

UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



**"ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE
AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA
PAVIMENTO RIGIDO"**

UNIV. JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA

DICEMBRE 2010

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**"ANALISIS DE LA INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CAÑA DE
AZÚCAR EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PARA
PAVIMENTO RIGIDO"**

UNIV. JIMENA CAROLINA JURADO AGUILERA

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA

CIV - 502

DICIEMBRE 2010

TARIJA – BOLIVIA

HOJA DE EVALUACION

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE LA COMUNICACIÓN

GESTION 2010

EVALUACION CONTINUA:

FECHA DE PRESENTACION:

CALIFICACION: NUMERAL :

LITERAL:

DOCENTE CIV - 502:

EVALUACION FINAL:

FECHA DE PRESENTACION:

CALIFICACION: NUMERAL:

LITERAL:

Tribunal 1:

.....

Ing. Fernando Mur L.

Tribunal 2:

.....

Ing. Moisés Díaz A.

Tribunal 3:

.....

Ing. Juan Gonzales

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

AGRADECIMIENTO:

A Dios: Por el don de la vida y la humildad.

A mis Padres: Ariel Jurado S. y Asunta Aguilera A., por haberme enseñado que la vida está llena de retos que debemos superar día a día sin importar el sacrificio que se debamos hacer en busca de un mañana mejor.

A mis Amigos: Por la amistad desinteresada y los sabios consejos recibidos en los buenos y malos momentos de este recorrido.

A los Docentes: Por haber sido fuente de enseñanza y guías de formación académica, para lograr el desenvolvimiento personal dentro de la sociedad a la cual serviré.

A todas las personas que me apoyaron, gracias por su confianza.

PENSAMIENTO:

"No te olvides de lo que eres en ningún momento de la vida; porque cuando lo agás, perderás tu libertad y te volverás esclavo de aquello que te rodea".

Autor: Anónimo.

ÍNDICE

Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPITULO I GENERALIDADES

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. Conceptos Básicos.....	2
1.1.2. Justificación.....	6
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.2.1. Objetivo General.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. ALCANCE.....	7

CAPITULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES.....	9
2.2. FUNCIONES DE LOS COMPONENTES.....	10
2.2.1. Funciones de la Pasta.....	10
2.2.2. Funciones de los Agregados.....	10
2.3. VENTAJAS DEL CONCRETO	10
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	11
2.4.1. Concreto Fresco.....	11
2.4.2. Concreto Endurecido.....	12
2.4.2.1. Resistencia.....	12
2.4.2.2. Durabilidad.....	12
2.4.2.3. Densidad.....	13
2.4.2.4. Acabado.....	13
2.5. ELABORACIÓN DEL CONCRETO.	14
2.6. CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO	14

	Página
2.6.1. Por Consistencia.....	14
2.6.2. Por Resistencia.....	14
2.6.3. Por Peso Unitario.....	16
2.7. CEMENTO PORTLAND.....	17
2.7.1. Materias Primas y Fabricación.....	17
2.7.2. Composición Química del Cemento.....	21
2.7.3. Tipos de Cemento.....	22
2.7.4. Propiedades del Cemento Portland.....	22
2.7.4.1. Hidratación y Calor de Hidratación.....	22
2.7.4.2. Peso Específico.....	23
2.7.4.3. Superficie Especifica o Finura.....	23
2.7.4.4. Consistencia Normal.....	24
2.7.4.5. Tiempo de Fraguado.....	25
2.7.4.6. Estabilidad de Volumen de Sanidad.....	26
2.7.4.7. Resistencia.....	26
2.7.5. Almacenamiento del Cemento en Obra.....	27
2.7.6. Calidad del Cemento.....	28
2.8. EL AGUA.....	29
2.8.1. El Agua en el Concreto.....	29
2.8.2. Función y Característica del Agua de Mezclado.....	30
2.8.3. Función y Característica del Agua de Curado.....	30
2.9. AGREGADOS.....	31
2.9.1. Agregado Fino.....	32
2.9.1.1. Requisitos de Uso.....	32
2.9.1.2. Granulometría (Límites Según la Norma ASTM).....	32
2.9.2. Agregado Grueso.....	33
2.9.2.1. Clasificación.....	33
2.9.2.2. Requisitos de Uso.....	34
2.9.2.3. Granulometría (Límites Según la Norma ASTM).....	35
2.9.3. Características de los Agregados.....	36
2.9.3.1. Modulo de Finura (M.F.).....	36
2.9.3.2. Tamaño Máximo (T.M.).....	36
2.9.3.3. Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.).....	37

