

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE ING. CIVIL



**“INFLUENCIA DE UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN LA
DISMINUCIÓN DE FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS”**

Por:

DIEGO FRANCISCO DURÁN SANDOVAL

Diciembre de 2013

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE ING. CIVIL

**“INFLUENCIA DE UTILIZACIÓN DE ADITIVOS EN LA
DISMINUCIÓN DE FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS”**

Por:

DIEGO FRANCISCO DURÁN SANDOVAL

Proyecto de Ingeniería civil II presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO" como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Diciembre de 2013

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este grado académico a mi padre Jhonny Durán y mi madre Olga Sandoval, que desde nací me brindaron cariño, dedicación, apoyo incondicional, decirles gracias por su comprensión que han sabido esperar a su ultimo hijo en su realización personal y decirles que este titulo también es suyo.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecer a mis padres, a mi hermano Eduardo y a toda mi familia que me apoyo en este paso más de mi vida.

A mi tutor Ing. Jhonny Orgaz por toda la ayuda que me brindo todo este tiempo.

A mi enamorada por su apoyo y comprensión y a mis compañeros más que compañeros son amigos como nuestro grupo lo No Tobes!!!.

PENSAMIENTO:

➤ La posibilidad de realizar un sueño...

Es lo que hace que la vida sea interesante

➤ Nunca dejes que nadie te diga que no puedes hacer algo. Si tienes un sueño debes protegerlo. Si alguien no puede hacer algo te dirá que tú tampoco puedes. Si quieres algo ve tras ello.

INDICE

Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Problema	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Alcance.....	8
1.6. Metodología	10

CAPÍTULO II

FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.1.1. Historia de los Pavimentos Rígidos	11
2.1.2. Pavimento Rígido.....	12

2.1.3. Comparación entre una Estructura de Pavimento Flexible y una Estructura de Pavimento Rígido.....	15
2.1.4. Elementos que Integran un Pavimento Rígido.....	16
2.1.5. Tipos de Pavimento Rígido.....	19
2.2. PROPIEDADES, CARACTERÍSTICAS Y ESFUERZOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	21
2.2.1. Propiedades de Pavimento Rígido	21
2.2.2. Características de Pavimento Rígido	24
2.2.3. Esfuerzos de Pavimento Rígido	25
2.3. MEZCLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	32
2.3.1. Agregados	32
2.3.2. Cemento	36
2.3.3. Aditivo.....	40
2.3.3.1. Tipos de Aditivos.....	41
2.4. FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS	42
2.4.1. Fallas	42
2.4.1.1. Tipos de Fallas	43
2.4.2. Fisuración.....	47
2.4.2.1. Causas de Fisuras en Pavimento Rígido	47
2.4.2.2. Efectos de las Temperaturas	48
2.4.2.3. Efectos de los Cambios de Humedad.....	51
2.4.2.4. El Estado Plástico del Concreto.....	52
2.4.2.5. Tipos de Fisuras	54

2.4.2.5.1. Fisuras por Asentamiento Plástico	54
2.4.2.5.2. Fisuras por Contracción Plástica.....	56
2.4.2.5.3. Otros Tipos de Fisuras	58
2.4.3. Consecuencias de fallas en pavimentos rígidos	64
2.5. INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA FISURACION	66
2.6. PROCESOS CONSTRUCTIVOS	68

CAPÍTULO III

INVESTIGACION DE UTILIZACIÓN DE ADITIVOS PARA REDUCCIÓN DE FISURACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	82
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	85
3.2.1. Caracterización de la Arena	85
3.2.1.1. Granulometría de la arena	86
3.2.1.1.1. Desarrollo de la Práctica	86
3.2.1.1.2. Resultados Obtenidos.....	88
3.2.1.2. Peso Específico de la Arena.....	89
3.2.1.2.1. Desarrollo de la Práctica	90
3.2.1.2.2. Resultados Obtenidos.....	91
3.2.1.3. Peso Unitario de la arena	92
3.2.1.3.1. Desarrollo de la Práctica	92
3.2.1.3.2. Resultados Obtenidos.....	93
3.2.2. Caracterización de la Grava	94

