

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL MÓDULO DE RUPTURA
PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON
MATERIALES EN CONDICIONES LOCALES”**

POR:

GONZALO JEREZ CHAVARRÍA

Modalidad de graduación proyecto de grado presentada a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para
optar el grado académico de Ingeniería Civil

Gestión: 2014

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE

COMUNICACIÓN

**“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL
MÓDULO DE ELASTICIDAD Y EL MÓDULO DE RUPTURA
PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON
MATERIALES EN CONDICIONES LOCALES”**

POR:

GONZALO JEREZ CHAVARRÍA

Modalidad de graduación proyecto de grado presentada a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para
optar el grado académico de Ingeniería Civil

Gestión: 2014

TARIJA-BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Alvares Gonzales.
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M. Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez
VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Weimar A. Mejía Mogrovejo

.....
Ing. Fernando E. Mur Lagraba

.....
Ing. Richard E. Rivera Alzugaray

DEDICATORIA

A Dios y a la virgen María por haberme acompañado siempre, por ser mi luz y refugio a lo largo de mi camino, a mis padres Adrián Jerez y Ana Chavarría por brindarme su amor y apoyo y confiar en mí para alcanzar este logro, a mi madrina Cristina Gfeller por acompañarme y estar conmigo en todo este camino y por su confianza, a mis hermanos y amigos que estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la capacidad e inteligencia y la oportunidad de cumplir este logro, a la virgen María por su protección y compañía, a mis docentes por formarme académicamente y confiar en mi capacidad, a mi familia por su apoyo en especial a mis padres, a mi madrina por hacer que alcance este objetivo, y a mis amigos por estar conmigo en todo momento.

ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.2.1 Situación problemática.....	4
1.2.2 Determinación del problema.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objeto general.	
1.4.2 Objetivos específicos.	
1.5 Hipótesis.....	9
1.6 Variables.....	9
1.7 Alcance.....	10

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS RÍGIDOS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	11
2.1.1 Generalidades.....	11
2.1.2 Tipos de pavimentos rígidos.....	12
2.1.3 Juntas.....	19
2.1.3.1 Juntas en los pavimentos rígidos.....	19
2.1.3.2 Tipos de juntas.....	20

	Página
2.2 CONCRETO.....	27
2.2.1 Generalidades.....	27
2.2.2 Evolución de los Cambios de Estado del Concreto.....	29
2.2.3 Propiedades del Concreto.....	31
2.2.3.1 Propiedades del concreto fresco.....	31
2.2.3.2 Propiedades del concreto endurecido.....	34
2.3 CEMENTO.....	37
2.3.1 Generalidades.....	37
2.3.2 Cementos Hidráulicos.....	38
2.3.3 Principales características físicas de los cementos.....	39
2.3.4 Clasificación de los cementos en función del desarrollo de su resistencia....	40
2.4.- MATERIALES PÉTREOS UTILIZADOS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	41
2.4.1.- Características de los Agregados.....	42
2.4.1.1 Granulometría.....	42
2.4.1.2 Módulo de Finura.....	45
2.4.1.3 Forma y Textura Superficial de las Partículas.....	45
2.4.1.4 Masa Volumétrica (Masa Unitaria) y Vacíos.....	47
2.4.1.5 Masa Específica Relativa (Densidad Relativa, Gravedad Específica).....	47
2.4.1.6 Masa Específica (Densidad).....	48
2.5 AGUA PARA CONCRETO.....	48
2.5.1 Consideraciones Generales.....	48
2.6 HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS.....	50
2.6.1 Características del hormigón para pavimentos.....	50
2.6.2 Parámetros de durabilidad del concreto hidráulico para pavimentos.....	51
2.6.3 Propiedades del concreto para pavimento rígido.....	51
2.6.4 Calidad del concreto para pavimento rígido.....	52

	Página
2.7 MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO.....	52
2.7.1 Introducción.....	52
2.7.2 Módulo de Ruptura (Resistencia de Tensión por Flexión).....	53
2.7.3 Importancia del módulo de rotura en los pavimentos rígidos.....	57
2.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.....	58
2.8.1 Introducción.....	58
2.8.2 Módulo de Elasticidad (Ec).....	59