	Página
2.9.3.4. Forma y Textura Superficial.....	37
2.9.3.5. Densidad.....	39
2.9.3.6. Porosidad.....	39
2.9.3.7. Absorción y Humedad de la Superficie.....	39
2.9.3.8. Peso Unitario (P.U.).....	40
2.9.3.9. Resistencia a la Abrasión.....	41
3.2.2.6. Equivalente de Arena.....	42
2.9.3.11 Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas.....	43
2.9.3.12. Forma y Caras de Fractura.....	44
2.10. ADICIONES.....	44
2.10.1. Clases de Adiciones.....	45
2.10.1.1. Materiales Naturales.....	45
2.10.1.2. Materiales de Subproductos.....	46
2.10.1.2.1. Cenizas Volantes.....	46
2.10.1.2.2. Escorias Molidas de Alto Horno.....	46
2.10.1.2.3. Humo de Sílice.....	47
2.10.1.2.4. Cenizas de Residuos Agrícolas.....	47

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA DE CONCRETO

3.1. EQUIPOS.....	53
3.1.1. Descripción de Equipos Utilizados.....	53
3.2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	54
3.2.1. Cemento el Puente IP- 40.....	54
3.2.2. Agregado Fino.....	55
3.2.2.1. Tamaño Máximo.....	55
3.2.2.2. Porcentaje de Finos.....	55
3.2.3.7. Granulometría y Modulo de Fineza.....	56
3.2.3.8. Densidad Real, Densidad Neta y Absorción.....	57
3.2.2.5. Densidad Aparente Suelta y Compacta.....	58
3.2.2.6. Equivalente de Arena.....	59
3.2.3. Agregado Grueso.....	60

	Página
3.2.3.1. Tamaño Máximo (T.M.).....	60
3.2.3.2. Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.).....	60
3.2.3.3. Porcentaje de Finos.....	61
3.2.3.4. Granulometría y Modulo de Finura.....	61
3.2.3.5. Densidad Real, Densidad Neta y Absorción.....	63
3.2.3.6. Densidad Aparente Suelta y Compacta.....	63
3.2.3.7. Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas.....	64
3.2.3.8. Resistencia a la Abrasión.....	65
3.2.4. Ceniza de Caña de Azúcar.....	66
3.2.4.1. Tamaño Máximo.....	67
3.2.4.2. Porcentaje de Finos.....	67
3.2.4.3. Granulometría y Modulo de Fineza.....	68
3.2.4.4. Densidad Real, Densidad Neta d Absorción.....	70
3.2.4.5. Densidad Aparente Suelta y Compacta.....	70
3.2.4.6. Contenido de Materia Orgánica.....	71
3.2.4.7. Composición Mineralógica.....	72
3.2.5. Características del Agua de Mezclado.....	74

CAPITULO IV
CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DE LA
MEZCLA DE CONCRETO

4.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LA MEZCLA.....	75
4.1.1. Fundamento del Método ACI-211.....	75
4.1.2. Selección del Asentamiento.....	76
4.1.3. Selección del T.M. del Agregado Grueso.....	78
4.1.4. Estimación del Contenido de Aire.....	79
4.1.5. Estimación del Contenido del Agua del Mezclado.....	79
4.1.6. Determinación de la Resistencia de Diseño.....	81
4.1.7. Selección de la Relación Agua/Cemento.....	81
4.1.8. Calculo del Contenido de Cemento.....	83
4.1.9. Estimación de las Proporciones de Agregados.....	83
4.1.9.1. Estimación del Contenido de Agregado Grueso.....	85
4.1.9.2. Estimación del Contenido de Agregado Fino.....	86

