

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**



**“ESTUDIO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS PARA PAVIMENTOS  
RÍGIDOS CUANDO ES ATACADO POR EL SULFATO DE MAGNESIO”**

**Por:**

**ARENAS AGUILERA NOEMI SEBASTIANA**

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 MISAEI SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE  
COMUNICACIÓN**

**“ESTUDIO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS PARA PAVIMENTOS  
RÍGIDOS CUANDO ES ATACADO POR EL SULFATO DE MAGNESIO”**

**Por:**

**ARENAS AGUILERA NOEMI SEBASTIANA**

**SEMESTRE-I-2021**

**TARIJA-BOLIVIA**

.....  
M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozalvez

DECANO

FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

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

VICEDECANA

FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

**TRIBUNAL:**

.....  
M.Sc.Ing. Yurquina Flores Luis Alberto

.....  
Ing. Arce Avendaño José Ricardo

.....  
Ing. López Rueda Ada Gladys

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

### **DEDICATORIA:**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre y a mi familia, pues sin mi madre no lo había logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía.

### **AGRADECIMIENTO:**

La Universidad me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me han brindado son incomparables y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día si quiera me topara con una de ellas. Agradezco mucho por la ayuda de mis docentes, mis compañeros y a la universidad en general por todo.

**PENSAMIENTO:**

Nunca debes perder: Tú forma de ser, tu esencia, la humildad de tu alma, la voz de tu corazón, el respeto a ti mismo y el valor por la vida.

Leo Pavoni

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Introducción .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	2
1.3.1 Situación problemática.....	2
1.3.1.1 Concepto del objeto de investigación .....	2
1.3.1.2 Relato del fenómeno o suceso que ocurre.....	2
1.3.1.3 Pronóstico.....	3
1.3.1.4 Perspectiva .....	3
1.3.2 Delimitación del tiempo.....	3
1.3.3 Delimitación del espacio .....	3
1.3.3.1 El área de trabajo.....	3
1.3.3.2 Base de operaciones .....	3
1.3.3.3 Aplicación .....	3
1.3.4 Determinación del problema de investigación.....	3
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Alcance.....	4
1.6 Formulación de la hipótesis .....	5
1.6.1 Hipótesis.....	5



1.6.2 Identificación de variables .....	5
1.6.3 Conceptualización y operación de las variables.....	5
1.7 Diseño metodológico y técnicas de la investigación.....	6
1.7.1 Identificación del tipo del diseño de investigación.....	6
1.7.2 Fundamentos para el diseño metodológico de la investigación .....	6
1.7.3 Identificación del tipo del diseño de investigación .....	6
1.7.3.1 Selección de las técnicas de muestreo.....	7
1.8 Métodos y procedimientos lógicos.....	7
1.8.1 Listado de actividades a realizar .....	7
1.9 Métodos y procedimientos lógicos.....	7
1.9.1 Identificación de la perspectiva.....	7
1.9.2 Listado de actividades a realizar; junto a los insumos y medios utilizados .....	8
1.9.3 Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva...	9
1.10 Análisis de resultados.....	10
1.10.1 Selección de programa a utilizar.....	10
1.10.2 Estadística descriptiva.....	10
1.10.2.1 Variable independiente.....	10
1.10.2.2 Variable dependiente.....	10

## CAPITULO II

### ESTADO DEL CONOCIMIENTO

	Página
2.1 Aspectos generales de los agregados y su relación con la durabilidad .....	12
2.1.1 Marco teórico .....	12
2.2 Conceptos de los agregados como componente del pavimento rígido .....	13

2.2.1 Resistencia y durabilidad de los agregados.....	13
2.2.1.1 La durabilidad .....	13
2.2.1.2 Acciones físicas.....	13
2.3 La estabilidad de los agregados.....	14
2.4 La desintegración .....	15
2.5 Ataque de los sulfatos .....	15
2.6 Solidez de los agregados frente a la acción de solución de sulfato de magnesio.....	16
2.6.1 Importancia y uso.....	16
2.6.2 Sanidad de los agregados .....	17
2.7 Concepto del hormigón.....	18
2.8 Los agregados.....	19
2.8.1 Agregados gruesos .....	20
2.8.2 Modulo de finura.....	22
2.8.2.1 Modulo de finura del agregado grueso.....	22
2.8.3 Tamaño maximo (Da o TM) .....	22
2.8.4 Tamaño máximo nominal (Dn o TMN).....	22
2.8.5 Agregado fino.....	23
2.8.6 Modulo de finura agregado fino.....	24
2.9 Unidades de estudio y decisión muestral .....	24
2.9.1 Definición de unidad de estudio o muestreo .....	24
2.9.2 Definición de población .....	24
2.9.3 Definición de muestra .....	24
2.9.4 Definicion de muestreo .....	25
2.10 Propiedades resistentes.....	25