CAPÍTULO III INVESTIGACIÓN SOBRE LA CORRELACIÓN ENTRE EL EC Y MR

3.1 Unidad de muestreo.....	68
3.2 Medios.....	71
3.3 Metodología.....	73
Análisis granulométrico.....	74
Peso específico y % de absorción.....	74
Peso unitario.....	75
Elaboración de mezclas de concreto.....	76
Elaboración de especímenes cilindros.....	77
Elaboración de especímenes vigas.....	77
Ensayo de módulo de elasticidad.....	78
Ensayo de módulo de ruptura.....	79
3.3.1 Proceso metodológico.....	82
3.4 Resultados experimentales.....	83
3.4.1 Caracterización de los agregados.....	83
3.4.2 Determinación del módulo de elasticidad y el módulo de ruptura.....	89
3.5 Análisis estadístico.....	92
3.5.1 Análisis estadístico Banco 1.....	96
3.5.2 Análisis estadístico Banco 2.....	104
3.5.3 Análisis estadístico Banco 3.....	112

	Página
3.5.4 Análisis estadístico General.....	120
3.6. Resultados de los análisis estadísticos.....	131
3.7 Análisis de resultados.....	132

CAPÍTULO IV

4.1 Conclusiones.....	144
4.2 Recomendaciones.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. (a) Pavimento rígido.....	11
Fig. 1 a) Pavimento de concreto simple b) Pavimento de concreto simple Con dovelas, llamadas también pasadores.....	14
Fig. 2 Pavimento de concreto compactado.....	15
Fig. 3 a) Pavimento con refuerzo discontinuo distribuido no estructural. b) Pavimento con refuerzo continuo sin función estructural.....	16
Fig. 3 c) Pavimento de concreto con refuerzo estructural. d) Sección transversal de un pavimento de concreto con fibras de acero.....	17
Fig. 4 Pavimento Pretensado.....	18
Fig. 5. Pavimento Prefabricado.....	19
Fig. 6 a) Vista en planta del Pavimento de Concreto sin Juntas.....	20
Fig. 6 b) Vista de sección de losa en comportamiento alabeo.....	20
Fig. 7. A) Profundidad del Corte y Sellado de Juntas.....	21
Fig. 7 C) Junta Longitudinal de Construcción.....	21
Fig. 8 Junta Transversal de Contracción.....	22
Fig. 9. Junta Transversal de Expansión.....	23
Fig. 10: Junta Transversal de Construcción.....	23
Fig. 11. Juntas Especiales.....	24
Fig. 12. Sellos de Compresión Preformados.....	24
Fig. 13. Mecanismo de Transmisión de carga.....	25
Fig. 14 Mecanismo de Transmisión de carga.....	26
Fig. 15. Mecanismo de Transmisión de carga.....	26
Fig. (b) Hormigón para pavimento.....	27
Fig. 16. Distribución adecuada de los ingredientes en la masa de concreto.....	28
Fig. 17. Variación de las proporciones de los materiales usados en el concreto sin aire incluido.....	29
Fig. 18. Curva de evolución del fraguado del concreto.....	30

	Página
Fig. 19. Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto.....	33
Fig. 20. Cilindro de concreto sometido a compresión.....	35
Fig. (c) Ensayo de una viga a Flexión.....	52
Fig. 21. Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto.....	54
Fig. (d) Modulo de elasticidad.....	58
Fig. 22. Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico.....	59
Fig. 23. Representación gráfica característica de la correlación entre esfuerzos y deformaciones del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga.....	60
Fig. 24. Gráficas esfuerzos - deformaciones de los agregados, la pasta de cemento y el concreto, determinadas individualmente.....	61
Fig. 25. Declinación de la curva esfuerzo – deformación unitaria del concreto conforme evoluciona el crecimiento de grietas.....	62
Fig. 26. Criterio para definir el Módulo de Elasticidad Estático a compresión del concreto (ASTM C 469).....	63
Fig. 27. Grafica esfuerzo deformación unitaria, completas, para concretos de diferentes resistencias a compresión.....	65
Fig. 28. Comparación de expresiones propuestas para estimar el Módulo de Elasticidad del concreto en función de su resistencia a compresión.....	67
Fig. 29. Agregados (grueso y fino) en condiciones locales.....	68
Fig. 30. Moldeado de especímenes.....	70
Fig. 31 (A) Cuarteado del material, (B) Granulometría de la grava.....	74
Fig. 32 (A) PU. Enrazado de Arena, (B) PU. Enrazado de Grava.....	75
Fig. 33 (A) Proporciones de mezcla, (B) mezcladora giratoria eléctrica.....	76
Fig. 34 Determinación de la consistencia del hormigón.....	76
Fig. 35 Compactado de la mezcla de hormigón en molde cilíndrico.....	77
Fig. 36 Compactado de la mezcla de hormigón en molde rectangular.....	77

