANEXO No. 2: Propiedades físicas del arido fino

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE			
PROPIEDADES DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON AGREGADO FINO					
Cantera	Cuencas "Rio Milagro"			Coordenadas:	-
Ubicación	Canton El Triunfo - Prov. del Guayas				-
Descripción:	Color gris, medianamente graduada			Fecha de ensayo:	06/02/2015
Tipo	Arena gruesa para hormigon				
PROPIEDADES FISICAS DEL ARIDO FINO					
DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA SUELTA (NTE INEN 858-10)			DENSIDAD ESPECIFICA "D.S.S.S" (NTE INEN 857 - 10)		
VOLUMEN	0.00292	m ³	P.S.S.S.	500	gr
P.V.S+R	9.040	Kg	LECTURA INICIAL	200	gr
R	4.42	Kg	LECTURA FINAL	390	gr
PESO	4.62	Kg	W_{desalojado}(gr)	190	gr
P.V.S.	1580	Kg/m ³	V_{desalojado}(cm³)	190	cm ³
			^D.S.S.S.	2632	Kg/m ³
ABSORCION DEL ARIDO GRUESO (NTE INEN 857 - 10)					
PESO ARENA SATURADA		PESO ARENA SECA		% DE ABSORCION	
500	gr	490.34	gr	1.97	
SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS ARIDOS (NTE INEN 872 - 11)					
TERRONES DE ARCILLAS Y PARTICULAS DESMENUZABLES (NTE INEN 497-10)					
Fracciones de ensayo			Fraccion 3 (1,18mm - 4,75 mm)		
Masa minima de ensayo "A"			25 gr		
Masa lavada y tamizada "R"			24.8 gr		
Porcentaje de terrones de arcilla y p.d. "P"			0.80 %		
Porcentaje de terrones de arcilla y part. desmenuzables: $P = ((A - R)/A) * 100$					
MATERIAL MAS FINO QUE 75 µm (NTE INEN 498-10)					
Masa minima de ensayo "A"			300 gr		
Masa lavada y secada al horno "B"			280 gr		
Porcentaje de material fino < 75 micras "M"			6.67 %		
Porcentaje de material fino < 75 micras: $M = ((A - B)/A) * 100$					
PARTICULAS LIVIANAS "CARBON O LIGNITOS" (NTE INEN 499-11)					
Masa minima de ensayo "A"			300 gr		
Masa decantada, lavada y secada al horno "B"			0.05 gr		
Porcentaje de material fino < 75 micras "CL"			0.02 %		
Porcentaje de presencia de carbones y lignitos: $CL = (B/A) * 100$					
PART. EN SUSPENSION DESPUES DE 1H DE SEDIMENTACION (NTE INEN 864-83)					
Masa minima de ensayo "A"			500 gr		
Volumen final despues de una hora de sedimentación "B"			310 cc		
Volumen inicial despues de una hora de sedimentación "C"			290 cc		
Porcentajes de particulas lijeras < 1h de sedimentacion:			2.40 %		
% de part. en suspension despues de 1 h en sedimentacion:			$PS = ((B - C)*0.6/A) * 100$		
Tesista:	Laboratorista:		Director de Laboratorio:		
FAOY - FGGS	Tec. Rojer Magallanes		Ing. Lucrecia Moreno		

ANEXO No. 3: Granulometria del arido grueso

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE						
DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON (NTE INEN 696-10)								
Cantera	San Vicente - Comuna Las Balsas			Coordenadas:	N9777266			
Ubicación	Parroquia Colonche - Prov. de Sta. Elena				E551826			
Descripcion:	Color Amarillo			Fecha de ensayo:	06/02/2015			
Tipo	Piedra triturada	Tam. Max.: 19 mm						
TAMIZ		W PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M.			
pulg.	mm.				3/4"	1"	1 1/2"	2"
2 1/2	75	0	0.00	100				100
2	50	0	0.00	100.00			100	95 - 100
1 1/2	37.6	0	0.00	100.00		100	95 - 100	
1	25	56	1.12	98.88	100	95 - 100		35 - 70
3/4	19	354	7.08	91.80	90 - 100		35 - 70	
1/2	12.5	3505	70.10	21.70		25 - 60		10 - 30
3/8	9.5	1024.92	20.50	1.20	20 - 50		10 - 30	
No 4	4.75	36.23	0.72	0.48	0 - 10	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No 8	2.36	0	0.00	0.48	0 - 5	0 - 5		
FONDO		23.85	0.48	0.00				
TOTAL		5000	100.00					

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO



% QUE PASA



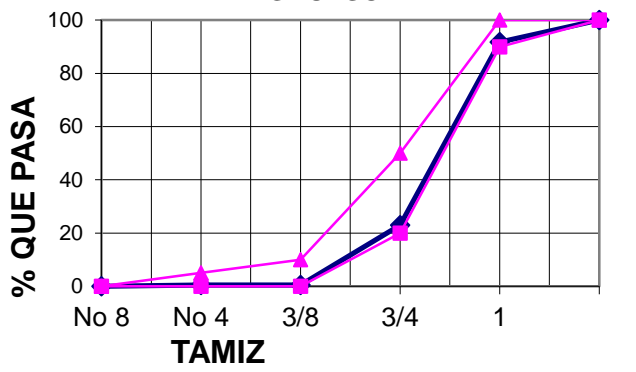
TAMIZ NORMADO (NTE INEN 154 - 87)

Tesista:	Laboratorista:	Director de Laboratorio:
FAOY - FGGS	Tec. Rojer Magallanes	Ing. Lucrecia Moreno



