

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“INFLUENCIA DEL DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA  
DEL PAVIMENTO RIGIDO PARA TRAFICO PESADO”**

**Por:**

**DANIEL AYARDE CORRILLO**

**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 II - 2018**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“INFLUENCIA DEL DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA  
DEL PAVIMENTO RIGIDO PARA TRAFICO PESADO”**

**Por:**

**DANIEL AYARDE CORRILLO**

**SEMESTRE II - 2018**

**TARIJA – BOLIVIA**

---

M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez.  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

---

M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICE-DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

---

Ing. Wilson Yucra Rivera

---

Ing. Marcelo Segovia Cortez

---

Ing. José Rodríguez Vilca

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

**Dedicatoria:**

A mis padres junto a mi eterno agradecimiento, por su infatigable apoyo, amor y entrega desinteresada, es a ustedes a quienes dedico esta conquista con profundo amor, admiración y respeto

**Pensamiento:**

Educación la mente sin educar el corazón, no es educación en absoluto.

Aristóteles.

## INDICE GENERAL

|          |                                                                      |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.       | INTRODUCCIÓN .....                                                   | 1  |
| 1.1.     | GENERALIDADES.....                                                   | 1  |
| 1.2.     | FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....                                          | 2  |
| 1.3.     | DISEÑO TEORICO .....                                                 | 6  |
| 1.3.1.   | Planteamiento del problema .....                                     | 6  |
| 1.3.1.1. | Situación problema.....                                              | 6  |
| 1.3.1.2. | Problema.....                                                        | 7  |
| 1.3.2.   | Objetivos de la investigación.....                                   | 7  |
| 1.3.2.1. | Objetivo general.....                                                | 7  |
| 1.3.2.2. | Objetivos específicos.....                                           | 7  |
| 1.3.3.   | Hipótesis.....                                                       | 8  |
| 1.3.4.   | Definición de variables dependiente e independiente.....             | 9  |
| 1.3.4.1. | Variable dependiente.....                                            | 9  |
| 1.3.4.2. | Variable independiente .....                                         | 9  |
| 1.3.4.3. | Conceptualización de las variables .....                             | 10 |
| 1.4.     | DISEÑO METODOLÓGICO.....                                             | 12 |
| 1.4.1.   | Componentes .....                                                    | 12 |
| 1.4.1.1. | Identificación del tipo de diseño de investigación.....              | 12 |
| 1.4.1.2. | Unidad de estudio .....                                              | 12 |
| 1.4.1.3. | Población y muestreo.....                                            | 13 |
| 1.4.2.   | Resistencias de diseño para las probetas y prismas.....              | 14 |
| 1.4.2.1. | Rango de resistencia para compresión y flexión.....                  | 14 |
| 1.4.2.2. | Clases de resistencias para hormigón .....                           | 15 |
| 1.4.2.3. | Hormigón tipo A .....                                                | 17 |
| 1.4.2.4. | Validación por comparación con otros estudios. ....                  | 23 |
| 1.4.4.   | Lista de ensayos.....                                                | 25 |
| 1.4.4.1. | Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358).....   | 25 |
| 1.4.4.2. | Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T22) .....              | 26 |
| 1.4.4.3. | Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100).... | 27 |
| 1.4.4.4. | Determinación del módulo de finura de la arena ASTM C-125.....       | 27 |