	Página
4.1.10. Ajustes por Humedad de los Agregados.....	86
4.1.11. Ajuste de la Mezcla de Prueba.....	86
4.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	88
4.2.1. Concreto Patrón.....	89
4.2.2. Concreto con 2% de Ceniza del peso cementante.....	89
4.2.3. Concreto con 4% de Ceniza del peso cementante.....	90
4.2.4. Concreto con 6% de Ceniza del peso cementante.....	90
4.2.5. Concreto con 15% de Ceniza del peso cementante.....	90
4.3. ELABORACIÓN, CURADO Y ROTURA DE PROBETAS Y VIGAS DE CONCRETO.....	91
4.3.1. Elaboración de Probetas y Vigas de Prueba.....	91
4.3.1.1. Preparación de los Materiales.....	91
4.3.1.2. Pesaje de los Materiales.....	92
4.3.1.3. Mezclado del Concreto.....	92
4.3.1.4. Consistencia del Concreto.....	93
4.3.1.5. Contenido de Aire en el Concreto.....	94
4.3.1.6. Características del Concreto Fresco.....	94
4.3.1.7. Número de Probetas y Vigas de Prueba.....	98
4.3.1.8. Probetas para el Ensayo de Compresión.....	98
4.3.1.9. Vigas para el Ensayo de Flexo-tracción.....	100
4.3.2. Curado de Probetas y Vigas de Prueba.....	102
4.3.3. Ensayos de Rotura.....	103
4.3.3.1. Rotura de Probetas a Compresión.....	103
4.3.3.2. Rotura de Vigas a Flexo-tracción.....	105
4.3.4. Diagramas de Barras.....	107

CAPITULO V

ANÁLISIS Y COMPARATIVO DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS METODOLÓGICO Y COMPARATIVO.....	112
5.2 CONTROL ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.....	113
5.2.1 Medidas Descriptivas.....	113
5.2.1.1 Muestra.....	113
5.2.1.2 Media Aritmética (\bar{x}).....	113

	Página
5.2.1.3	Desviación Estándar (s)..... 113
5.2.1.4	Varianza ($v(x)$)..... 113
5.2.1.5	Coefficiente de Variación (cv)..... 114
5.2.2	Ajuste de Curvas y el Método de Mínimos Cuadrados..... 114
5.2.2.1	Relación entre Variables..... 114
5.2.2.2	Ajuste de Curvas..... 114
5.2.2.3	Ecuaciones de Curvas Aproximantes..... 115
5.2.2.4	Método de los Mínimos Cuadrados..... 115
5.2.2.5	Coefficiente de Correlación (r)..... 117
5.2.2.6	Coefficiente de Determinación (r^2)..... 117
5.3	PLANTEAMIENTO DE CURVAS, ÁBACOS Y PLANILLAS..... 117
5.3.1	Determinación de Ábacos de Resistencia a Compresión y Flexo-tracción vs. Edad del Concreto..... 117
5.4.	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE ANÁLISIS..... 122
5.4.1.	Características Generales de los Componentes del Concreto..... 122
5.4.2.	Ceniza de Caña de Azúcar (Adición Mineral)..... 122
5.4.3.	Diferencia entre los Resultados Obtenidos y los Resultados Esperados..... 125
5.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO..... 127
5.6.	VALORACIÓN DEL ANÁLISIS METODOLÓGICO Y COMPARATIVO..... 129

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones..... 130
6.2.	Recomendaciones..... 135
6.3..	Bibliografía..... 137

ANEXOS

- Anexo I: Caracterización de Materiales.
- Anexo II: Dosificación Método ACI-211
- Anexo III: Ceniza de Caña de Azúcar (Informes Químicos).