ANEXO No. 4: Propiedades físicas del arido grueso

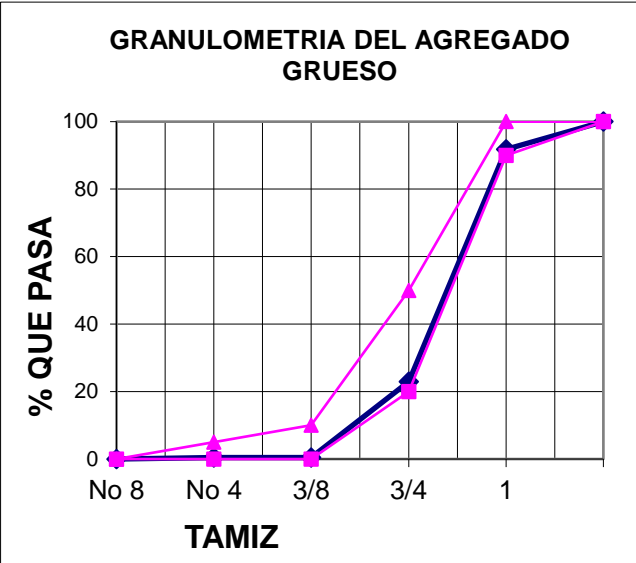
		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE			
PROPIEDADES DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON AGREGADO GRUESO					
Cantera	San Vicente - Comuna Las Balsas		Coordenadas:	N9777266	
Ubicación	Parroquia Colonche - Prov. de Sta. Elena			E551826	
Descripcion:	Color Amarillo		Fecha de ensayo:	06/02/2015	
Tipo	Piedra triturada	Tam. Max.: 19 mm			
PROPIEDADES FISICAS DEL ARIDO GRUESO					
DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA (NTE INEN 858-10)					
PESO VOLUMETRICO SUELTO			PESO VOLUMETRICO VARILLADO		
VOLUMEN	0.00973688 m ³		VOLUMEN	0.009737 m ³	
P.V.S+R	23.08 kg.		P.V.V+R	24.80 kg.	
R	10.940 Kg.		R	10.940 Kg.	
PESO	12.140 Kg.		PESO	13.860 Kg.	
P.V.S.	1247 Kg/m ³		P.V.V.	1423 Kg/m ³	
DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA "D.S.S.S" (NTE INEN 857 - 10)					
VOLUMEN	588 cm ³		P.S.S.S. (gr)	1500	
P.S.S.S.	1500 gr		W_{(Ca+mat) - W_(Ca+mat.sumer.)}	912	
W_(canastilla+mat.)	2460 gr				
W_(canastilla mat. sumergido)	1548 gr		W_{desalojado(gr)}	588	
W_{(canastilla+mat.) - W_(canastilla mat. sumergido)}	912 gr		V_{desalojado(cm3)}	588	
D.S.S.S.	2.551 gr/cm ³			2551 Kg/m ³	
ABSORCION DEL ARIDO GRUESO (NTE INEN 857 - 10)					
PESO GRAVA SATURADA		PESO GRAVA SECA		% DE ABSORCION	
1500 gr		1486 gr		0.94	
SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS ARIDOS (NTE INEN 872 - 11)					
TERRONES DE ARCILLAS Y PARTICULAS DESMENUZABLES (NTE INEN 497-10)					
Fracciones de ensayo	Fraccion 1 (4,75 mm - 9,5 mm)	Fraccion 2 (9,5 mm - 19 mm)	Fraccion 3 (4,75 mm - 9,5 mm)		
Masa minima de ensayo "A"	1000 gr	2000 gr	3000 gr		
Masa lavada y tamizada "R"	982 gr	1963 gr	2945 gr		
Porcentaje de terrones de arcilla y p.d. "P"	1.80 %	1.85 %	1.83 %		
Porcentaje de terrones de arcilla y part. desmenuzables: $P = ((A - R)/A) * 100$					
MATERIAL MAS FINO QUE 75 µm (NTE INEN 498-10)					
Masa minima de ensayo "A"			2500 gr		
Masa lavada y secada al horno "B"			2485 gr		
Porcentaje de material fino < 75 micras "M"			0.60 %		
Porcentaje de material fino < 75 micras: $M = ((A - B)/A) * 100$					
PARTICULAS LIVIANAS "CARBON O LIGNITOS" (NTE INEN 499-11)					
Masa minima de ensayo "A"			3000 gr		
Masa decantada, lavada y secada al horno "B"			0.1 gr		
Porcentaje de material fino < 75 micras "CL"			0.00 %		
Porcentaje de presencia de carbones y lignitos: $CL = (B/A) * 100$					
Tesista:	Laboratorista:		Director de Laboratorio:		
FAOY - FGGS	Tec. Rojer Magallanes		Ing. Lucrecia Moreno		

ANEXO No. 5: Solidez del arido grueso

	<p>TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE</p>								
DETERMINACION DE LA SOLIDEZ DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO (NTE INEN 863-11)									
Cantera	San Vicente - Comuna Las Balsas	Coordenadas:	N9777266						
Ubicación	Parroquia Colonche - Prov. de Sta. Elena		E551826						
Descripcion:	Color Amarillo	Fecha de ensayo:	06/02/2015						
Tipo	Piedra triturada	'Tam. Max.:	19 mm						
FRACCIONES PARA DETERMINAR MASA MININA DE ENSAYO									
FRACCION	PASANTE		RETENIDO		PARCIAL	TOTAL			
	pulg.	mm.	pulg.	mm.					
1	3/8	9.5	No 4	4.75	300 ± 5 gr	1300 ± 15			
	3/4	19	3/8	9.5	1000 ± 10 gr				
2	1/2	12.5	3/8	9.5	330 ± 5 gr	2500 ± 65			
	3/4	19	1/2	12.5	670 ± 10 gr				
	1 1/2	37.6	3/4	19	1500 ± 50 gr				
3	1	25	3/4	20	500 ± 30 gr	6500 ± 380			
	1 1/2	37.6	1	21	1000 ± 50 gr				
	2 1/2	62.5	1 1/2	22	5000 ± 300 gr				
4	2	50	1 1/2	37.6	2000 ± 200 gr	5000 ± 10			
	2 1/2	62.5	2	50	3000 ± 300 gr				
Nota: para tamaños mayores espaciados en 25 mm, cada fraccion adicional sera de 7000 ± 1000.									
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO					GRANULOMETRIA AGREGADO				
					TAMIZ		W PARCIAL		% RETENIDO
					pulg.	mm.			
					2 1/2	62.5	0	gr	0.00
					2	50	0	gr	0.00
					1 1/2	37.6	0	gr	0.00
					1	25	56	gr	3.03
					3/4	19	354	gr	19.14
					1/2	12.5	355	gr	19.19
					3/8	9.5	1024.92	gr	55.40
					No 4	4.75	36.23	gr	1.96
					No 8	2.36	0	gr	0.00
					FONDO		23.85	gr	1.29
					TOTAL		1850	gr	100.00
REGISTRO DE PERDIDAS POR MEDIO DE CRIBADO									
TAMAÑO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDAS		DESGASTE UNITARIO				
			masa	%	original	corregida			
2" - 1 1/2"	-	-	-	-	-	-			
1 1/2" - 1"	-	-	-	-	-	-			
1" - 3/4"	-	-	-	-	-	-			
3/4" - 1/2"	670 gr	650 gr	20 gr	2.985 %	0.191892 %	0.573 %			
1/2" - 3/8"	330 gr	326 gr	4 gr	1.212 %	0.5540 %	0.672 %			
3/8" - No 4	300 gr	289.2 gr	10.8 gr	3.60 %	0.019584 %	0.071 %			
REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS									
Masa Original de la Muestra de ensayo "A" :					1300.00	gr			
Masa de la muestra despues de ensayo "B" :					34.8	gr			
Porcentaje de perdida por 5 ciclos de inmersion y secado "S":					1.31	%			
Valor de abrasion por inmersion en sulfato de magnesio: S = (B/A) * 100									
Tesistas:		Laboratorista:		Director de Laboratorio:					
FAOY - FGGS		Rojer Magallanes		Ing. Lucrecia Moreno					

