

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE**  
**COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS UNICAPA DE ALTO**  
**DESEMPEÑO EN CARRETERAS DE ALTO TRÁFICO”**

**Por:**

**GABRIELA ARROYO SANCHEZ**

Proyecto de Grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
“JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I - 2021**

**TARIJA-BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN”**

**“ANÁLISIS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS UNICAPA DE ALTO  
DESEMPEÑO EN CARRETERAS DE ALTO TRÁFICO”**

**Por:**

**GABRIELA ARROYO SANCHEZ**

**Semestre I - 2021**

**TARIJA-BOLIVIA**

.....  
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

DECANA a.i.

FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

.....  
M. Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

VICEDECANO a.i.

FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....  
Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....  
Ing. Oscar Marcelo Chávez C.

.....  
Ing. Julio N. Urzagaste G.

**ADVERTENCIA:**

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

**DEDICATORIA:**

A mis padres por ser un pilar fundamental de mi vida, darme un apoyo incondicional ya que sin ellos no podría haber llegado donde estoy ahora. ( Heber Willan Arroyo Saldaña y Leonarda Sanchez Ruiz)

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios por darme la fuerza, voluntad y capacidad para culminar esta etapa académica. A mis hermanos, familiares y amigos que de alguna manera me ayudaron a llevar adelante el presente estudio.

## ÍNDICE

|                |
|----------------|
| Advertencia    |
| Dedicatoria    |
| Agradecimiento |
| Resumen        |

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1.1. Antecedentes .....                                       | 1             |
| 1.2. Justificación.....                                       | 3             |
| 1.3. Situación problemática .....                             | 4             |
| 1.4. Problema.....  | 4             |
| 1.5. Objetivos .....  | 5             |
| 1.5.1. Objetivo general .....                                 | 5             |
| 1.5.2. Objetivos específicos.....                             | 5             |
| 1.6. Hipótesis .....  | 5             |
| 1.7. Variables.....   | 6             |
| 1.7.1. Definición y Operacionalización de las variables ..... | 6             |
| 1.7.1.1. Variable independiente .....                         | 6             |
| 1.7.1.2. Variable dependiente.....                            | 7             |
| 1.8. Unidades de estudio y decisión muestral .....            | 7             |
| 1.8.1. Unidades de estudio .....                              | 7             |
| 1.8.2. Población.....   | 7             |
| 1.8.3. Muestra .....  | 7             |

|  |    |
|--|----|
| 1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo ..... | 8  |
| 1.9. Métodos y técnicas empleadas .....            | 8  |
| 1.9.1. Métodos .....                               | 8  |
| 1.9.2. Técnicas .....                              | 9  |
| 1.10. Alcance .....                                | 12 |

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO UNICAPA DE ALTO DESEMPEÑO EN CARRETERAS DE ALTO TRÁFICO**

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 2.1. Generalidades .....   | 13            |
| 2.2. Suelos .....  | 13            |
| 2.2.1. Origen .....  | 14            |
| 2.2.2. Depósitos del suelo natural .....   | 15            |
| 2.2.3. Composición de los suelos .....   | 16            |
| 2.2.4. Tamaño de las partículas de suelo .....   | 17            |
| 2.2.5. Análisis mecánico del suelo .....   | 18            |
| 2.2.6. Propiedades de los suelos .....   | 18            |
| 2.2.7. Clasificación de los suelos .....   | 21            |
| 2.2.7.1. Sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway<br>and Transportation Officials) ..... | 21            |
| 2.2.7.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) .....   | 25            |
| 2.3. Cemento .....   | 25            |
| 2.3.1. Principales características de los cementos .....   | 26            |
| 2.3.2. Cemento Portland .....  | 27            |
| 2.3.3. Tipos de cemento .....  | 27            |
| 2.3.4. Fabricación del cemento Portland .....  | 27            |