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.4.4.5.Método del desgaste mediante máquina de los ángeles ASSHTO T96....                         | 27        |
| 1.4.4.6.Ensayo de la compresión simple probetas cilíndricas AASHTO T22.....                        | 29        |
| 1.4.4.7.Ensayo de resistencia la flexión probetas prismáticas AASHTO T97 .....                     | 29        |
| 1.4.5. Alcance.....                                                                                | 30        |
| <b>2. PAVIMENTOS RIGIDOS .....</b>                                                                 | <b>31</b> |
| 2.2.1. Porcentaje de caras fracturadas en los áridos D 5821 NTL358 .....                           | 34        |
| 2.2.2. Análisis granulométrico por tamizado AASHTO T22 .....                                       | 35        |
| 2.2.3. Determinación del peso específico de los agregados AASHTO T100 .....                        | 36        |
| 2.2.4. Determinación del módulo de finura de la arena ASTM C-125.....                              | 39        |
| 2.2.5. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de Los<br>Ángeles (ASSHTO T96) ..... | 40        |
| 2.2.6. Ensayo de la compresión simple probetas cilíndricas AASHTO T22.....                         | 43        |
| 2.2.7. Ensayo de resistencia la flexión probetas prismáticas AASHTO T97 .....                      | 45        |
| 2.3. ESPECIFICACIONES TECNICAS CONSTRUCCION DE<br>PAVIMENTO RIGIDO VILLAZON-TUPIZA.....            | 46        |
| 2.4.2. Cemento tipo IP 30 .....                                                                    | 68        |
| 2.4.3. Agua .....                                                                                  | 69        |
| 2.6. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO .....                                                          | 70        |
| 2.6.1. Análisis de una estructura completa de pavimento rígido.....                                | 71        |
| 2.6.2. Tipo de textura de acabado.....                                                             | 73        |
| 2.6.3. Tipos de pavimento rígido.....                                                              | 77        |
| 2.6.3.1.Pavimentos de concreto simple.....                                                         | 77        |
| 2.6.3.2.Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.....                              | 78        |
| 2.6.3.3.Pavimentos de concreto con refuerzo continuo. ....                                         | 79        |
| 2.6.3.4.Pavimento de concreto pre-esforzado.....                                                   | 79        |
| 2.7. PROPIEDADES Y CARACTAREISTICAS DEL PAVIMENTO<br>RÍGIDO .....                                  | 80        |
| 2.7.1. Propiedades el pavimento rígido .....                                                       | 80        |
| 2.7.1.1.Resistencia a la flexión .....                                                             | 81        |
| 2.7.1.2.Módulo de elasticidad del concreto (Ec).....                                               | 82        |
| 2.7.1.3.Durabilidad. ....                                                                          | 83        |



|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.7.2. Características del pavimento rígido .....                                                                          | 83  |
| 2.8. MEZCLAS EN PAVIMENTO RÍGIDOS .....                                                                                    | 84  |
| 2.8.1. Agregados .....                                                                                                     | 84  |
| 2.8.1.1. Clasificación de los agregados .....                                                                              | 85  |
| 2.9. EFECTOS DE LOS CAMBIOS DE HUMEDAD .....                                                                               | 90  |
| 2.9.1. Estado plástico del concreto .....                                                                                  | 92  |
| 2.10. PROCESOS CONSTRUCTIVOS .....                                                                                         | 94  |
| 2.10.2. Sub-base .....                                                                                                     | 96  |
| 2.10.3. Losas de concreto .....                                                                                            | 98  |
| 2.10.4. Curado del concreto .....                                                                                          | 101 |
| 2.10.5. Juntas .....                                                                                                       | 103 |
| 2.10.6. Mantenimiento .....                                                                                                | 106 |
| 3. ANALISIS DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                                                      | 107 |
| 3.1. ÁRIDO GRUESO Y FINO .....                                                                                             | 107 |
| 3.2. CEMENTO PORTLAND .....                                                                                                | 108 |
| 3.3. NÚMERO DE ENSAYOS .....                                                                                               | 109 |
| 3.4. VALIDACIÓN POR COMPARACIÓN CON OTROS TRABAJOS ....                                                                    | 109 |
| 3.5. ENSAYOS EN LABORATORIO .....                                                                                          | 111 |
| 3.5.1. Caras fracturadas .....                                                                                             | 111 |
| 3.5.2. Granulometría .....                                                                                                 | 112 |
| 3.5.3. PESO ESPECÍFICO GRAVA Y ARENA .....                                                                                 | 118 |
| 3.5.4. Desgaste de Los Ángeles .....                                                                                       | 128 |
| 3.5.5. Ensayo de la compresión simple probetas cilíndricas AASHTO T22 ....                                                 | 132 |
| 3.4.1. Ensayo de resistencia la flexión probetas prismáticas AASHTO T97 ...                                                | 134 |
| 3.5. DOSIFICACIÓN DE CADA MEZCLA Y PRECIOS UNITARIOS .....                                                                 | 136 |
| 3.6. RELACIONES DE LAS CARACTERIZACIONES .....                                                                             | 151 |
| 3.6.1. Relación peso específico del agregado grueso y compresión .....                                                     | 151 |
| 3.6.2. Relación peso específico del agregado fino y la compresión .....                                                    | 152 |
| 3.6.5. Relación de la calidad del agregado y la resistencia a compresión del<br>pavimento rígido para tráfico pesado ..... | 154 |