ANEXO No. 6: Desgaste por abrasi3n de los angeles en el arido grueso

	<p>TESIS DE GRADO</p> <p>ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA</p> <p>LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE</p>						
DETERMINACION DEL VALOR DE DESGASTE DE LOS ARIDOS EN EL HORMIGON MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (NTE INEN 860-11)							
Cantera	San Vicente - Comuna Las Balsas	Coordenadas:	N9777266				
Ubicaci3n	Parroquia Colonche - Prov. de Sta. Elena		E551826				
Descripcion:	Color Amarillo	Fecha de ensayo:	06/02/2015				
Tipo	Piedra triturada 'Tam. Max.: 19 mm						
GRADACION NOMINAL PARA ESTABLECER METODO DE ENSAYO							
PASANTE		RETENIDO		METODO A	METODO B	METODO C	METODO D
pulg.	mm.	pulg.	mm.				
1 1/2	37.6	1	25	1250 ± 25			
1	25	3/4	19	1250 ± 25			
3/4	19	1/2	12.5	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2	12.5	3/8	9.5	1251 ± 10	2500 ± 10		
3/8	9.5	1/4	6.3			2500 ± 10	
1/4	9.5	No 4	4.75			2500 ± 10	
No 4	4.75	No 8	2.36				5000 ± 10
TOTAL				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10



GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

% QUE PASA

TAMIZ



METODOS DE ENSAYO		
ABRASION	ESF.	PESO TOTAL
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

GRANULOMETRIA AGREGADO			
TAMIZ		PARCIA	% RETENIDO
pulg.	mm.		
1 1/2	37.6	0	0.00
1	25	56	3.03
3/4	19	354	19.14
1/2	12.5	355	19.19
3/8	9.5	1024.92	55.40
No 4	4.75	36.23	1.96
No 8	2.36	0	0.00
FONDO		23.85	1.29
TOTAL		1850	100.00



TAMIZ	METODO B (500 revoluciones)		
pulg. (mm.)	FRACCIONES	MASA INICIAL	MASA FINAL
1 (25) - 3/4 (19)	2500 ± 25 gr	2500 gr	2360 gr
3/4 (19) - 1/2 (12.5)	2500 ± 25 gr	2500 gr	2238 gr
TOTAL	4985 ± 25 gr	5000 gr	4598 gr

REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS	
Numero de esferas	11 u
Masa Original de la Muestra de ensayo "A" :	5000.00 gr
Masa de la muestra despues de ensayo "B" :	4598 gr
Porcentaje de perdida por Abrasion de los Angeles	8.04 %
Valor de Abrasion por maquina de los Angeles: $M = ((A - B)/A) * 100$	
Tesista:	Laboratorista:
FAOY - FGGS	Tec. Rojer Magallanes
Director de Laboratorio:	
Ing. Lucrecia Moreno	

Anexo No. 7: Propiedades de la puzolana artificial.

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE					
PROPIEDADES DE LA PUZOLANA ARTIFICIAL CENIZA DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ							
Ubicación	Proy. "PIDAASEE", comuna Zapotal, parroquia Chanduy, Prov. de Santa Elena			Coordenadas:	N9743378 E546696		
Descripcion:	Cultivo post cosecha, totalmente seco			Fecha de ensayo:	06/02/2015		
Tipo	Planta completa, libre de escombros						
INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA "METODO DEL CEMENTO" (NTE INEN 495-81)							
ETIQUETA	PATRON (A)	CENIZA MAIZ (B)		R	REQUISITO NORMA		
M - 500 °C	28.4 Mpa	17.4	Mpa	61.3 %	< 75 %	NO CUMPLE	
M - 600 °C	28.4 Mpa	20.4	Mpa	71.8 %	< 75 %	NO CUMPLE	
M - 700 °C	28.4 Mpa	14.5	Mpa	51.1 %	< 75 %	NO CUMPLE	
Indice de actividad puzolanica : $R = (B/A) * 100$							
PORCENTAJE DE PERDIDA POR CALCINACION (NTE INEN 498-81)							
ETIQ.	MASA INICIAL (A)	MASA FINAL (B)	PERDIDA		PERDIDA PROMEDIO	REQUISITO NORMA	
			MASA(C)	PORCENTAJE			
M - 500°C	1.000 gr.	0.9456 gr.	0.0544 gr.	5.44 %	5.42%	< 10 %	SI CUMPLE
	1.000 gr.	0.9460 gr.	0.0540 gr.	5.40 %			
	1.000 gr.	0.9457 gr.	0.0543 gr.	5.43 %			
M - 600°C	1.000 gr.	0.9283 gr.	0.0717 gr.	7.17 %	7.19%	< 10 %	SI CUMPLE
	1.000 gr.	0.9279 gr.	0.0721 gr.	7.21 %			
	1.000 gr.	0.9280 gr.	0.0720 gr.	7.20 %			
M - 700°C	1.000 gr.	0.9525 gr.	0.0475 gr.	4.75 %	4.70%	< 10 %	SI CUMPLE
	1.000 gr.	0.9537 gr.	0.0463 gr.	4.63 %			
	1.000 gr.	0.9529 gr.	0.0471 gr.	4.71 %			
Porcentaje de perdida por 1h de exposicion a 1000 °C : $P = (C/A) * 100$							
PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ NO. 200 Y NO 325							
TAMIZ	M - 500 °C		M - 600 °C		M - 700 °C		
	W parcial por cribado	(%) QUE PASA	W parcial por cribado	(%) QUE PASA	W parcial por cribado	(%) QUE PASA	
MASA INICIAL	50.00	100.00	50.00	100.00	50.00	100.00	
No 200	42.66	85.32	45.43	90.86	47.26	94.52	
No 325	14.10	28.20	28.42	56.84	27.74	55.48	
El valor de distribucion granulometrica y finura de las particulas no esta especificada en la norma. Valor reportado solo como informacion adicional.							
Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de Laboratorio:				
FAOY - FGGS	Rojer Magallanes	Ing. Richard Ramirez	Ing. Lucrecia Moreno				

