

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE  
LOS MATERIALES**



**“DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE ADICIÓN DE  
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES  
SOMETIDOS A COMPRESIÓN”**

**Por:**

**HUGO FERNANDO JARAMILLO FARFÁN**

*Proyecto de Ingeniería Civil II, CIV – 502 presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar al Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.*

Diciembre de 2010

**TARIJA - BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que a través del tiempo me apoyaron para que salga adelante y culminar con este trabajo.

A Dios, por el don de la vida.

A mi Madre que fue mi apoyo constante, en todo momento, y que gracias a ella este trabajo se pudo llevar a cabo.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mi familia, en especial a mi Madre, hermanos, amigos, y mentores que me apoyaron en cada momento.

A la Ing. Miriam Barrero por los consejos dados en cada momento que así lo precisé.

Al personal de Soboce El Puente, por su apoyo desinteresado. En especial al Lic. Fernando Garrido.

Al personal de laboratorio de Suelos y Hormigones de la U.A.J.M.S. por sus consejos y constante apoyo.

El tribunal evaluador del presente trabajo de investigación, no se solidariza con la forma, términos, modos, y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas responsabilidades del autor.

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: ANALISIS QUIMICOS

ANEXO 2: PRUEBAS FISICAS DE LOS CEMENTOS CON Y SIN ADICION

ANEXO 3: PRUEBAS MECANICAS DE LOS CEMENTOS CON Y SIN ADICION  
(ANALISIS ESTADISTICO)

ANEXO 4: CARACTERISTICAS FISICAS MECANICAS DEL AGREGADO FINO

ANEXO 5: CARACTERISTICAS FISICAS MECANICAS DEL AGREGADO GRUESO

ANEXO 6: DOSIFICACION DE HORMIGONES

ANEXO 7: PRUEBAS MECANICAS DE LOS HORMIGONES CON Y SIN ADICION  
(ANALISIS ESTADISTICO)

ANEXO 8: TABLAS DE DISEÑO ACI - 211

ANEXO 9: REPORTE FOTOGRAFICO

## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<i>Cuadro N° 1.1 Composición química de la cascarilla y su ceniza.....</i>	<i>9</i>
<i>Cuadro 3.1: Tamaño de la propiedad en has. y principal actividad en las comunidades..</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 3. 2: Volumen estimado de producción agrícola, municipio de Bermejo.....</i>	<i>60</i>

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<i>Figura N° 2.1 Frasco de Le Chatelier.....</i>	24
<i>Figura 2.2 Aparato de Vicat.....</i>	26
<i>Figura 2.3 aparato de Le de Chatelier.....</i>	29
<i>Figura 2.4 Mesa de sacudidas.....</i>	32
<i>Figura 2.5 Molde mesa de sacudidas.....</i>	32
<i>Figura 2.6 Definición de Resistencia Característica (<math>f_{ck}</math>).....</i>	53
<i>Figura 4.1 Proceso de producción de ceniza de cascarilla de arroz.....</i>	73
<i>Figura 4.2 Proceso de producción de ceniza de cascarilla de arroz.....</i>	73
<i>Figura 4.3 preselección del material.....</i>	74
<i>Figura 4.4 Molino de bolas.....</i>	74
<i>Figura 4.5. Permeabilmetro Blaine.....</i>	75
<i>Figura 4.6 Contenido de sílice en la “CCA”.....</i>	79
<i>Figura 4.7 Ensayo de Peso específico.....</i>	80
<i>Figura 4.8 Micrómetro.....</i>	85
<i>Figura 4.9 Ensayos de expansión.....</i>	85
<i>Figura 4.10 Mesa de flujo.....</i>	87
<i>Figura 4.11 Medición de diámetros.....</i>	87