|             |                                            |            |
|-------------|--------------------------------------------|------------|
| <b>4.</b>   | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>156</b> |
| <b>4.1.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                  | <b>156</b> |
| <b>4.2.</b> | <b>RECOMENDACIONES .....</b>               | <b>160</b> |
|             | <b>ANEXOS.....</b>                         | <b>162</b> |

**ANEXO 1 (RESPALDO FOTOGRAFICO)**

**ANEXO 2 (RESPALDO DE ENSAYOS DE LABORATORIO)**

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                      |                                                                                                                                                         |    |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b>     | Distintos tipos de agregados que conforman la variable independiente .....                                                                              | 9  |
| <b>Figura 2.</b>     | Componentes del hormigón y selección de los elementos a estudiar .....                                                                                  | 13 |
| <b>Figura 3:</b>     | Resultado de la investigación.....                                                                                                                      | 24 |
| <b>Figura 4:</b>     | Esquema del ensayo de flexión para probetas prismáticas.....                                                                                            | 29 |
| <b>Figura 5:</b>     | Esquema del ensayo de flexión de vigas.....                                                                                                             | 30 |
| <b>Figura 6:</b>     | Diagrama de esfuerzos .....                                                                                                                             | 31 |
| <b>Figura 7:</b>     | Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido .....                                                                               | 32 |
| <b>Figura 8:</b>     | Muestra los resultados de ensayos de resistencia a abrasión en concretos con diferentes resistencias a compresión y diferentes tipos de agregados.....  | 33 |
| <b>Figura 9:</b>     | Muestra los resultados de ensayos de resistencia a abrasión en concretos con diferentes resistencias a compresión y diferentes tipos de agregados. .... | 33 |
| <b>Figura 10:</b>    | Inspección de granos con caras fracturadas .....                                                                                                        | 34 |
| <b>Figura 11:</b>    | Distribución granulométrica “colon” .....                                                                                                               | 36 |
| <b>Figura 12-13:</b> | Secado con toalla para obtener la condición saturada pero con superficie seca y sumersión para obtener el peso sumergido .....                          | 36 |
| <b>Figura 14:</b>    | Secado al horno .....                                                                                                                                   | 37 |
| <b>Figura 15:</b>    | Volumen del agregado más volumen enrase hasta 500 ml .....                                                                                              | 38 |
| <b>Figura 16-17:</b> | Secado saturado pero con superficie seca y prueba iterativa de desmoronamiento en cono.....                                                             | 39 |
| <b>Figura 18:</b>    | Fraccionado del agregado fino .....                                                                                                                     | 40 |
| <b>Figura 19:</b>    | Maquina de los ángele.....                                                                                                                              | 41 |
| <b>Figura 20:</b>    | Proceso de compresión .....                                                                                                                             | 44 |