ANEXO No. 8: Diseño de hormigon f'c: 280 Kg/cm²

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE					
DISEÑO DE HORMIGON PARA LA ELABORACION DE PROBETAS CILINDRICAS							
Cemento	Tipo HE (HOLCIM) - NTE INEN 2380				Fecha de diseño:	06/02/2015	
Piedra	Triturada 3/4" - San Vicente, Las Balsas						
Arena	Arena de rio - El triunfo				Resistencia:	280 Kg/cm ²	
Asentamiento	5-10 cm		Etiqueta Patron				
PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS							
AGREGADO GRUESO			AGREGADO FINO			DENSIDADES	
D.S.S.S.	2551	Kg/m ³	D.S.S.S.	2632	Kg/m ³	δ CEMENTO	2900 Kg/m ³
P.V.S.	1247	Kg/m ³	P.V.S.	1580	Kg/m ³	δ AGUA	1000 Kg/m ³
P.V.V.	1423	Kg/m ³	M.F.		2.54	δ ARENA	2632 Kg/m ³
% DE ABSORCIÓN	0.94		% DE ABSORCIÓN	1.97		δ PIEDRA	2551 Kg/m ³
CALCULO DE CANTIDAD DE AGUA							
REVENIMIENTO	TAMAÑO DEL AGREGADO		VOLUMEN TABULAD		VOL. - CORREGIDO		
5 - 10 cm	3/4"		202.5 lts		208 lts		
CALCULO DE CANTIDAD DE CEMENTO							
REVENIMIENTO	A / C		VOL. DE AGUA		AIRE	CEMENTO/m³	
5 - 10 cm	0.52		208 lts		2%	401 Kg	
CALCULO DE AGREGADOS POR M³ DE HORMIGON (V= P/δ)							
CEMENTO	$\frac{401 \text{ Kg}}{2900 \text{ Kg/m}^3}$				0.138 m ³	138 dm ³	
PIEDRA	$\frac{P.V.V * V.A.G}{D.S.S.S.}$				0.380 m ³	380 dm ³	
ARENA	1 - Vcemento - Vpiedra - Vagua - Vaire				0.253 m ³	253 dm ³	
AGUA	$\frac{208 \text{ lts}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$				0.208 m ³	208 dm ³	
AIRE	2%				0.02 m ³	20 dm ³	
PESO EN Kg POR M³ DE HORMIGON							
CEMENTO	2900	Kg/m ³	*	0.138	m ³	401 Kg	
PIEDRA	2551	Kg/m ³	*	0.380	m ³	970 Kg	
ARENA	2632	Kg/m ³	*	0.253	m ³	667 Kg	
AGUA	1000	Kg/m ³	*	0.208	Lts	208 Lts	
PESO POR M³ DE HORMIGON						2245 Kg	
PESO EN Kg POR AMASADA							
VOLUMEN / CILINDRO				1.57E-03	m ³	no. Cilindros	12
CEMENTO	401	Kg	*	0.019	m ³	7.554 Kg	
PIEDRA	970	Kg	*	0.019	m ³	18.275 Kg	
ARENA	667	Kg	*	0.019	m ³	12.568 Kg	
AGUA	208	Kg	*	0.019	m ³	3.928 Lts	
PESO POR KG POR n CILINDROS						42.325 Kg	
PESO EN Kg PARA REMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO							
PESO TOTAL				CEMENTO		PUZOLANA (M.S.)	
REEMPLAZO 5%				7.177 Kg		0.378 Kg	
REEMPLAZO 10%				6.799 Kg		0.755 Kg	
REEMPLAZO 15%				6.421 Kg		1.133 Kg	
Tesista:		Responsable:			Director de Laboratorio:		
Fabian O. - Fausto G.		Tec. Rojer Magallanes			Ing. Lucrecia Moreno		

Anexo No. 10: Cartera de roturas - 500 °C (HE + 5%).



TESIS DE GRADO
**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
 OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
 SANTA ELENA**
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)

TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	500-HE-05
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	7.00 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	30 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²

ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
500-HE-05	25	23/02/2015	26/02/2015	3	3.94	102.0	202.5	167.2	4	208.7	3.13%	212.4
500-HE-05	26	23/02/2015	26/02/2015	3	3.94	102.0	202.5	170.7	4	213.0	1.11%	
500-HE-05	27	23/02/2015	26/02/2015	3	3.94	102.0	202.0	172.6	4	215.4	0.00%	
500-HE-05	28	23/02/2015	02/03/2015	7	3.94	102.0	202.5	222.0	4	277.1	0.54%	277.0
500-HE-05	29	23/02/2015	02/03/2015	7	3.94	102.0	202.5	223.2	4	278.6	0.00%	
500-HE-05	30	23/02/2015	02/03/2015	7	3.94	102.5	202.5	222.7	4	275.2	1.20%	
500-HE-05	31	23/02/2015	09/03/2015	14	3.94	102.5	202.5	244.6	4	302.3	2.08%	304.7
500-HE-05	32	23/02/2015	09/03/2015	14	3.94	102.5	202.5	245.2	4	303.1	1.84%	
500-HE-05	33	23/02/2015	09/03/2015	14	3.94	102.5	202.5	249.8	4	308.7	0.00%	
500-HE-05	34	23/02/2015	23/03/2015	28	3.94	102.0	202.5	262.7	4	327.9	0.00%	323.7
500-HE-05	35	23/02/2015	23/03/2015	28	3.94	102.5	202.5	262.4	4	324.3	1.09%	
500-HE-05	36	23/02/2015	23/03/2015	28	3.94	102.5	202.5	258.1	4	319.0	2.71%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Morena A.