|   |    |
|---|----|
| 2.3.5. Especificaciones del cemento Portland .....                                | 28 |
| 2.3.6. Ventajas que ofrece el cemento:.....                                       | 29 |
| 2.4. Sub-rasante .....  | 29 |
| 2.4.1. Categorías de la sub-rasante .....   | 30 |
| 2.4.2. Funciones de la sub-rasante.....   | 31 |
| 2.5. Carreteras de desarrollo (red Departamental) .....                           | 31 |
| 2.5.1. Mantenimiento de carreteras de la red Departamental.....                   | 32 |
| 2.5.1.1. Tipos de mantenimiento en carreteras de la red Departamental .....       | 33 |
| 2.6. Pavimento unicapa de alto desempeño.....                                     | 34 |
| 2.6.1. Introducción .....   | 34 |
| 2.6.2. Definición.....  | 35 |
| 2.6.3. Ventajas del pavimento Unicapa.....  | 37 |
| 2.6.4. Campo de aplicación.....   | 38 |
| 2.6.5. Etapas para el diseño del proyecto .....                                   | 39 |
| 2.6.5.1. Geotecnia .....  | 39 |
| 2.6.5.2. Diseño de mezcla .....   | 41 |
| 2.6.5.3. Diseño estructural .....   | 41 |
| 2.6.6. Desempeño estructural y funcional de los Pavimentos Unicapa.....           | 47 |
| 2.6.7. Propiedades de ingeniería de los pavimentos Unicapa de Alto Desempeño..... | 48 |
| 2.6.8. Parámetros del método de diseño estructural.....                           | 49 |
| 2.6.9. Cálculo del espesor del pavimento Unicapa de Alto Desempeño.....           | 50 |
| 2.6.10. Proceso constructivo .....  | 56 |
| 2.6.10.1.Preparación del suelo existente .....                                    | 56 |
| 2.6.10.2.Colocado y extendido del cemento .....                                   | 59 |
| 2.6.10.3.Mezcla del suelo con el cemento .....                                    | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 2.6.10.4. Aplicación de agua.....  | 63 |
| 2.6.10.5. Compactación.....  | 67 |
| 2.6.10.6. Nivelación .....   | 68 |
| 2.6.10.7. Ejecución de las juntas .....  | 69 |
| 2.6.10.8. Curado .....   | 69 |
| 2.6.10.9. Apertura al tráfico .....  | 70 |
| 2.6.11. Proceso de dilatación y contracción .....                                    | 71 |
| 2.6.11.1. Variables que afectan la contracción del concreto .....                    | 72 |
| 2.6.11.2. Deformaciones por contracción .....  | 72 |
| 2.6.11.3. Factores que afectan la contracción por secado .....                       | 73 |
| 2.6.12. Control de calidad .....   | 74 |
| 2.6.13. Costo.....   | 75 |
| 2.6.14. Experiencias en El Salvador sobre el Pavimento Unicapa de Alto Desempeño ..  | 75 |
| 2.6.15. Experiencia en otros países sobre el Pavimento Unicapa de Alto Desempeño ... | 80 |
| 2.6.16. Experiencia en Bolivia sobre el pavimento Unicapa .....                      | 82 |

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE QUEBRADA LAS VACAS - SALINAS

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 3.1. Introducción .....   | 86            |
| 3.2. Ubicación .....  | 86            |
| 3.3. Caracterización de los suelos sub-rasantes.....                    | 89            |
| 3.4. Caracterización del cemento .....                                  | 90            |
| 3.5. Elaboración de especímenes.....                                    | 90            |
| 3.6. Procedimiento de elaboración de probetas cilíndricas .....         | 91            |
| 3.7. Procedimiento de elaboración de vigas .....                        | 97            |
| 3.8. Ensayo de rotura de probetas cilíndricas a compresión .....        | 102           |
| 3.8.1. Valores de esfuerzo de las probetas cilíndricas.....             | 104           |
| 3.9. Ensayo de rotura de vigas a flexión .....                          | 107           |
| 3.10. Análisis estadístico de los valores de prueba de resistencia..... | 110           |
| 3.10.1. Estadística descriptiva de pruebas de compresión .....          | 110           |
| 3.10.1.1.Muestra – La Cueva .....                                       | 110           |
| 3.10.1.2.Muestra – Salinas.....   | 111           |
| 3.10.2. Estadística descriptiva de pruebas de flexión.....              | 112           |
| 3.10.2.1.Muestra – La Cueva .....                                       | 112           |
| 3.10.2.2.Muestra – Salinas .....  | 113           |
| 3.10.2.3.Muestra - El Puesto .....                                      | 113           |
| 3.11. Análisis de los suelos estudiados .....                           | 114           |
| 3.11.1. Criterio técnico .....  | 114           |
| 3.12. Análisis de los resultados para el esfuerzo de compresión .....   | 115           |
| 3.13. Análisis de resultados de esfuerzo a flexión .....                | 124           |