|                      |                                                                                                                              |     |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 21:</b>    | Ensayo de compresión simple por la máquina de los ángeles .....                                                              | 45  |
| <b>Figura 22:</b>    | Esquema del ensayo de flexión para probetas prismáticas .....                                                                | 46  |
| <b>Figura 23:</b>    | Pavimento rígido sometido a carga.....                                                                                       | 70  |
| <b>Figura 24:</b>    | Esquema de un pavimento de concreto hidráulico .....                                                                         | 71  |
| <b>Figura 25:</b>    | Texturizado con arpillera.....                                                                                               | 74  |
| <b>Figura 26:</b>    | Texturizado con cepillo .....                                                                                                | 75  |
| <b>Figura 27:</b>    | Texturizado con cepillo .....                                                                                                | 76  |
| <b>Figura 28:</b>    | Texturizado de agregado expuesto .....                                                                                       | 77  |
| <b>Figura 29:</b>    | Pavimento rígido simple.....                                                                                                 | 78  |
| <b>Figura 30:</b>    | Pavimento rígido con refuerzo en las juntas .....                                                                            | 78  |
| <b>Figura 31:</b>    | Pavimento rígido con esfuerzo continuo .....                                                                                 | 79  |
| <b>Figura 32:</b>    | Pavimento rígido pre-esforzado .....                                                                                         | 80  |
| <b>Figura 33-34:</b> | Medida del módulo de rotura astm C78 .....                                                                                   | 81  |
| <b>Figura 35:</b>    | Evolución de la elongación de la probeta en función del tiempo de<br>inmersión de agua para distintos tipos de cementos..... | 92  |
| <b>Figura 32:</b>    | Esquema de corte transversal de la sub-rasante .....                                                                         | 94  |
| <b>Figura 36:</b>    | Esquema de relleno transversal de la sub-rasante y terraplén .....                                                           | 95  |
| <b>Figura 37:</b>    | Compactación de la sub-rasante con rodillo pata de cabra .....                                                               | 95  |
| <b>Figura 38:</b>    | Moto-conformadora en plena nivelación.....                                                                                   | 96  |
| <b>Figura 39:</b>    | Sub-base tratada con cemento .....                                                                                           | 98  |
| <b>Figura 40:</b>    | Operación de la regla de flotación .....                                                                                     | 100 |
| <b>Figura 41:</b>    | Operación del texturizado final mediante cepillos .....                                                                      | 101 |
| <b>Figura 42:</b>    | Operación del curado del pavimento rígido.....                                                                               | 102 |
| <b>Figura 43:</b>    | Esquema de juntas del pavimento rígido.....                                                                                  | 104 |

|                      |                                                                                |     |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 44:</b>    | Esquema de esviaje de juntas transversales .....                               | 104 |
| <b>Figura 45:</b>    | Esquema de cargas de vehículos sobre una junta .....                           | 105 |
| <b>Figura 46:</b>    | Operación de sellado de juntas .....                                           | 106 |
| <b>Figura 47:</b>    | Sobrantes de material de canaletas camino a entre ríos .....                   | 107 |
| <b>Figura 48:</b>    | Sobrantes de material del túnel de alarache camino a Bermejo .....             | 108 |
| <b>Figura 49:</b>    | Estudio de compresibilidad para distintos tipos de agregados en<br>EEUU .....  | 110 |
| <b>Figura 50:</b>    | Muestras tomadas de agregado grueso para realizar el ensayo .....              | 111 |
| <b>Figura 51:</b>    | Curva granulométrica de la arena .....                                         | 113 |
| <b>Figura 52:</b>    | Curva granulométrica de la grava .....                                         | 114 |
| <b>Figura 53:</b>    | Curva granulométrica de la gravilla .....                                      | 115 |
| <b>Figura 54:</b>    | Curva granulométrica conformada .....                                          | 117 |
| <b>Figura 55:</b>    | Pesaje de la muestra en laboratorio .....                                      | 118 |
| <b>Figura 56:</b>    | Lavado del material para ser sumergido por 24 horas .....                      | 119 |
| <b>Figura 57:</b>    | Secado de la muestra en laboratorio .....                                      | 119 |
| <b>Figura 58:</b>    | Pesado de la muestra después de haber sido secado superficialmente...          | 120 |
| <b>Figura 59:</b>    | Pesado de la muestra sumergida en el canastillo .....                          | 120 |
| <b>Figura 60:</b>    | Secado de la muestra al horno, para luego ser pesada .....                     | 121 |
| <b>Figura 61-62:</b> | Secado de la arena con secadora / colocado de la muestra en el<br>matraz ..... | 124 |
| <b>Figura 63:</b>    | Determinación de la superficie seca de la muestra saturada.....                | 124 |
| <b>Figura 64:</b>    | Pesado de la muestra, matraz y agua para llevarlo después al horno .....       | 125 |
| <b>Figura 65:</b>    | Pesaje de la muestra.....                                                      | 127 |
| <b>Figura 66:</b>    | Separación por tamaños para pesaje.....                                        | 127 |
| <b>Figura 67:</b>    | Máquina de desgaste de los ángeles .....                                       | 129 |