TESIS DE GRADO
**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
 OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
 SANTA ELENA**
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)



TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	PATRON - HE
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	7.50 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	30 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²

ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
PA-HE	13	13/02/2015	16/02/2015	3	3.98	102.0	202.0	139.2	4	173.7	1.97%	174.2
PA-HE	14	13/02/2015	16/02/2015	3	3.98	102.5	202.5	143.4	4	177.2	0.00%	
PA-HE	15	13/02/2015	16/02/2015	3	3.98	102.5	202.5	138.9	4	171.7	3.14%	
PA-HE	16	13/02/2015	20/02/2015	7	3.98	102.5	202.0	195.1	4	241.1	3.94%	247.2
PA-HE	17	13/02/2015	20/02/2015	7	3.98	102.5	202.5	203.1	4	251.0	0.00%	
PA-HE	18	13/02/2015	20/02/2015	7	3.98	102.5	202.5	201.9	4	249.5	0.59%	
PA-HE	19	13/02/2015	27/02/2015	14	3.98	102.5	202.5	232.6	4	287.5	1.65%	289.4
PA-HE	20	13/02/2015	27/02/2015	14	3.98	102.0	202.5	234.2	4	292.3	0.00%	
PA-HE	21	13/02/2015	27/02/2015	14	3.98	102.5	202.5	233.4	4	288.5	1.31%	
PA-HE	22	13/02/2015	13/03/2015	28	3.98	102.5	202.5	252.5	4	312.1	0.71%	312.1
PA-HE	23	13/02/2015	13/03/2015	28	3.98	102.5	202.5	254.3	4	314.3	0.00%	
PA-HE	24	13/02/2015	13/03/2015	28	3.98	102.5	202.0	250.8	4	310.0	1.38%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Morena A.

Anexo No. 11: Cartera de roturas - 500 °C (HE + 10%).

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>TESIS DE GRADO</p> <p>ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA</p> <p>LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE</p> </div>  </div>														
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)														
TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez							LOTE NO.	500-HE-10					
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma							ASENTAMIENTO	6.50 cm					
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)							TEMPERATURA	28 °C					
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²			RELACION A/C:	0.52			CON. DE AIRE	2 %					
AGREGADO:	Piedra triturada			TAM. MAXIMO:	19 mm			CILINDROS	78.54 cm ²					
ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)				
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.		
500-HE-10	37	17/02/2015	20/02/2015	3	3.88	102.5	202.5	187.7	4	232.0	0.00%	226.8		
500-HE-10	38	17/02/2015	20/02/2015	3	3.88	102.5	202.5	178.2	4	220.2	5.06%			
500-HE-10	39	17/02/2015	20/02/2015	3	3.88	102.5	202.0	184.5	4	228.0	1.70%			
500-HE-10	40	17/02/2015	24/02/2015	7	3.88	102.0	202.5	238.0	4	297.0	3.40%	297.4		
500-HE-10	41	17/02/2015	24/02/2015	7	3.88	102.5	202.5	232.7	4	287.6	6.47%			
500-HE-10	42	17/02/2015	24/02/2015	7	3.88	102.5	202.5	248.8	4	307.5	0.00%			
500-HE-10	43	17/02/2015	03/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	264.2	4	326.5	3.05%	332.7		
500-HE-10	44	17/02/2015	03/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	272.5	4	336.8	0.00%			
500-HE-10	45	17/02/2015	03/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	270.8	4	334.7	0.62%			
500-HE-10	46	17/02/2015	17/03/2015	28	3.88	102.0	202.5	281.1	4	350.8	0.00%	348.2		
500-HE-10	47	17/02/2015	17/03/2015	28	3.88	102.5	202.5	280.5	4	346.7	1.18%			
500-HE-10	48	17/02/2015	17/03/2015	28	3.88	102.5	202.5	280.9	4	347.2	1.04%			
Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.														
Tesista:	Fabian Orrala Y.			Tesista:	Fausto Gomez S.			Laboratorista:	Tec. Rojer Magallanes T.			Tutor:	Ing. Richard Ramirez P.	
							Director de laboratorio:	Ing. Lucrecia Morena A.						

Anexo No. 12: Cartera de roturas - 500 °C (HE + 15%).



TESIS DE GRADO
**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
 OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
 SANTA ELENA**
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)

TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	500-HE-15
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	5.00 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	28 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²

ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
500-HE-15	49	18/02/2015	21/02/2015	3	3.86	102.5	202.0	141.0	4	174.3	1.19%	173.9
500-HE-15	50	18/02/2015	21/02/2015	3	3.86	102.5	202.5	138.4	4	171.1	3.01%	
500-HE-15	51	18/02/2015	21/02/2015	3	3.86	102.5	202.0	142.7	4	176.4	0.00%	
500-HE-15	52	18/02/2015	25/02/2015	7	3.86	102.5	202.5	183.5	4	226.8	4.92%	233.9
500-HE-15	53	18/02/2015	25/02/2015	7	3.86	102.5	202.5	193.0	4	238.5	0.00%	
500-HE-15	54	18/02/2015	25/02/2015	7	3.86	102.0	202.5	189.4	4	236.4	0.90%	
500-HE-15	55	18/02/2015	04/03/2015	14	3.86	102.0	202.5	209.2	4	261.1	0.00%	254.8
500-HE-15	56	18/02/2015	04/03/2015	14	3.86	102.5	202.5	207.4	4	256.3	1.83%	
500-HE-15	57	18/02/2015	04/03/2015	14	3.86	102.5	202.5	199.7	4	246.8	5.47%	
500-HE-15	58	18/02/2015	18/03/2015	28	3.86	102.5	202.5	212.6	4	262.8	3.28%	266.1
500-HE-15	59	18/02/2015	18/03/2015	28	3.86	102.5	202.5	219.8	4	271.7	0.00%	
500-HE-15	60	18/02/2015	18/03/2015	28	3.86	102.5	202.5	213.4	4	263.7	2.91%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Morena A.