|   |     |
|---|-----|
| 3.14. Estudios previos para el diseño del pavimento unicapa de alto desempeño .....                   | 132 |
| 3.14.1. Estudio de Tráfico .....  | 132 |
| 3.14.1.1. Tiempo y duración de aforo .....  | 132 |
| 3.14.2. Estudio Geotécnico .....  | 133 |
| 3.14.2.1. Diseño del espesor del Pavimento Unicapa de Alto Desempeño .....                            | 134 |
| 3.14.2.2. Cálculo de ejes equivalentes en el tramo de aplicación .....                                | 150 |
| 3.15. Análisis económico .....  | 150 |
| 3.16. Análisis comparativo entre el pavimento unicapa de alto desempeño y el ripiado<br>.....         | 157 |
| 3.17. Ventajas y desventajas del pavimento unicapa de alto desempeño y el ripiado ...                 | 158 |
| 3.18. Diferencia entre suelo - cemento, suelo estabilizado con cemento y el pavimento<br>unicapa..... | 159 |
| 3.19. Recomendaciones ambientales.....  | 160 |
| 3.19.1. Método del pavimento Unicapa de Alto Desempeño.....   | 160 |

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

|                            | <b>Página</b> |
|----------------------------|---------------|
| 4.1. Conclusiones .....    | 161           |
| 4.2. Recomendaciones ..... | 169           |

#### BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO “EL PUENTE IP-30”

ANEXO C: PLANILLA DE ROTURA DE PROBETAS Y VIGAS

ANEXO D: PLANILLA DE TPD

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Tabla 1 Variable independiente.....   | 6             |
| Tabla 2 Variable dependiente.....   | 7             |
| Tabla 3 Tamaños de suelo.....   | 17            |
| Tabla 4 Clasificación de materiales para sub-rasante de carreteras según AASHTO ..... | 24            |
| Tabla 5 Clasificación y composición de los cementos.....                              | 28            |
| Tabla 6 Clasificación según la resistencia del cemento .....                          | 28            |
| Tabla 7 Categorías de la sub-rasante.....   | 30            |
| Tabla 8 Resistencia de flexión .....  | 43            |
| Tabla 9 Resistencia a compresión.....   | 43            |
| Tabla 10 Propiedades del pavimento Unicapa de Alto Desempeño .....                    | 48            |
| Tabla 11 Valores de carga máxima por eje para vehículos de diseño.....                | 51            |
| Tabla 12 Rangos de Valores de ‘K’, recomendados para diferentes tipos de Suelo .....  | 52            |
| Tabla 13 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Río Chiquito .....               | 77            |
| Tabla 14 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Suchito, El Salvador.....        | 78            |
| Tabla 15 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Managua, Nicaragua.....          | 80            |
| Tabla 16 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de Guancaste, Costa Rica .....   | 80            |
| Tabla 17 Propiedades del PU del tramo de Chumaltenango - Guatemala .....              | 81            |
| Tabla 18 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de Pirita, Panamá.....           | 82            |
| Tabla 19 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de La Paz, Bolivia .....         | 83            |
| Tabla 20 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Tarabuco, Chuquisaca .....       | 84            |
| Tabla 21 Muestra 1- El Puesto .....   | 89            |
| Tabla 22 Muestra 2 – La Cueva .....   | 89            |
| Tabla 23 Muestra 3 - Salinas.....   | 90            |
| Tabla 24 Caracterización del cemento .....  | 90            |
| Tabla 25 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas – La Cueva .....       | 104           |
| Tabla 26 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas – Salinas .....        | 105           |
| Tabla 27 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas – El Puesto .....      | 106           |
| Tabla 28 Valores de esfuerzo de viga – El Puesto .....                                | 108           |
| Tabla 29 Valores de esfuerzo de viga – La Cueva.....                                  | 109           |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 30 Valores de esfuerzo de viga – Salinas .....                                 | 109 |
| Tabla 31 Resumen estadístico para La Cueva.....                                      | 110 |
| Tabla 32 Resumen estadístico para Salinas.....                                       | 111 |
| Tabla 33 Resumen estadístico para El Puesto .....                                    | 111 |
| Tabla 34 Resumen estadístico para La Cueva.....                                      | 112 |
| Tabla 35 Resumen estadístico para Salinas.....                                       | 113 |
| Tabla 36 Resumen estadístico para El Puesto .....                                    | 113 |
| Tabla 37 Resultados de resistencia a compresión .....                                | 116 |
| Tabla 38 Esfuerzo de compresión valores máximos .....                                | 116 |
| Tabla 39 Esfuerzo de compresión valores mínimos.....                                 | 117 |
| Tabla 40 Resultados de resistencia a flexión .....                                   | 124 |
| Tabla 41 Esfuerzo de flexión valores máximos .....                                   | 124 |
| Tabla 42 Esfuerzo de flexión valores mínimos .....                                   | 125 |
| Tabla 43 Aforo vehicular .....   | 132 |
| Tabla 44 Ensayos de CBR.....   | 133 |
| Tabla 45 Tasa de Crecimiento Promedio, Tramo: Vacas ⇔ Salinas.....                   | 134 |
| Tabla 46 Teniendo como resultado el siguiente .....                                  | 149 |
| Tabla 47 Presupuesto general.....  | 154 |
| Tabla 48 Análisis comparativo del pavimento Unicapa y el ripiado .....               | 157 |
| Tabla 49 Ventajas y desventajas del pavimento Unicapa y el ripiado .....             | 158 |
| Tabla 50 Diferencia entre suelo-cemento, suelo estabilizado con cemento y el PU..... | 159 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Gráfica 1 Hoja de Excel para el cálculo de espesores del pavimento Unicapa..... | 55            |
| Gráfica 2 Valores mínimos de esfuerzos de compresión .....                      | 118           |
| Gráfica 3 Valores máximos de esfuerzo de compresión.....                        | 118           |
| Gráfica 4 Resultados promedios de esfuerzos a compresión .....                  | 119           |
| Gráfica 5 Resultados promedios de esfuerzos a compresión .....                  | 119           |
| Gráfica 6 Resultados promedios de esfuerzos a compresión .....                  | 120           |
| Gráfica 7 Esfuerzo de compresión El Puesto .....                                | 120           |
| Gráfica 8 Esfuerzo de compresión La Cueva .....                                 | 121           |
| Gráfica 9 Esfuerzo de compresión de Salinas .....                               | 121           |
| Gráfica 10 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 122           |
| Gráfica 11 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 122           |
| Gráfica 12 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 123           |
| Gráfica 13 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 123           |
| Gráfica 14 Valores mínimos de esfuerzo de flexión.....                          | 126           |
| Gráfica 15 Esfuerzos máximos de esfuerzo de flexión.....                        | 126           |
| Gráfica 16 Resultados promedios de esfuerzos a flexión .....                    | 127           |
| Gráfica 17 Resultados promedios de esfuerzos a flexión .....                    | 127           |
| Gráfica 18 Resultados promedios de esfuerzos a flexión .....                    | 128           |
| Gráfica 19 Esfuerzo de flexión El Puesto .....                                  | 128           |
| Gráfica 20 Esfuerzo de flexión La Cueva .....                                   | 129           |
| Gráfica 21 Esfuerzo de flexión de Salinas .....                                 | 129           |
| Gráfica 22 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 130           |
| Gráfica 23 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 130           |
| Gráfica 24 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 131           |
| Gráfica 25 Resistencia versus porcentaje de cemento .....                       | 131           |
| Gráfica 26 TPD Promedio .....   | 133           |
| Gráfica 27 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 11% de cemento ..... | 141           |
| Gráfica 28 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 15% de cemento ..... | 142           |
| Gráfica 29 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 20% de cemento ..... | 143           |