## INDICE DE GRAFICAS

<i>Grafica 3.1 Curva Normal, Curvas “t” de student.....</i>	<i>68</i>
<i>Grafica 4.1 Curva granulométrica agregado grueso.....</i>	<i>76</i>
<i>Grafica 4.2 Curva granulométrica agregado Fino.....</i>	<i>77</i>
<i>Grafica 4.3 Curva de evolución Cemento Patrón fluidez 110± 5.....</i>	<i>88</i>
<i>Grafica 4.4 Curva de evolución cemento IP 30 fluidez 110± 5.....</i>	<i>89</i>
<i>Grafica 4.5 Curva de evolución Cemento Patrón fluidez 120± 5.....</i>	<i>90</i>
<i>Grafica 4.6 Curvas de evolución Cemento Patrón fluidez 120± 5(comprobaciones).</i>	<i>91</i>
<i>Grafica 4.7Incremento de agua en morteros fluidez 120± 5.....</i>	<i>92</i>
<i>Grafica 4.8 Curvas de evolución del hormigón con y sin adición de “CCA”.....</i>	<i>101</i>
<i>Grafica 4.9 Curvas de actividad puzolanica con y sin adición de “CCA”.....</i>	<i>103</i>
<i>Grafica 4.10 Influencia de la adición de “CCA” en el peso especifico del hormigón.....</i>	<i>105</i>
<i>Grafica 4.11 Influencia de la adición de “CCA” en el fraguado inicial.....</i>	<i>106</i>
<i>Grafica 4.12 Influencia de la adición de “CCA” en el fraguado final.....</i>	<i>107</i>
<i>Grafica 4.13 Influencia de la adición de “CCA” en la expansión.....</i>	<i>108</i>
<i>Grafica 4.14 Influencia de la adición de “CCA” en el incremento de agua en Hormigones.....</i>	<i>109</i>



## INDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<i>Tabla 2.1 clasificación de los cementos norma boliviana NB 011.....</i>	14
<i>Tabla 2.2 clasificación de los cementos norma boliviana NB 011.....</i>	14
<i>Tabla 2.3 Compuestos del cemento Pórtland.....</i>	18
<i>Tabla 2.4 Gradación de la arena.....</i>	30
<i>Tabla 2.5 Tolerancia para ensayos a compresión.....</i>	31
<i>Tabla 2.6 Requisitos que debe cumplir el agua.....</i>	34
<i>Tabla 2.7 límites de granulometría para la arena según la ASTM.....</i>	36
<i>Tabla 2.8 Requerimientos de granulometría del agregados grueso.....</i>	39
<i>Tabla 2.9 Incremento Aproximado Promedio de la Resistencia a la Compresión del Concreto con el Tiempo.....</i>	54
<i>Tabla 3.1: Pesos mínimos de las muestras.....</i>	57
<i>Tabla 3.2: Valores estandarizados en función del grado de confiabilidad.....</i>	60
<i>Tabla 3.3: Valores de la probabilidad de la población que no presenta las característica.....</i>	61
<i>Tabla 3.4 Numero de morteros de cemento Pórtland puro (patrón) con y sin adición.....</i>	62
<i>Tabla 3.5 Numero de morteros de cemento Pórtland IP 30 con y sin adición.....</i>	62
<i>Tabla 3.6 Numero de probetas de Hormigón.....</i>	64
<i>Tabla 3.7distribucion “t” de Student (Grado de confiabilidad 95%).....</i>	70
<i>Tabla 4.1 Análisis granulométrico agregado grueso.....</i>	76
<i>Tabla 4.2 Análisis granulométrica agregado fino.....</i>	77
<i>Tabla 4.3 Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz.....</i>	78
<i>Tabla 4.4 Pesos específicos.....</i>	80
<i>Tabla 4.5 Determinación de la superficie especifica Blaine.....</i>	81
<i>Tabla 4.6 Determinación retenido malla #325.....</i>	82
<i>Tabla 4.7 Determinación de la consistencia normal.....</i>	83
<i>Tabla 4.8 Determinación del tiempo de fraguado inicial y final.....</i>	83