- Anexo IV: Datos y Cálculos de Resistencias a Compresión y Flexo-tracción.
- Anexo V: Correlación de datos para el ajuste de Curvas mediante el Método de Mínimos Cuadrados.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Factores y Procesos en la Elaboración de un buen Concreto.....	13
Tabla 2.2. Clasificación del Concreto por su Consistencia.....	14
Tabla 2.3. Clasificación del Concreto por su Resistencia a Compresión NB- 011...	15
Tabla 2.4. Clasificación Resistencia a Compresión “General o Internacional”.....	15
Tabla 2.5. Clasificación Resistencia a Compresión “S. N. C.”.....	15
Tabla 2.6. Clasificación Resistencia a Compresión “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción INN - NCH 170”.....	16
Tabla 2.7. Clasificación Resistencia a Flexión “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción INN - NCH 170”.....	16
Tabla 2.8. Clasificación del Concreto por su Peso Unitario.....	16
Tabla 2.9. Compuestos del Cemento Portland.....	21
Tabla 2.10. Cantidades Aproximadas de Calor Generado en los 7 primeros días....	23
Tabla 2.11. Métodos para Medir la Finura o Superficie Específica.....	24
Tabla 2.12. Especificaciones de Clasificación y Calidad del Cemento.....	28
Tabla 2.13. Especificaciones de Resistencia a Compresión.....	29
Tabla 2.14. Valores Máximos Recomendados de Concentraciones de Impurezas en el Agua de Mezclado.....	30
Tabla 2.15. Cantidad de Sustancias Perjudiciales Permisibles en el Agregado Fino.....	32
Tabla 2.16. Granulometría para Agregado Fino Norma ASTM C-33.....	33
Tabla 2.17. Cantidad de Sustancias Perjudiciales Permisibles en el Agregado Grueso.....	34
Tabla 2.18. Granulometría del Agregado Grueso.....	35
Tabla 3.1. Informe de Control de Calidad “Cemento el Puente IP-40”.....	54
Tabla 3.2. Granulometría del Agregado Fino.....	56
Tabla 3.3. Densidad y Absorción.....	58
Tabla 3.4. Densidad Aparente Suelta.....	59
Tabla 3.5. Densidad Aparente Compacta.....	59
Tabla 3.6: Equivalente de Arena.....	60
Tabla 3.7: Granulometría Agregado Grueso.....	62

	Página
Tabla 3.8. Densidad y Absorción.....	63
Tabla 3.9. Densidad Aparente Suelta.....	64
Tabla 3.10. Densidad Aparente Compacta.....	64
Tabla 3.11. Porcentaje de Partículas Planas.....	65
Tabla 3.12. Porcentaje de Partículas Alargadas.....	65
Tabla 3.13. Desgaste de los Ángeles.....	65
Tabla 3.14. Granulometría de la Ceniza de Caña de Azúcar.....	69
Tabla 3.15. Densidad y Absorción.....	70
Tabla 3.16. Densidad Aparente Suelta.....	71
Tabla 3.17. Densidad aparente compacta.....	71
Tabla 3.18. Porcentaje de Materia Orgánica.....	72
Tabla 3.19. Composición Mineralógica.....	73
Tabla 3.20. Pruebas Complementarias.....	74
Tabla 3.21. Características del Agua.....	74
Tabla 4.1. Procedimiento de Diseño ACI-211.....	76
Tabla 4.2. Asentamientos Recomendados para diversos tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación.....	77
Tabla 4.3. Tamaños Máximos de los Agregados Gruesos Según el Tipo de Construcción.....	78
Tabla 4.4. Cantidad Aproximada de Aire esperado en Concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado (a).....	79
Tabla 4.5 Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de forma angular y textura rugosa, en Concreto sin aire incluido.....	80
Tabla 4.6. Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad y la Relación Agua/Cemento para los Cementos Portland Tipo I, en Concretos sin aire incluido.....	82
Tabla 4.7. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto (b/bo).....	84
Tabla 4.8. Características del Concreto Patrón.....	94
Tabla 4.9. Características del Concreto con 2% de ceniza del peso cementante....	95
Tabla 4.10. Características del Concreto con 4% de ceniza del peso cementante..	96