2.10.1 Resistencia.....	25
2.10.1.1 Resistencia a la degradación de los agregados por la maquina de los Angeles	26
2.10.1.1.1 Importancia y uso de la maquina del desgaste de los Angeles .....	26
2.10.2 Dureza .....	26
2.11 Teoría estadística que utiliza la investigación.....	27
2.11.1 Estadística descriptiva.....	27
2.11.1.1 Parámetros estadísticos muestrales .....	27
2.11.1.2 Máximo .....	27
2.11.1.3 Mínimo.....	28
2.11.1.4 La media aritmética.....	28
2.11.1.5 Desviación estándar de una muestra .....	28
2.11.1.6 Desviación estándar de una población .....	29
2.11.2 Estadística inferencial, seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.....	29
2.11.2.1 Estadística para prueba de hipótesis.....	30
2.11.2.2 Formulación de la hipótesis .....	31
2.11.2.3 Selección de la prueba estadística acorde al estudio.....	31
2.11.2.4 Establecimiento del nivel de significación.....	31
2.11.2.5 Determinación de la función pivotal .....	31
2.11.3 Hipótesis nula o hipótesis de trabajo (H <sub>0</sub> ) .....	32
2.11.4 Hipótesis alterna (H <sub>1</sub> ) .....	32
2.12 Marco normativo.....	32
2.12.1 Norma AASHTO T 27 .....	32
2.12.2 Norma ASTM 136.....	32
2.12.3 Norma AASHTO T 104 .....	33

2.12.4 Norma ASTM C 88 .....	33
2.12.5 Norma AASHTO T 96 .....	33
2.12.6 Norma ASTM C 131 .....	34
2.13 Marco referencial .....	34
2.14 Análisis del aporte teórico.....	35
2.14.1 Ensayo de Durabilidad.....	35
2.14.2 Resistencia a lo sulfatos .....	35

### CAPITULO III

#### APLICACIÓN PRACTICA

	Página
3.1 Unidades de estudio y decisión muestral de la investigación .....	37
3.1.1 Unidad de estudio o muestreo .....	37
3.1.2 Población.....	37
3.1.3 Muestra.....	37
3.1.3.1 Selección de nivel de confianza .....	38
3.1.3.2 Tamaño y muestra.....	38
3.1.4 Muestreo.....	39
3.2 Muestreo.....	40
3.3 Criterios de muestreo .....	41
3.3.1 Muestreo de agregados para construcción de carreteras .....	41
3.3.1.1 Importancia y uso de la toma de muestras .....	42
3.3.2 Explotación de fuentes de agregados pétreos.....	42
3.3.2.1 Muestreo en canteras y vetas.....	42
3.3.2.2 Muestreo y tamaño de las muestras .....	43

3.3.2.3 Muestreo en zonas de préstamo lateral o en depósitos aluviales .....	43
3.3.2.4 Muestreo y muestras .....	43
3.3.2.5 Registro .....	44
3.4 Muestreo de los materiales para la investigación.....	44
3.4.1 Agregados .....	44
3.4.2 Criterios para el muestreo de los agregados.....	44
3.4.3 Codificación de los sondeos y toma de las muestras .....	45
3.4.4 Ubicación y descripción del lugar.....	45
3.4.4.1 Rio Camacho localidad Valle de la Concepción.....	45
3.4.4.2 Zona del Valle de la Concepción .....	46
3.4.4.3 Rio Camacho zona de San Nicolás .....	47
3.4.4.4 Zona San Nicolas .....	48
3.4.4.5 Quebrada de San José de Charaja .....	49
3.4.4.6 Zona San José de Charaja .....	50
3.5 Fichas tecnica del sulfato de magnesio .....	51
3.5.1 Identificación del producto .....	51
3.5.2 Descripción .....	51
3.5.3 Especificaciones del producto y propiedades químicas .....	51
3.5.4 Propiedades físicas .....	52
3.5.5 Estabilidad y reactividad .....	52
3.6 Caracterización de los agregados .....	53
3.6.1 Ensayos .....	53
3.6.2 Metodo para determinar la granulometria (ASTM C 136 AASHTO T 27).....	53