	<b>Página</b>
<i>Tabla 4.9 Determinación de la expansión Autoclave.....</i>	84.
<i>Tabla 4.10 Gradación de la arena.....</i>	86
<i>Tabla 4.11 Resistencias Cemento Patrón fluidez 110 ± 5.....</i>	88
<i>Tabla 4.12 Resistencias Cemento IP 30 fluidez 110 ± 5.....</i>	89
<i>Tabla 4.13 Curvas de evolución Cemento Patrón fluidez 120± 5.....</i>	90
<i>Tabla 4.14 Curva de evolución Cemento Patrón fluidez 120± 5(comprobaciones).....</i>	91
<i>Tabla 4.15 Incremento de agua por % de adición.....</i>	92
<i>Tabla 4.16 Características de los agregados.....</i>	93
<i>Tabla 4.17 Características del Diseño.....</i>	94
<i>Tabla 4.18 Datos de Tablas.....</i>	94
<i>Tabla 4.19. Dosificación Patrón Materiales Secos.....</i>	95
<i>Tabla 4.20. Dosificación Patrón Materiales Húmedos.....</i>	96
<i>Tabla 4.21. Dosificación con 15% de "CCA" Materiales Húmedos.....</i>	86
<i>Tabla 4.22. Dosificación con 20% de "CCA" Materiales Húmedos.....</i>	97
<i>Tabla 4.23. Dosificación con 25% de "CCA" Materiales Húmedos.....</i>	97
<i>Tabla 4.24 Resistencias del hormigón con % de adición de "CCA".....</i>	101
<i>Tabla 4.25 Índice de actividad puzolánica con % de adición de "CCA".....</i>	103
<i>Tabla 4.26 Pesos específicos del hormigón.....</i>	105
<i>Tabla 4.27 Tiempos de fraguado inicial y final.....</i>	106
<i>Tabla 4.28 Expansión de los cemento con adición de "CCA".....</i>	108
<i>Tabla 4.29 Incremento de agua de acuerdo al % de adición.....</i>	109
<i>Tabla 4.30. Analisis de Precios: Obtencion de "CCA".....</i>	110
<i>Tabla 4.31. Análisis Precios para Hormigón con Adición de "CCA".....</i>	111
<i>Tabla 4.32. Análisis Precios para Hormigón Convencional sin "CCA".....</i>	111

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
I.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
I.2.- ANTECEDENTES.....	2
I.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
I.4.- HIPÓTESIS.....	4
I.5.- OBJETIVOS.....	5
I.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
I.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
I.6.- JUSTIFICACIÓN.....	8
I.7.- ALCANCE .....	9

## CAP II MARCO TEÓRICO

	<b>Página</b>
II.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN.....	12
II.2.- MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN.....	12
II.2.1.-CEMENTO.....	12
II.2.1.1.- FABRICACIÓN DEL CEMENTO.....	15
II.2.1.1.1-. MATERIAS PRIMAS.....	16
La Cal:.....	16
La Sílice:.....	17
Alúmina:.....	17
Óxido de Hierro:.....	17
II.2.1.2. -COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO.....	18
II.2.1.2.1 COMPONENTES INDESEABLES EN EL CEMENTO.....	19
a) Óxido cálcico libre, CaO.....	19
b) Óxido magnésico, MgO.....	19
c) Trióxido de azufre SO <sub>3</sub> .....	19

	<b>Página</b>
d) Pérdida al fuego.....	20
e) Residuo insoluble.....	20
f) Álcalis.....	20
II.2.1.3.- Cemento Portland TIPO I.....	20
II.2.1.3.1.- Características del Cemento Pórtland.....	20
II.2.1.3.2.- - Clasificación del Cemento Pórtland .....	21
II.2.1.3.3.- Fraguado y Endurecimiento.....	21
II.2.1.3.4.- Calor de Hidratación:.....	22
II.2.1.3.5.- Función del Yeso en el Cemento.....	22
II.2.1.3.6.- Almacenamiento del Cemento en obra.....	22
II.2.1.4 Pruebas de las propiedades del Cemento.....	23
II.2.1.4.1 Determinación del Peso Especifico.....	23
II.2.1.4.2 Determinación de la Superficie Especifica Blaine... ..	25
II.2.1.4.3 Consistencia de la Pasta Normal.....	25
II.2.1.4.4 Tiempo de Fraguado.....	26
II.2.1.4.4.1 Tiempo de Fraguado Inicial.....	26
II.2.1.4.4.2 Tiempo de Fraguado Final.....	27
II.2.1.4.5 Sanidad del Cemento .....	27
II.2.1.4.6 Determinación de la Resistencia a Compresión.....	30
Gradación de la Arena.....	30
II.2.1.4.7 Determinación de la Fluidez.....	31
II.2.2.- AGUA.....	33
II.2.2.1.- El agua en el Concreto.....	33
II.2.2.2.- Requisitos que Debe Cumplir.....	33
II.2.3.-AGREGADOS.....	34
II.2.3.1. Ubicación, Antecedentes y Descripción de la Cantera.....	34
II.2.3.1.1 Definición.....	35
II.2.3.1.2 Clasificación.....	35
II.2.3.2.- Agregado Fino.....	35
II.2.3.2.1 Definición.....	35