	Página
Tabla 4.11. Características del Concreto con 6% de ceniza del peso cementante....	97
Tabla 4.12. Características del Concreto con 15% de ceniza del peso cementante.....	97
Tabla 5.1 Resumen de Coeficientes de Determinación (r^2) para Resistencias a Compresión.....	118
Tabla 5.2 Resumen de Coeficientes de Determinación (r^2) para Resistencias a Flexo-tracción.....	118
Tabla 5.3. Ecuaciones y curvas ajustadas para resistencias a compresión en probetas de concreto (ábaco N°1).....	120
Tabla 5.4. Ecuaciones y Curvas Ajustadas para Resistencias Flexo-tracción en Vigas de Concreto (ábaco N°2).....	121
Tabla 5.5. Margen de Resistencia a Compresión entre H° con 2% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	122
Tabla 5.6 Margen de Resistencia a Compresión entre H° con 4% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	123
Tabla 5.7. Margen de Resistencia a Compresión entre H° con 6% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	123
Tabla 5.8. Margen de Resistencia a Compresión entre H° con 15% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	123
Tabla 5.9. Resumen: Márgenes de Resistencia a Compresión.....	123
Tabla 5.10. Margen de Resistencia a Flexo-tracción entre H° con 2% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	124
Tabla 5.11. Margen de Resistencia a Flexo-tracción entre H° con 4% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	124
Tabla 5.12. Margen de Resistencia a Flexo-tracción entre H° con 6% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	124
Tabla 5.13. Margen de Resistencia a Flexo-tracción entre H° con 15% de ceniza en peso cementante y H° patrón.....	124
Tabla 5.14. Resumen: Márgenes de Resistencia a Flexo-tracción respecto al H° patrón... ..	125
Tabla 5.15. Análisis Económico.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Máquina de los Ángeles.....	42
Figura 2.2. Equivalente de Arena.....	43
Figura 2.3. Calibre para la Determinación del Índice de Lajas.....	43
Figura 2.4. Calibre para la Determinación del Índice de Alargadas.....	44
Figura 3.1. Planta de áridos” Viracocha”.....	55
Figura 3.2. Método de Lavado (agregado fino).....	55
Figura 3.3. Serie de Tamices (agregado fino).....	56
Figura 3.4. Árido Saturado Superficialmente Seco.....	58
Figura 3.5. Árido Saturado + Agua + Matraz.....	58
Figura 3.6. Densidad Aparente Suelta.....	59
Figura 3.7. Densidad Aparente Compacta.....	59
Figura 3.8. Planta de Áridos” Viracocha”.....	60
Figura 3.9. Método de Lavado (agregado grueso).....	61
Figura 3.10. Serie de Tamices (agregado grueso).....	61
Figura 3.11. Árido Saturado Superficialmente Seco.....	63
Figura 3.12. Árido Sumergido.....	63
Figura 3.13. Densidad Aparente Suelta.....	64
Figura 3.14. Densidad Aparente Compacta.....	64
Figura 3.15. Desgaste de los Ángeles.....	66
Figura 3.16. Muestra (antes y después del ensayo).....	66
Figura 3.17. Vista Satelital del Ingenio Azucarero de Bermejo (IABSA).....	67
Figura 3.18. Método de Lavado (ceniza).....	68
Figura 3.19. Granulometría de la Ceniza.....	68
Figura 3.20. Ceniza Saturada Superficialmente Seca.....	70
Figura 3.21. Ceniza Saturada + Agua + Matraz.....	70
Figura 3.22. Densidad Aparente Suelta y Compacta.....	71
Figura 3.23. Deposito de Ceniza de Caña de Azúcar.....	72
Figura 3.24. Equipo: Difractómetro de rayos x Philips modelo x’pert mpd pw 3040.....	73
Figura 4.1. Correspondencia entre la Resistencia a Compresión y la Relación A/C para los Cementos Portland Tipo I en Concretos sin aire incluido.....	82

	Pagina
Figura 4.2. Preparación de Áridos.....	91
Figura 4.3. Balanza para Pesaje de Materiales.....	92
Figura 4.4. Proceso de Mezclado.....	93
Figura 4.5. Ensayo de Asentamiento.....	93
Figura 4.6. Presurímetro de Vacíos.....	94
Figura 4.7. Forma y Dimensiones de la Probeta.....	99
Figura 4.8. Molde para Probeta Cilíndrica.....	99
Figura 4.9. Realización de Probetas.....	100
Figura 4.10. Forma y Dimensiones de la Viga.....	100
Figura 4.11. Molde para Viga.....	101
Figura 4.12. Realización de Vigas.....	102
Figura 4.13. Sala de curado de Muestras.....	103
Figura 4.14. Ensayo de Resistencia a Compresión Simple en Probetas.....	104
Figura 4.15. Ensayo de Flexo-tracción en Vigas.....	106
Figura 5.1 Aproximación Lineal.....	115
Figura 5.2 Aproximación no Lineal.....	115
Figura 5.3. Gráfica Base “Mínimos Cuadrados”.....	116