Anexo No. 13: Cartera de roturas - 600 °C (HE + 5%).



TESIS DE GRADO
**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
 OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
 SANTA ELENA**
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)

TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	600-HE-05
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	7.00 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	29 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²

ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
600-HE-05	61	13/02/2015	16/02/2015	3	3.90	102.5	202.5	168.3	4	208.0	2.99%	211.0
600-HE-05	62	13/02/2015	16/02/2015	3	3.90	102.0	202.5	171.8	4	214.4	0.00%	
600-HE-05	63	13/02/2015	16/02/2015	3	3.90	102.0	202.5	168.6	4	210.4	1.86%	
600-HE-05	64	13/02/2015	20/02/2015	7	3.90	102.5	202.5	221.7	4	274.0	3.88%	278.5
600-HE-05	65	13/02/2015	20/02/2015	7	3.90	102.0	202.5	221.4	4	276.3	3.06%	
600-HE-05	66	13/02/2015	20/02/2015	7	3.90	102.0	202.5	228.4	4	285.1	0.00%	
600-HE-05	67	13/02/2015	27/02/2015	14	3.90	102.0	202.5	251.6	4	314.0	0.00%	312.9
600-HE-05	68	13/02/2015	27/02/2015	14	3.90	102.0	202.5	251.6	4	314.0	0.00%	
600-HE-05	69	13/02/2015	27/02/2015	14	3.90	102.5	202.5	251.4	4	310.7	1.05%	
600-HE-05	70	13/02/2015	13/03/2015	28	3.90	102.5	202.5	274.2	4	338.9	0.18%	338.4
600-HE-05	71	13/02/2015	13/03/2015	28	3.90	102.5	202.5	272.4	4	336.7	0.84%	
600-HE-05	72	13/02/2015	13/03/2015	28	3.90	102.5	202.5	274.7	4	339.5	0.00%	

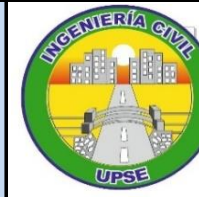
Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Morena A.



TESIS DE GRADO

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
SANTA ELENA**



LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)

TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	600-HE-10
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	6.50 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	29 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²



ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
600-HE-10	73	24/02/2015	27/02/2015	3	3.84	102.5	202.0	199.6	4	246.7	0.35%	245.4
600-HE-10	74	24/02/2015	27/02/2015	3	3.84	102.5	202.5	195.8	4	242.0	2.25%	
600-HE-10	75	24/02/2015	27/02/2015	3	3.84	102.5	202.5	200.3	4	247.6	0.00%	
600-HE-10	76	24/02/2015	03/03/2015	7	3.84	102.5	202.0	272.8	4	337.2	0.04%	332.2
600-HE-10	77	24/02/2015	03/03/2015	7	3.84	102.5	202.5	272.9	4	337.3	0.00%	
600-HE-10	78	24/02/2015	03/03/2015	7	3.84	102.5	202.5	260.7	4	322.2	4.47%	
600-HE-10	79	24/02/2015	10/03/2015	14	3.84	102.5	202.5	283.9	4	350.9	1.66%	352.6
600-HE-10	80	24/02/2015	10/03/2015	14	3.84	102.5	202.5	283.3	4	350.1	1.87%	
600-HE-10	81	24/02/2015	10/03/2015	14	3.84	102.5	202.5	288.7	4	356.8	0.00%	
600-HE-10	82	24/02/2015	24/03/2015	28	3.84	102.5	202.5	305.2	4	377.2	0.65%	378.5
600-HE-10	83	24/02/2015	24/03/2015	28	3.84	102.5	202.5	307.2	4	379.7	0.00%	
600-HE-10	84	24/02/2015	24/03/2015	28	3.84	102.5	202.5	306.3	4	378.6	0.29%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Morena A.

Anexo No. 14: Cartera de roturas - 600 °C (HE + 10%).

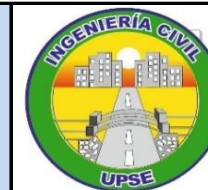
Anexo No. 15: Cartera de roturas - 600 °C (HE + 15%).

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE															
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)																	
TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez						LOTE NO.	600-HE-15									
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma						ASENTAMIENTO	5.00 cm									
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)						TEMPERATURA	27 °C									
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²			RELACION A/C:	0.52		CON. DE AIRE	2 %									
AGREGADO:	Piedra triturada			TAM. MAXIMO:	19 mm		CILINDROS	78.54 cm ²									
ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)							
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.					
600-HE-15	85	25/02/2015	28/02/2015	3	3.82	102.5	202.5	143.3	4	177.1	2.38%	179.3					
600-HE-15	86	25/02/2015	28/02/2015	3	3.82	102.5	202.0	146.8	4	181.4	0.00%						
600-HE-15	87	25/02/2015	28/02/2015	3	3.82	102.0	202.5	143.6	4	179.2	1.22%						
600-HE-15	88	25/02/2015	04/03/2015	7	3.82	102.5	202.5	206.7	4	255.5	0.00%	254.8					
600-HE-15	89	25/02/2015	04/03/2015	7	3.82	102.5	202.5	206.4	4	255.1	0.15%						
600-HE-15	90	25/02/2015	04/03/2015	7	3.82	102.0	202.5	203.4	4	253.9	0.63%						
600-HE-15	91	25/02/2015	11/03/2015	14	3.82	102.5	202.5	238.6	4	294.9	0.56%	295.0					
600-HE-15	92	25/02/2015	11/03/2015	14	3.82	102.0	202.5	237.6	4	296.5	0.00%						
600-HE-15	93	25/02/2015	11/03/2015	14	3.82	102.5	202.5	237.4	4	293.4	1.06%						
600-HE-15	94	25/02/2015	25/03/2015	28	3.82	102.5	202.5	261.2	4	322.8	0.76%	324.1					
600-HE-15	95	25/02/2015	25/03/2015	28	3.82	102.5	202.5	263.2	4	325.3	0.00%						
600-HE-15	96	25/02/2015	25/03/2015	28	3.82	102.5	202.5	262.4	4	324.3	0.30%						
Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.																	
Tesista:	Fabian Orrala Y.			Tesista:	Fausto Gomez S.			Laboratorista:	Tec. Rojer Magallanes T.			Tutor:	Ing. Richard Ramirez P.		Director de laboratorio:	Ing. Lucrecia Morena A.	