	<b>Página</b>
II.2.3.2.2 Requisitos de Uso.....	36
II.2.3.2.3 Granulometría (límites según la ASTM).....	36
II.2.3.3 Agregados Gruesos.....	37
II.2.3.3.1 Definición.....	37
II.2.3.3.2 Clasificación.....	37
GRAVAS.....	37
PIEDRA PARTIDA O CHANCADA:.....	38
II.2.3.3.3.- Requisitos de Uso.....	38
II.2.3.3.4.- Granulometría (límites según la ASTM).....	38
II.2.3.4.-Características de los Agregados.....	40
II.2.3.4.1.-Modulo de Fineza (MF).....	40
II.2.3.4.2 Tamaño Máximo del Agregado Grueso (TM).....	40
II.2.3.4.3Tamaño Máximo Nominal (TMN).....	41
II.2.3.4.4 Humedad Natural.....	41
II.2.3.4.5 Porcentaje de Absorción.....	41
II.2.3.4.6 Humedad Superficial.....	42
II.3.- MATERIALES PUZOLANICOS.....	42
II.3.1.- GENERALIDADES.....	42
II.3.2.- TIPOS DE PUZOLANAS.....	43
II.3.3.-PUZOLANAS NATURALES.....	43
II.3.3.1 Cenizas volcánicas:.....	43
II.3.3.2 Tufos o tobas volcánicas (zeolitas):.....	43
II.3.3.3 Tierras de diatomeas (diatomitas):.....	43
II.3.3.4 Cenizas Volcánicas.....	44
II.3.4.-TIPOS DE PUZOLANAS ARTIFICIALES.....	45
II.3.4.1 Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante):.....	45
II.3.4.2 Escoria de Alto Horno Granulada Molida:.....	46
II.3.4.3 Ceniza De Cáscara De Arroz:.....	47
II.3.4.3.1 Características de la Cáscara de arroz y de la Ceniza de la Cáscara de Arroz.....	49

	<b>Página</b>
II.3.4.4 Cenizas de Caña De Azúcar:.....	49
II.3.4.5 Sílice Condensada:.....	49
II.3.4.6 Sílice Geotérmica:.....	49
II.3.4.7 Arcillas Termo-Activadas:.....	49
II.3.5.-CLASIFICACION DE LAS PUZOLANAS SEGÚN LA NORMA ASTM C 618.....	50
Clase N.....	50
Clase F.....	50
Clase C.....	50
II.3.6.-PROPIEDADES DE LA PUZOLANA.....	50
II.3.7.- LA REACCIÓN PUZOLÁNICA.....	51
II.3.7.1- EFECTOS DE LAS PUZOLANAS EN EL HORMIGÓN.....	51
a). Resistencia Mecánica a la Compresión:.....	51
b). Permeabilidad:.....	51
C. Tendencia a la Fisuración:.....	51
II.4.-CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	49
II.4.1.-Resistencia a Compresión y Característica del Hormigón.....	52
➤ Influencia de la Edad del Concreto.....	54

### **CAPITULOIII: ASPECTOS METODOLOGICOS**

	<b>Página</b>
III.1.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	55
III.2. OBJETO DE ESTUDIO.....	55
III.3. VARIABLES.....	56
III.4. HIPÓTESIS.....	56
III.5.MUESTREO DE LOS MATERIALES.....	57
III.5.1 AGREGADOS.....	57
III.5.2 CASCARILLA DE ARROZ.....	58
III.5.3.MORTEROS.....	60
III.5.3.1 Determinación del contenido optimo de agua.....	63