|                   |                                                                                  |     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 68:</b> | Colocación de las muestras en la máquina de desgaste .....                       | 129 |
| <b>Figura 69:</b> | Tamizado de las muestras por la malla n°10 .....                                 | 129 |
| <b>Figura 70:</b> | Lavado de las muestras después del tamizado.....                                 | 130 |
| <b>Figura 71:</b> | Pesado de las muestras después del secado en el horno .....                      | 130 |
| <b>Figura 72:</b> | Prensa hidráulica para ensayo de compresión de probetas .....                    | 132 |
| <b>Figura 73:</b> | Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.....                 | 133 |
| <b>Figura 74:</b> | Pantalla de resultado de compresión de la probeta.....                           | 134 |
| <b>Figura 75:</b> | Viga en la entrada de la prensa, acomodada en el dispositivo<br>flexionante..... | 134 |
| <b>Figura 76:</b> | Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.....                 | 135 |
| <b>Figura 77:</b> | Pantalla de resultado de flexión de la viga.....                                 | 136 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                  |                                                                                      |     |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1:</b>  | Operación de la variable independiente.....                                          | 10  |
| <b>Tabla 2:</b>  | Operación de variable dependiente.....                                               | 11  |
| <b>Tabla 3:</b>  | Resistencia de diseño de obras de pavimento rígido .....                             | 14  |
| <b>Tabla 4:</b>  | Clasificación de resistencias para hormigones .....                                  | 16  |
| <b>Tabla 5:</b>  | Peso según tamaño de muestra para encontrar el % de caras fracturadas .              | 25  |
| <b>Tabla 6:</b>  | Rango de valores para la granulometría .....                                         | 26  |
| <b>Tabla 7:</b>  | Rango para la relación de desgaste.....                                              | 28  |
| <b>Tabla 8:</b>  | Peso según el tamaño de la muestra para encontrar el % de caras<br>fracturadas ..... | 34  |
| <b>Tabla 9:</b>  | Rango de valores para la granulometría .....                                         | 35  |
| <b>Tabla 10:</b> | Rango para la relación de desgaste.....                                              | 41  |
| <b>Tabla 11:</b> | Elección de peso de la carga de abrasión.....                                        | 42  |
| <b>Tabla 12:</b> | Recomendaciones para módulos de rotura recomendados .....                            | 82  |
| <b>Tabla 13:</b> | Granulometría de la grava .....                                                      | 87  |
| <b>Tabla 14:</b> | Sustancias perjudiciales en la grava .....                                           | 87  |
| <b>Tabla 15:</b> | Granulometría de la arena.....                                                       | 88  |
| <b>Tabla 16:</b> | Ajuste granulométrico de la arena .....                                              | 89  |
| <b>Tabla 17:</b> | Sustancias perjudiciales para la arena.....                                          | 89  |
| <b>Tabla 18:</b> | Cálculo de cantidad de caras fracturadas que tiene la muestra.....                   | 112 |
| <b>Tabla 19:</b> | Cálculo granulométrico de la arena a utilizar chancadora de Charaja.....             | 113 |
| <b>Tabla 20:</b> | Cálculo granulométrico de la grava a utilizar chancadora de Charaja ....             | 114 |
| <b>Tabla 21:</b> | Cálculo granulométrico de la gravilla a utilizar chancadora de Charaja .             | 115 |
| <b>Tabla 22:</b> | Cálculo de la curva granulométrica conformada .....                                  | 116 |

|                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabla 23:</b> Resumen de la granulometría conformada .....                                          | <b>118</b> |
| <b>Tabla 24:</b> Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de grava..              | <b>122</b> |
| <b>Tabla 25.</b> Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la<br>gravilla ..... | <b>122</b> |
| <b>Tabla 26:</b> Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de arena..              | <b>126</b> |
| <b>Tabla 27:</b> Gradación tipo A, N° de esferas: 12 .....                                             | <b>131</b> |