TESIS DE GRADO

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
SANTA ELENA**



LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)

TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	700-HE-05
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	7.00 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	29 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²



ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
700-HE-05	97	02/03/2015	05/03/2015	3	3.88	102.0	202.5	124.7	4	155.6	1.70%	156.4
700-HE-05	98	02/03/2015	05/03/2015	3	3.88	102.5	202.5	128.1	4	158.3	0.00%	
700-HE-05	99	02/03/2015	05/03/2015	3	3.88	102.0	202.0	124.5	4	155.4	1.86%	
700-HE-05	100	02/03/2015	09/03/2015	7	3.88	102.0	202.5	179.7	4	224.3	6.36%	229.0
700-HE-05	101	02/03/2015	09/03/2015	7	3.88	102.0	202.5	178.8	4	223.2	6.83%	
700-HE-05	102	02/03/2015	09/03/2015	7	3.88	102.5	202.5	193.8	4	239.5	0.00%	
700-HE-05	103	02/03/2015	16/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	211.2	4	261.0	0.00%	253.0
700-HE-05	104	02/03/2015	16/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	200.2	4	247.4	5.21%	
700-HE-05	105	02/03/2015	16/03/2015	14	3.88	102.5	202.5	202.8	4	250.6	3.98%	
700-HE-05	106	02/03/2015	30/03/2015	28	3.88	102.5	202.5	228.7	4	282.7	0.00%	279.4
700-HE-05	107	02/03/2015	30/03/2015	28	3.88	102.0	202.5	223.6	4	279.1	1.27%	
700-HE-05	108	02/03/2015	30/03/2015	28	3.88	102.0	202.5	221.6	4	276.6	2.15%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Moreno A.

Anexo No. 16: Cartera de roturas - 700 °C (HE + 5%).

Anexo No. 17: Cartera de roturas - 700 °C (HE + 10%).

		TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE										
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)												
TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez						LOTE NO.	700-HE-10				
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma						ASENTAMIENTO	6.50 cm				
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)						TEMPERATURA	27 °C				
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²			RELACION A/C:	0.52		CON. DE AIRE	2 %				
AGREGADO:	Piedra triturada			TAM. MAXIMO:	19 mm		CILINDROS	78.54 cm ²				
ETIQUETA	CILINDRO	FECHA		EDAD	PESO	DIMENSIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
	No.	TOMA	ROTURA	DIAS	Kg	DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
700-HE-10	109	03/03/2015	06/03/2015	3	3.86	102.0	202.5	145.7	4	181.8	0.00%	179.9
700-HE-10	110	03/03/2015	06/03/2015	3	3.86	102.5	202.5	144.2	4	178.2	1.99%	
700-HE-10	111	03/03/2015	06/03/2015	3	3.86	102.5	202.5	145.4	4	179.7	1.18%	
700-HE-10	112	03/03/2015	10/03/2015	7	3.86	102.5	202.0	205.5	4	254.0	0.00%	251.5
700-HE-10	113	03/03/2015	10/03/2015	7	3.86	102.5	202.5	203.1	4	251.0	1.17%	
700-HE-10	114	03/03/2015	10/03/2015	7	3.86	102.5	202.5	201.9	4	249.5	1.75%	
700-HE-10	115	03/03/2015	17/03/2015	14	3.86	102.0	202.5	235.7	4	294.2	1.22%	294.1
700-HE-10	116	03/03/2015	17/03/2015	14	3.86	102.0	202.5	238.6	4	297.8	0.00%	
700-HE-10	117	03/03/2015	17/03/2015	14	3.86	102.5	202.5	234.8	4	290.2	2.55%	
700-HE-10	118	03/03/2015	31/03/2015	28	3.86	102.0	202.0	259.7	4	324.1	1.52%	323.9
700-HE-10	119	03/03/2015	31/03/2015	28	3.86	102.0	202.5	263.7	4	329.1	0.00%	
700-HE-10	120	03/03/2015	31/03/2015	28	3.86	102.5	202.5	257.6	4	318.4	3.26%	
Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.												
Tesista:	Tesista:			Laboratorista:			Tutor:			Director de laboratorio:		
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.			Tec. Rojer Magallanes T.			Ing. Richard Ramirez P.			Ing. Lucrecia Moreno A.		

Anexo No. 18: Cartera de roturas - 700 °C (HE + 15%).