3.2.2.1. Granulometría de la Grava.....	95
3.2.2.1.1. Desarrollo de la Práctica	95
3.2.2.1.2. Resultados Obtenidos.....	96
3.2.2.2. Peso Específico de la Grava.....	97
3.2.2.2.1. Desarrollo de la Práctica	98
3.2.2.2.2. Resultados Obtenidos.....	99
3.2.2.3. Peso Unitario de la Grava	99
3.2.2.3.1. Desarrollo de la Práctica	99
3.2.2.3.2. Resultados Obtenidos.....	101
3.2.3. Caracterización del Agua	101
3.2.4. Caracterización del Cemento	102
3.2.4.1.1. Peso Específico del Cemento.....	102
3.2.4.1.2. Resultados Obtenidos.....	103
3.2.4.1.3. Finura del Cemento.....	103
3.2.4.1.4. Resultados Obtenidos.....	103
3.2.5. Aditivos.....	104
3.2.5.1. Elección de los Aditivos	104
3.2.5.2. Aditivos empleados para la práctica	104
3.2.5.2.1. SIKAMENT® – N100	104
3.2.5.2.2. ADITIVO SIKA – AER.....	106
3.2.6. Dosificación del Hormigón.....	108
3.2.6.1. Dosificación Teórica.....	108

3.2.6.2. Ajuste de la Dosificación	113
3.2.6.3. Influencia del Aditivo en la Dosificación	116
3.2.7. EVALUACION DE FISURACION EN PROBETAS DE PRUEBA	119
3.2.7.1. Probetas sin Aditivo	120
3.2.7.1.1. Vaciado de Probetas.....	120
3.2.7.1.2. Curado de las Probetas	122
3.2.7.1.3. Medidas de Fisuración	122
3.2.7.1.4. Medidas de Fisuración a Diferentes Edades	127
3.2.7.2. Probetas con Aditivo.....	130
3.2.7.2.1. Vaciado de Probetas.....	130
3.2.7.2.2. Curado de Probetas	131
3.2.7.2.3. Medidas de Fisuración	132
3.2.7.3. Formas de Medición de Fisuras	136
3.2.8. SIMULACION DE FISURACION POR FATIGA	138
3.2.8.1. Probetas Sin Aditivo	138
3.2.8.1.1. Aplicación de Carga.....	138
3.2.8.1.2. Medidas de Fisuración	140
3.2.8.1.3. Medidas a Diferentes Edades	148
3.2.8.2. Probetas Con Aditivo	152
3.2.8.2.1. Aplicación de Carga.....	152
3.2.8.2.2. Medidas de Fisuración	153
3.2.8.2.3. Medidas a Diferentes Edades	162
3.2.8.2.4. Costos de la Presentación.....	168

3.3. ANALISIS DE RESULTADOS	171
-----------------------------------	-----

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones	188
6.2. Recomendaciones.....	190
Bibliografía	191

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de metodología empleada.....	10
Figura 2. Absorción de Esfuerzos que se Ejercen Sobre los Pavimentos	13
Figura 3. Corte Esquemático con cada una de las Partes de un Pavimento Rígido ...	14
Figura 4. Esquema de Comparación de Pavimento Rígido.....	15
Figura 5. Esquema de Comparación de Pavimento Flexible	15
Figura 6. Esquema de un Pavimento Rígido.....	18
Figura 7. Gráfica de Pavimento Rígido Simple	19
Figura 8. Gráfica de Pavimento Rígido con Refuerzo en las Juntas.....	20
Figura 9. Gráfica de Pavimento Rígido con Refuerzo Continúo	20
Figura 10. Gráfica de Pavimento Rígido Pre-Esforzado.....	21
Figura 11. Esquema de Medida del modulo de rotura ASTM C78	22
Figura 12. Formulas de Westergaard y sus significados de términos	28
Figura 13. Esquema de Alabeo de Gradiente Térmico	29
Figura 14. Formulas de Bradbury y sus significados de términos	30
Figura 15. Esquema de Alabeo por Cambios de Humedad	32
Figura 16. Deformación de Alabeo Cóncavo en Hormigón Recién Endurecido Luego de Hormigonarse con Alta Radiación Solar.....	49
Figura 17. Desplazamientos Térmicos Longitudinales Medidos en Juntas Transversales.....	50
Figura 18. Hinchamiento - Retracción por Inmersión Secado en Probetas Prismáticas	52

Figura 19. Esquema Gráfico de Fisuras por Asentamiento Plástico	54
Figura 20. Fisuras por Contracción Plástico	56
Figura 21. Esquema del Corte Transversal de la Subrasante	69
Figura 22. Procedimiento de Construcción de juntas.....	79
Figura 23. Esquema de Esviaje de Juntas Transversales	79
Figura 24. Esquema de Cargas de Vehículos Sobre una Junta Transversal.....	80