|   |     |
|---|-----|
| Gráfica 30 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 11% de cemento ..... | 144 |
| Gráfica 31 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 15% de cemento ..... | 145 |
| Gráfica 32 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 20% de cemento ..... | 146 |
| Gráfica 33 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 11% de cemento ..... | 147 |
| Gráfica 34 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 15% de cemento ..... | 148 |
| Gráfica 35 Cálculo de espesor del Pavimento Unicapa con el 20% de cemento ..... | 149 |
| Gráfica 36 Análisis del Precio Unitario del Ripio .....                         | 151 |
| Gráfica 37 Análisis del Precio Unitario del Ripio .....                         | 152 |
| Gráfica 38 Análisis del Precio Unitario del Pavimento Unicapa .....             | 153 |
| Gráfica 39 Análisis del Precio Unitario del Pavimento Unicapa .....             | 154 |
| Gráfica 40 Análisis de precios .....  | 155 |
| Gráfica 41 Análisis de Vida útil .....  | 155 |
| Gráfica 42 Análisis de precios a 10 años .....                                  | 156 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Figura 1 Suelo .....   | 14            |
| Figura 2 Composición del suelo.....  | 16            |
| Figura 3 Cemento .....   | 26            |
| Figura 4 Ejemplo de la sub-rasante en un pavimento convencional.....                 | 30            |
| Figura 5 Carreteras de la red Departamental.....                                     | 32            |
| Figura 6 Mantenimiento de carreteras de la red Departamental .....                   | 33            |
| Figura 7 Tipos de pavimento.....   | 36            |
| Figura 8 Ubicación de los PU en el conjunto de estructuras de pavimentos disponibles | 37            |
| Figura 9 Aspecto de un Pavimento Unicapa de Alto Desempeño .....                     | 38            |
| Figura 10 Placa de carga (AASHTO T-222).....   | 40            |
| Figura 11 Penetrómetro dinámico de cono (DCP).....                                   | 40            |
| Figura 12 Módulo de Ruptura vrs. Porcentaje de Cemento .....                         | 41            |
| Figura 13 Periodo de Diseño de un Pavimento Unicapa de Alto Desempeño .....          | 44            |
| Figura 14 Aspecto de un PUAD a un año de Operación. (Desempeño esperado) .....       | 48            |
| Figura 15 Escarificado del suelo .....   | 59            |
| Figura 16 Colocado y la distribución del cemento.....                                | 61            |
| Figura 17 Mezclado del suelo con el cemento .....                                    | 63            |
| Figura 18 Aplicación del agua .....  | 64            |
| Figura 19 Pulvimezclador jalada por un tractor .....                                 | 65            |
| Figura 20 Mezclado – escarificado, aplicando agua y cemento simultáneamente .....    | 65            |
| Figura 21 Aplicando el cemento y posteriormente escarificando .....                  | 66            |
| Figura 22 Procesos de forma simultánea.....  | 66            |
| Figura 23 Proceso de Compactación.....   | 68            |
| Figura 24 Juntas de control .....  | 69            |
| Figura 25 Compuesto químico de curado .....  | 70            |
| Figura 26 Tramo Río Chiquito, Las Pilas (2003).....                                  | 77            |
| Figura 27 Tramo Río Chiquito, Las Pilas – El Salvador, después de 9 años .....       | 78            |
| Figura 28 Tramo Suchito – Cinquera, Cuscatlán – El Salvador (2010).....              | 79            |
| Figura 29 Tramo Suchito–Cinquera, Cuscatlán–El Salvador (2012), después de 2 años    | 79            |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 30 Camino Cedro Galan, Managua – Nicaragua .....                           | 80  |
| Figura 31 El Jobo, La Cruz provincia de Guanacaste – Costa Rica.....              | 81  |
| Figura 32 San Juan Comalapa – San Martin Jilotepeque, Chimaltenango – Guatemala . | 82  |
| Figura 33 Alto Limanipata, La Paz – Bolivia .....                                 | 84  |
| Figura 34 Lamboyo, Tarabuco – Zundañez Chuquisaca – Bolivia.....                  | 85  |
| Figura 35 Extracción de muestra del tramo La Cueva .....                          | 87  |
| Figura 36 Extracción de muestra del tramo La Cueva .....                          | 87  |
| Figura 37 Extracción de muestra del tramo de Salinas .....                        | 88  |
| Figura 38 Engrasar al molde de la probeta.....                                    | 92  |
| Figura 39 Mezcla total del espécimen, suelo y cemento.....                        | 93  |
| Figura 40 Mezcla homogénea .....  | 94  |
| Figura 41 Adición del agua a la mezcla .....                                      | 94  |
| Figura 42 Mezclar homogéneamente .....  | 95  |
| Figura 43 Probeta de suelo - cemento .....  | 96  |
| Figura 44 Probeta de suelo - cemento .....  | 96  |
| Figura 45 Curado de las probetas .....  | 97  |
| Figura 46 Molde de viga .....   | 98  |
| Figura 47 Suelo - cemento .....   | 99  |
| Figura 48 Adición del agua al suelo - cemento.....                                | 100 |
| Figura 49 Compactación de la viga.....  | 100 |
| Figura 50 Viga de suelo - cemento.....  | 101 |
| Figura 51 Rociador.....   | 102 |
| Figura 52 Prueba de resistencia en compresión .....                               | 103 |
| Figura 53 Rotura de la probeta.....   | 103 |
| Figura 54 Prueba de resistencia en flexión.....                                   | 107 |
| Figura 55 Rotura de viga.....   | 108 |