	<b>Página</b>
III.5.4 HORMIGONES.....	63
III.6. ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO.....	64
III.6.1 CEMENTO .....	65
III.6.1.1 Análisis Químicos del Cemento, con y sin la Adición .....	65
III.6.1.2 Análisis Físicos del Cemento con y sin Adición.....	65
III.6.2 AGUA .....	66
III.6.3 AGREGADOS .....	66
III.6.4 CONCRETO.....	66
III.7 TEORIA ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS .....	67
III.7.1 CÁLCULO DEL ERROR EXPERIMENTAL PROMEDIO.....	67
III.7.2 DITRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES.....	68
III.7.3 DEFINICIÓN DE RESISTENCIA MEDIA Y RESISTENCIA CARACTERÍSTICA .....	69

#### **CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA METODOLÓGIA**

	<b>Página</b>
IV.1. FASE I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	71
IV.1.1 CEMENTO.....	71
IV.1.2. CASCARRILLA DE ARROZ.....	71
IV.1.3 AGREGADOS.....	71
IV.2. FASE II: PROCESAMIENTO DE LA CASCARILLA.....	72
IV.3. FASE III: ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS.....	75
IV.3.1.- Análisis granulométrico para agregado grueso.....	76
IV.3.2.- <i>Análisis granulométrico para agregado fino</i> .....	77
IV.4. FASE IV: ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS CEMENTOS Y LA ADICION DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ.....	78
IV.4.1. ANALISIS QUIMICO .....	78
IV.4.1.1 ANALISIS QUIMICO DE LA “CCA”.....	78
IV.4.2. ANALISIS FISICOS.....	80

	<b>Página</b>
IV.4.2.1 Determinación del Peso Especifico.....	80
IV.4.2.2 Determinación de la Superficie Especifica Blaine .....	81
IV.4.2.3 Determinación Retenido malla N° 325.....	82
IV.4.2.4 Determinación Consistencia Normal.....	83
IV.4.2.5 Determinación Del tiempo de fraguado.....	83
IV.4.2.6 Determinación de la estabilidad del volumen AUTOCLAVE.....	84
IV.4.2.7 Gradación de la arena.....	85
IV.4.2.8 Determinación de la resistencia en cementos.....	86
IV.4.2.8.1 Resistencia a compresión en cementos con fluidez $110 \pm 5$ .....	87
IV.4.2.8.1.1 Resistencia a compresión cemento Patrón, con y sin adición .....	88
IV.4.2.8.1.2 Resistencia a compresión cemento Pórtlan IP 30 con y sin adición .....	89
IV.4.2.8.2 Resistencia a compresión Cemento Patrón, con y sin adición fluidez $120 \pm 5$ .....	90
IV.4.2.8.2.1 Resistencia a compresión Cemento Patrón, con y sin adición fluidez $120 \pm 5$ (comprobaciones del 15 %).....	91
IV.4.2.8.2.2. Determinación del Incremento de Agua.....	92
IV.5 FASE V: DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.....	93
IV.5.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN.....	93
IV.5.2 DOSIFICACION MEZCLA PATRÓN CON ADICIÓN.....	96
IV.5.2.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRON CON 15% DE ADICIÓN “CCA”.....	96
IV.5.2.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRON CON 20% DE ADICIÓN “CCA”.....	97
IV.5.2.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRON CON 25% DE ADICIÓN “CCA”.....	97
IV.6 FASE VI: ELABORACION Y CURADO DE HORMIGONES.....	98



	<b>Página</b>
IV.6.1 ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE HORMIGÓN.....	98
IV.6.2. CURADO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN.....	99
IV.6.3. ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	99
IV.7 FASE VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	100
IV.7.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESIÓN .....	100
IV.7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS .....	101
IV.7.2.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE HORMIGONES CON ADICIÓN DE “CCA”.....	101
IV.7.3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES SOMETIDOS A COMPRESIÓN.....	103
IV.7.3 .1 Índice de actividad puzolanica.....	103
IV.7.3.2 Análisis pesos específicos del hormigón (cemento patrón)...	105
IV.7.3.3 Influencia en el tiempo de fraguado .....	106
IV.7.3.4 Influencia en la expansión.....	108
IV.7.3.5 Influencia en el incremento de agua.....	109
IV.8. CAMPO DE APLICACIÓN.....	110

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
V.1 CONCLUSIONES.....	112
V.2 RECOMENDACIONES.....	114
BIBLIOGRAFIA.....	115