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Recomendaciones para módulos de ruptura.....	22
Tabla 2. Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Grava	33
Tabla 3. Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en Grava	33
Tabla 4. Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Arena	34
Tabla 5. Especificaciones – Materiales – Ajuste Granulométrico de la Arena.....	35
Tabla 6. Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en la Arena	35
Tabla 7. Tamaño de los la agregados según norma CBH 87	86
Tabla 8. Granulometría del Agregado Fino - Arena	88
Tabla 9. Curva Granulometría del Agregado Fino - Arena	89
Tabla 10. Porcentajes de Humedad y Absorción	89
Tabla 11. Pesos Específicos de la Arena.....	91
Tabla 12. Peso Unitario Suelto de la Arena	93
Tabla 13. Peso Unitario Compactado de la Arena	94
Tabla 14. Especificaciones del Agregado Grueso Según CBH 87	94
Tabla 15. Granulometría del Agregado Grueso	96
Tabla 16. Curva Granulometría del Agregado Grueso - Grava	97
Tabla 17. Porcentajes de Humedad y Absorción	97
Tabla 18. Pesos Específicos de la Grava.....	99
Tabla 19. Peso Unitario Suelto de la Grava	101
Tabla 20. Peso Unitario Compactad de la Grava	101

Tabla 21. Peso Específico del Cemento.....	103
Tabla 22. Datos para la Finura del Cemento.....	103
Tabla 23. Finura del Cemento.....	104
Tabla 24. Determinación de la Razón Agua / Cemento.....	109
Tabla 25. Determinación del Tipo de Asentamiento	110
Tabla 26. Determinación Aproximada para Dosis de Agua y Contenido de Aire ...	111
Tabla 27. Determinación de la Dosis de Grava.....	112
Tabla 28. Dosificación Método ACI	113
Tabla 29. Cálculo de la Dosificación Método ACI.....	114
Tabla 30. Diseño en Estado Seco.....	115
Tabla 31. Corrección por Humedad.....	115
Tabla 32. Diseño en Estado Húmedo.....	115
Tabla 33. Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo.....	115
Tabla 34. Determinación de la Razón Agua / Cemento con Incorporador de Aire .	116
Tabla 35. Determinación Aproximada para Dosis de Agua y Contenido de Aire ...	117
Tabla 36. Cálculo de la Dosificación Método ACI con Incorporación de Aditivo..	118
Tabla 37. Diseño en Estado Seco con Aditivo.....	118
Tabla 38. Corrección por Humedad con Aditivo	119
Tabla 39. Diseño en Estado Húmedo con Aditivo	119
Tabla 40. Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo con Aditivo	119
Tabla 41. Evaluación de Fisuración de las Probetas a 7 días.....	128
Tabla 42. Evaluación de Fisuración de las Probetas a 28 días.....	129
Tabla 43. Evaluación de Fisuración de las Probetas a Fatiga a los 7 días	148

Tabla 44. Evaluación de Fisuración de las Probetas a Fatiga a los 28 días	149
Tabla 45. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas a los 7 días con la aplicación de Carga.....	150
Tabla 46. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas a los 28 días con la aplicación de Carga.....	151
Tabla 47. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 7 días	162
Tabla 48. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 14 día.....	162
Tabla 49. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo N-100 a Fatiga a los 28 días	163
Tabla 50. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 7 días	163
Tabla 51. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 14 días	164
Tabla 52. Evaluación de Fisuración de las Probetas con aditivo AER a Fatiga a los 28 días	164
Tabla 53. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 7 días con la aplicación de Carga.....	165
Tabla 54. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 14 días con la aplicación de Carga	166
Tabla 55. Resultado del Reflejo de Fisuración en probetas con aditivo a los 28 días con la aplicación de Carga	167

Tabla 56. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas.....	171
Tabla 57. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Contracción Plástica de 7 y 28 Días	172
Tabla 58. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Contracción Plástica	172
Tabla 59. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Contracción Plástica.....	173
Tabla 60. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Contracción Plástica	173
Tabla 61. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Contracción Plástica.....	173
Tabla 62. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7 y 28 Días	175
Tabla 63. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Fatiga	175
Tabla 64. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7 Días por Fatiga	176
Tabla 65. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Fatiga	176
Tabla 66. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 28 Días por Fatiga	177
Tabla 67. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7, 14 y 28 Días N - 100	178