	Página
Fig. 37 (A) Fraguado del Hormigón “especímenes cilindros y vigas”.....	78
Fig. 38 Ensayo a compresión.....	78
Fig. 39 Ensayo de Módulo de Elasticidad.....	79
Fig. 40 Ensayos a flexión con carga a los dos tercios.....	80
Fig. 41 Ensayos a flexión con carga a los dos tercios.....	81
Fig. 42 Granulometría AG Banco 1.....	83
Fig. 43 Granulometría AF Banco 1.....	84
Fig. 44 Granulometría AG Banco 2.....	85
Fig. 45 Granulometría AF Banco 2.....	86
Fig. 46 Granulometría AG Banco 3.....	87
Fig. 47 Granulometría AF Banco 3.....	88
Fig. 48. Carta de control de calidad para Ec “Banco 1”.....	96
Fig. 49. Carta de control de calidad para MR “Banco 1”.....	97
Fig. 50. Análisis del Diagrama de dispersión “Banco 1”.....	99
Fig. 51. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec - MR) “Banco 1”.....	99
Fig. 52. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec-MR, Línea Recta y la Media de Ec) “Banco 1”	101
Fig. 53. Correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para concretos elaborados con agregados provenientes de San Luis “Banco 1” para MR=35, 40 y 45 kg/cm ²	103
Fig. 54. Carta de control de calidad para Ec “Banco 2”.....	104
Fig. 55. Carta de control de calidad para MR “Banco 2”	105
Fig. 56. Análisis del Diagrama de dispersión “Banco 2”	107
Fig. 57. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec - MR “Banco 2”.....	107
Fig. 58. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec-MR, Línea Recta y la Media de Ec) “Banco 2”	109

	Página
Fig. 59. Correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para concretos elaborados con agregados provenientes de San Blas “Banco 2”. Para MR=35, 40 y 45 kg/cm ²	111
Fig. 60. Carta de control de calidad para Ec “Banco 3”	112
Fig. 61. Carta de control de calidad para MR “Banco 3”	113
Fig. 62. Análisis del Diagrama de dispersión “Banco 3”	115
Fig. 63. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec - MR) “Banco 3”	115
Fig. 64. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec-MR, Línea Recta y la Media de Ec) “Banco 3”.....	117
Fig. 65. Correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para concretos elaborados con agregados provenientes de La Victoria y Santa Ana “Banco 3”. Para MR=35, 40 y 45 kg/cm ²	119
Fig. 66. Análisis del Diagrama de dispersión “Banco 1-2-3”	122
Fig. 67. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec - MR) “Banco 1-2- 3”.....	123
Fig. 68. Diagrama de dispersión (Representación gráfica de Ec-MR, Línea Recta y la Media de Ec) “Banco 1-2-3”.....	127
Fig. 69. Correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para concretos elaborados con agregados provenientes de San Luis, San Blas, La Victoria y Santa Ana. Para MR=35, 40 y 45 kg/cm ²	130
Fig. 70. Comparación de granulometrías del AG (Bancos 1-2-3).	132
Fig. 71. Comparación de granulometrías del AF (Bancos 1-2-3).....	133
Fig. 72. Partes de la carta de control de datos.....	137
Fig. 73. Diagrama de dispersión. Banco 1.....	140
Fig. 74. Diagrama de dispersión. Banco 2.....	141
Fig. 75. Diagrama de dispersión. Banco 3.....	141
Fig. 76. Diagrama de dispersión. General.....	142

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Peso promedio observado en concretos frescos.....	37
Cuadro 2. Normas para los cementos hidráulicos.....	40
Cuadro. 3 Procedimiento de diseño ACI-211.....	
Cuadro 4. Procedencias de materiales.....	68
Cuadro 5. Muestra de N° de especímenes.....	69
Cuadro 6. Caracterización Agregado Grueso Banco 1.	83
Cuadro 7. Caracterización Agregado Fino Banco 1.....	84
Cuadro 8. Caracterización Agregado Grueso Banco 2.	85
Cuadro 9. Caracterización Agregado Fino Banco 2.....	86
Cuadro 10. Caracterización Agregado Grueso Banco 3.....	87
Cuadro 11. Caracterización Agregado Fino Banco 3.....	88
Cuadro 12. Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura de concretos elaborados con agregados provenientes de San Luis “Banco 1”.....	89
Cuadro 13. Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura de concretos elaborados con agregados provenientes de San Blas “Banco 2”.....	90
Cuadro 14. Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura de concretos elaborados con agregados provenientes de La Victoria y Santa Ana “Banco 3”.	91
Cuadro 15. Parámetros para el control de calidad para Ec “Banco 1”.....	96
Cuadro 16. Parámetros para el control de calidad para MR “Banco 1”.....	97
Cuadro 17. Cálculo de la Desviación Estándar y la Media de Ec - MR “Banco 1”.....	98
Cuadro 18. Cálculo de la Ecuación de Regresión Lineal para Ec - MR “Banco 1”.....	100
Cuadro 19. Cálculo del Coeficiente de Determinación para Ec - MR “Banco 1”.....	101