TESIS DE GRADO
**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA
 OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE
 SANTA ELENA**
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGON (NTE INEN 1573 - 10)



TESISTAS:	Fabian Antony Orrala Yagual, Fausto Gavino Gomez Suarez	LOTE NO.	700-HE-15
TUTOR:	Ing. Richard Ramirez Palma	ASENTAMIENTO	5.00 cm
CEMENTO:	Tipo HE - INEN 2380 (ASTM C 1157)	TEMPERATURA	27 °C
RESISTENCIA:	280 Kg/cm ²	RELACION A/C:	0.52
AGREGADO:	Piedra triturada	TAM. MAXIMO:	19 mm
		CON. DE AIRE	2 %
		CILINDROS	78.54 cm ²

ETIQUETA	CILINDRO No.	FECHA		EDAD DIAS	PESO Kg	DIMENCIONES (mm)		CARGA (KN)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)		
		TOMA	ROTURA			DIAMETRO	ALTURA			LECTURA	PRESICION	PROM.
700-HE-15	121	04/03/2015	07/03/2015	3	3.82	102.0	202.5	104.7	4	130.7	0.00%	128.7
700-HE-15	122	04/03/2015	07/03/2015	3	3.82	102.5	202.0	103.1	4	127.4	2.49%	
700-HE-15	123	04/03/2015	07/03/2015	3	3.82	102.5	202.5	103.5	4	127.9	2.11%	
700-HE-15	124	04/03/2015	11/03/2015	7	3.82	102.5	202.0	164.7	4	203.6	0.00%	200.8
700-HE-15	125	04/03/2015	11/03/2015	7	3.82	102.5	202.5	163.8	4	202.4	0.55%	
700-HE-15	126	04/03/2015	11/03/2015	7	3.82	102.5	202.5	158.8	4	196.3	3.58%	
700-HE-15	127	04/03/2015	18/03/2015	14	3.82	102.0	202.5	181.2	4	226.2	0.00%	224.4
700-HE-15	128	04/03/2015	18/03/2015	14	3.82	102.0	202.5	180.2	4	224.9	0.55%	
700-HE-15	129	04/03/2015	18/03/2015	14	3.82	102.5	202.5	179.8	4	222.2	1.74%	
700-HE-15	130	04/03/2015	01/04/2015	28	3.82	102.0	202.5	200.7	4	250.5	0.00%	247.1
700-HE-15	131	04/03/2015	01/04/2015	28	3.82	102.0	202.5	198.6	4	247.9	1.05%	
700-HE-15	132	04/03/2015	01/04/2015	28	3.82	102.5	202.5	196.6	4	243.0	3.00%	

Observaciones: El mezclado, los ensayos en el concreto fresco y moldeo de los cilindros se llevo a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio bajo la supervision del laboratorista.

Tesista:	Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de laboratorio:
Fabian Orrala Y.	Fausto Gomez S.	Tec. Rojer Magallanes T.	Ing. Richard Ramirez P.	Ing. Lucrecia Moreno A.

Anexo No. 19: Analisis de precio unitario para la obtención de la puzolana.

	TESIS DE GRADO ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGON CON ADICION DE PUZOLANA OBTENIDA DE LA CALCINACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ PRODUCIDO EN LA PROV. DE SANTA ELENA LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS - UPSE				
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO PUZOLANA ARTIFICIAL PRODUCIDA EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA					
Rubro	Produccion de la puzolana artificial obtenida de la calcinacion de los residuos del cultivo de maiz en la provincia de Santa Elena				
Unidad	Kilogramo de ceniza	Fecha de	02/04/2015		
CATEG.	DESCRIPCION	UND	CANT.	P. UNIT.	COSTO FINAL
MATERIALES	Residuos del cultivo de maiz	Kg	15	0.004	0.0630
EQUIPOS	Horno de arcilla	Hora	0.00001	1000.000	0.0100
	Quemador a gas/tanque de GLP	Hora	0.005	0.290	0.0015
	Quemador a gas/inductor de aire	Hora	0.055	0.018	0.0010
	Molino de Bolas	Hora	0.007	0.730	0.0054
	Herramienta menor	Hora	1%	-	0.0002
MANO DE OBRA	Operador quemador	Hora	0.055	2.700	0.1485
	Operador molino de bolas	Hora	0.007	2.700	0.0189
Sub-total					0.248
Indirectos (25%)					0.062
TOTAL / KG					0.310
TOTAL / 50KG					15.52
Observacion:					
El rubro aquí representado expresa el costo total de producir 50 Kg de puzolana artificial obtenida de la calcinacion de los residuos del cultivo de maiz para sustituir parcialmente al cemento en la mezcla. Este valor representa un aumento en el costo del 106% con respecto al precio del cemento en el mercado actual (\$7,50) por lo que su uso no es economicamente factible.					
Tesista:	Laboratorista:	Tutor:	Director de Laboratorio:		
FAOY - FGGS	Rojer Magallanes	Ing. Richard Ramirez	Ing. Lucrecia Moreno		

ANEXO No. 20: Fabricación del quemador.



Ilustración 8.1: Ensamblado de piezas para quemador, válvulas y uniones.



Ilustración 8.2: Ensamblado de piezas para quemador, instalación del pico para gas.



Ilustración 8.3: Ejecución de pruebas al quemador, Incineración de material de prueba.

ANEXO No. 21: Ensayos de laboratorio.

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA POR
EL MÉTODO DEL CEMENTO. NTE INEN 496:1981**



Ilustración 8.4: Pesado de la arena para ensayo.



Ilustración 8.5: Cantidad de agua necesaria para el ensayo.



Ilustración 8.6: Mezclado de los diferentes materiales en amasadora de morteros

**DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE
EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO. NTE INEN 863:2011**



Ilustración 8.7: Colocación de la sustancia preparada a temperatura constante.



Ilustración 8.8: Revisión de la densidad de la sustancia preparada.



Ilustración 8.9: Agregado grueso tamizado para el ensayo de desgaste por sulfatos.

**DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE
EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO. NTE INEN 863:2011**



Ilustración 8.10: Sulfato de magnesio junto a las muestras a ensayar.



Ilustración 8.11: Muestras sumergidas en el sulfato de magnesio.

**PUZOLANAS, DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR
CALCINACIÓN. NTE INEN 498:2011**



Ilustración 8.12: Pesado de la puzolana artificial para ser ensayada.



Ilustración 8.13: Colocación de las muestras a ensayar dentro del horno.



Ilustración 8.14: Crisoles con muestras de puzolana dentro del horno a 1000 °C.

**PUZOLANAS, DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR
CALCINACIÓN. NTE INEN 498:2011**



Ilustración 8.15: Enfriamiento de las muestras ensayadas a tres temperaturas.



Ilustración 8.16: Balanza con precisión de 0.0001 gr para determinar la pérdida de masa.

**DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL
ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. NTE INEN 855:2010**



Ilustración 8.17: 450 g de arena necesaria para el ensayo de impurezas orgánicas



Ilustración 8.18: Determinación del color de la sustancia según el colorímetro.