Tabla 68. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga N - 100.....	178
Tabla 69. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga N - 100.....	179
Tabla 70. Resultado del Porcentaje de Fisuración en Probetas por Fatiga a los 7, 14 y 28 Días Sika AER	180
Tabla 71. Diagrama de Barras en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga Sika AER.....	180
Tabla 72. Curvas en Función de la Longitud de Fisuración a los 7, 14 Y 28 Días por Fatiga Sika AER.....	181
Tabla 73. Diagrama de Barras en Función de la Comparación entre Probetas con y sin Aditivo.....	182
Tabla 74. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas sin Aditivo.	183
Tabla 75. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.	183
Tabla 76. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.	184
Tabla 77. Aplicación de carga y su Reflejo de Fisuración en Probetas con Aditivo.	184
Tabla 78. Análisis de Resistencias con y sin Aditivos.....	185
Tabla 79. Análisis de Fisuración con Curado y sin Aditivos.....	186
Tabla 80. Análisis de Resistencia con Curado y sin Aditivos.....	187

INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Página
Fotografía 1. Levantamiento de Losas	43
Fotografía 2. Dislocamiento.....	44
Fotografía 3. Hundimiento	45
Fotografía 4. Pulimiento de las Superficies	45
Fotografía 5. Descascaramiento	46
Fotografía 6. Bache	47
Fotografía 7. Fisuras por Asentamiento Plástico	55
Fotografía 8. Fisuras por Contracción Plástico	58
Fotografía 9. Fisuras por Transversales y Diagonales	59
Fotografía 10. Fisuras Longitudinales.....	59
Fotografía 11. Fisuras de Esquina.....	60
Fotografía 12. Fisuras de Losas Subdivididas.....	61
Fotografía 13. Fisuras en Bloque	61
Fotografía 14. Fisuras Inducidas	62
Fotografía 15. Fisuras en Capilares.....	63
Fotografía 16. Fisuras por Mal Funcionamiento de Juntas	64
Fotografía 17. Compactación de la Subrasante con Rodillo Pata de cabra.....	70
Fotografía 18. Acabado y Compactado de la Capa Subrasante	72
Fotografía 19. Operación de la Regla Niveladora.....	74
Fotografía 20. Operación de la Texturizado Final Mediante Cepillos.....	75

Fotografía 21. Operación del Curado del Pavimento Rígido.....	77
Fotografía 22. Operación Sello de Juntas	81
Fotografía 23. Cuarteo de Arena para Granulometría.....	87
Fotografía 24. Base de los Tamices	87
Fotografía 25. Tamizado del Material.....	87
Fotografía 26. Secado de la Arena	90
Fotografía 27. Molde Cónico con Arena.....	91
Fotografía 28. Matraz con Arena Sumergida en Agua.	91
Fotografía 29. Molde Cilíndrico de 3Litros de Volumen	92
Fotografía 30. Molde Cilíndrico con Muestra de Arena Suelta.....	93
Fotografía 31. Molde Cilíndrico con Muestra de Arena Compactado.....	93
Fotografía 32. Cuarteador de Grava.....	95
Fotografía 33. Tamizado de la Mecánico.....	96
Fotografía 34. Retenido de los Tamices.....	96
Fotografía 35. Muestra de Grava Sumergida	98
Fotografía 36. Secado de la Grava	98
Fotografía 37. Sumergido de la Muestra en Agua	98
Fotografía 38. Molde Cilíndrico de 10 Lts. de volumen.....	99
Fotografía 39. Molde Cilíndrico con Muestra de Grava Suelta	100
Fotografía 40. Molde Cilíndrico con Muestra de Grava Compactada	100
Fotografía 41. Aditivo SIKAMENT – N100	106
Fotografía 42. Aditivo SIKA - AER	107
Fotografía 43. Cono de Abrams	120

Fotografía 44. Preparación de los Moldes.....	121
Fotografía 45. Ensayo de Cono de Abrams	121
Fotografía 46. Vaciado de los moldes sin Aditivo	121
Fotografía 47. Preparación de los Moldes.....	130
Fotografía 48. Muestra de hormigón con aditivo.....	131
Fotografía 49. Vaciado de los moldes con Aditivo.....	131
Fotografía 50. Medición de Longitud de Fisura	136
Fotografía 51. Calibrador de Vernier	137
Fotografía 52. Regla Poliéster.....	137
Fotografía 53. Mediciones de Ancho de Fisuras con Vernier.....	138
Fotografía 54. Probetas Curadas y Colocadas a Temperatura Ambiente.....	187