	Página
Cuadro 20. Cálculo de la Correlación entre el Módulo de Elasticidad Ec y el Módulo de Ruptura y MR “Banco 1”	102
Cuadro 21. Parámetros para el control de calidad para Ec “Banco 2”	104
Cuadro 22. Parámetros para el control de calidad para MR “Banco 2”	105
Cuadro 23. Cálculo de la Desviación Estándar y la Media de Ec - MR “Banco 2”	106
Cuadro 24. Cálculo de la Ecuación de Regresión Lineal para Ec - MR “Banco 2”	108
Cuadro 25. Cálculo del Coeficiente de Determinación para Ec - MR “Banco 2”	109
Cuadro 26. Cálculo de la Correlación entre el Módulo de Elasticidad Ec y el Módulo de Ruptura y MR “Banco 2”	110
Cuadro 27. Parámetros para el control de calidad para Ec “Banco 3”	112
Cuadro 28. Parámetros para el control de calidad para MR “Banco 3”	113
Cuadro 29. Cálculo de la Desviación Estándar y la Media de Ec - MR “Banco 3”	114
Cuadro 30. Cálculo de la Ecuación de Regresión Lineal para Ec - MR “Banco 3”	116
Cuadro 31. Cálculo del Coeficiente de Determinación para Ec - MR “Banco 3”	117
Cuadro 32. Cálculo de la Correlación entre el Módulo de Elasticidad Ec y el Módulo de Ruptura y MR “Banco 3”	118
Cuadro 33. Cálculo de la Desviación Estándar y la Media de Ec - MR “Banco 1-2-3”	120
Cuadro 34. Cálculo de la Ecuación de Regresión Lineal para Ec - MR “Banco 1-2-3”	124
Cuadro 35. Cálculo del Coeficiente de Determinación para Ec - MR “Banco 1-2-3”	126
Cuadro 36. Cálculo de la Correlación entre el Módulo de Elasticidad Ec y el Módulo de Ruptura y MR “Banco 1-2-3”	128

	Página
Cuadro 37. Ecuación determinada de concretos elaborados con agregados provenientes de San Luis-Dpto. de Tarija. Aplicables entre MR=35 kg/cm ² , 40 kg/cm ² y 45 kg/cm ²	131
Cuadro 38. Ecuación determinada de concretos elaborados con agregados provenientes de San Blas-Dpto. de Tarija. Aplicables entre MR=35 kg/cm ² , 40 kg/cm ² y 45 kg/cm ²	131
Cuadro 39. Ecuación determinada de concretos elaborados con agregados provenientes de La Victoria (AG) y Santa Ana (AF)-Dpto. de Tarija. Aplicables entre MR=35 kg/cm ² , 40 kg/cm ² y 45 kg/cm ²	131
Cuadro 40. Ecuación determinada de concretos elaborados con agregados provenientes de San Luis, San Blas, La Victoria y Santa Ana-Dpto. de Tarija. Aplicables entre MR=35 kg/cm ² , 40 kg/cm ² y 45 kg/cm ²	131
Cuadro 41. Comparación de %PTAG de los Bancos 1-2-3.	132
Cuadro 42. Comparación de %PTAF de los Bancos 1-2-3.....	133
Cuadro 43. Comparación de resultados de caracterización (Bancos 1-2-3).....	134
Cuadro 44. Comparación de MR (kg/cm ²) en promedios (Bancos 1-2-3).....	135
Cuadro 45. Comparación de f'c (kg/cm ²) en promedios (Bancos 1-2-3).....	136
Cuadro 46. Comparación de Ec (kg/cm ²) en promedios (Bancos 1-2-3).....	136
Cuadro 47. Comparación de MR, f'c y Ec (kg/cm ²) en promedios (Bancos 1-2-3).....	136
Cuadro 48. Límites de control de datos para Ec (Bancos 1-2-3).....	138
Cuadro 49. Límites de control para MR (Bancos 1-2-3).....	138
Cuadro 50. MR y Ec (kg/cm ²) promedios de cada tipo de ensayo en general.....	139
Cuadro 51. Comparación de resultados del análisis estadístico (Banco 1-2-3).....	140
Cuadro 52. Módulos de Elasticidad para MR=35, 40 y 45 kg/cm ² , calculados a partir de las ecuaciones determinadas para cada banco. Ref. Análisis Estadístico Banco 1-2-3-general.....	143

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	
Anexo 2	
Anexo 3	
Anexo 4	
Anexo 5	
Anexo 6	
Anexo 7	