3.6.3 Metodo para el cuarteo de muestras (ASTM C 702 AASHTO T 248).....	53
3.6.4 Metodo de solidez con sulfatos (ASTM C 88 AASHTO T 104).....	53
3.6.5 Metodo para determinar el desgaste (ASTM C 131 AASHTO T 96).....	53
3.7 Resultados .....	54
3.7.1 Granulometria de las canteras de estudio.....	54
3.7.1.1 Granulometria de la zona del Valle de la Concepción.....	54
3.7.1.2 Granulometria de la zona de San Nicolás .....	55
3.7.1.3 Granulometrias de la quebrada de San José de Charaja.....	56
3.7.2 Solidez de los agregados de las canteras.....	57
3.7.2.1 Resultado de la desintegración en la zona del Valle de la Concepción .....	58
3.7.2.2 Resultado de la desintegracion en la zona de San Nicolás.....	59
3.7.2.3 Resultado de la desintegracion en la quebrada de San José de Charaja.....	60
3.7.3 Desgaste de los Angeles de las canteras .....	61
3.7.3.1 Resultado del desgaste de la zona del Valle de la Concepción.....	62
3.7.3.2 Resultado del desgaste de la zona de San Nicolás .....	64
3.7.3.3 Resultado del desgaste de la quebrada de San José de Charaja .....	65
3.8 Guia de ensayo de la solidez de los agregados frente a la accion de sulfatos.....	66
3.8.1 Equipos y materiales .....	67
3.8.1.1 Tamices .....	67
3.8.1.2 Balanzas .....	68
3.8.1.3 Horno.....	69
3.8.1.4 Termómetro.....	69
3.8.1.5 Recipientes para muestras.....	70
3.8.1.6 Solución necesaria.....	70

3.8.1.6.1 Densidad para solución con 500 g de sulfato.....	71
3.8.1.6.2 Densidad para solución con 700 g de sulfato.....	72
3.8.1.6.3 Densidad para solución con 1,400 g de sulfato.....	72
3.8.1.7 Extracción y preparación de los agregados .....	72
3.8.1.7.1 La muestra del agregado fino.....	72
3.8.1.7.2 La muestra del agregado grueso.....	74
3.8.1.8 Ciclos de inmersión y secado.....	74
3.9 Criterios generales.....	76
3.10 Analisis de las granulometrias según AASHTO T 27 .....	76
3.10.1 Analisis granulometrico del rio Camacho la zona del Valle de la Concepción ...	76
3.10.2 Analisis granulometrico del rio Camacho de la zona de San Nicolás.....	77
3.10.3 Analisis granulometrico de la quebrada de San José de Charaja .....	78
3.11 Analisis de resultados del metodo de los sulfatos .....	79
3.11.1 Resumen de resultados de solidez con 500 g de sulfatos de magnesio.....	79
3.11.2 Resumen de resultados de solidez con 700 g de sulfatos de magnesio.....	80
3.11.3 Resumen de resultados de solidez con 1,400 g de sulfatos de magnesio.....	81
3.12 Analisis de resultados del desgaste de los Angeles .....	81
3.13 Resumen del desgaste para ver cuanto aumenta por influencia del sulfato .....	83
3.14 Curva de porcentaje de sulfato y desgaste .....	85

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1 Análisis estadístico del desgaste con 500g de sulfato de magnesio.....	92
4.2 Análisis estadístico del desgaste con 700g de sulfato de magnesio.....	93

4.3 Análisis estadístico del desgaste con 1400g de sulfato de magnesio.....	95
4.4 Planteamiento de la hipótesis .....	97
4.4.1 Hipótesis de la investigación.....	97
4.4.2 La media muestral y poblacional .....	97
4.4.3 Nivel de significancia.....	98
4.4.4 Determinación de la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula $H_0$ .....	98
4.4.5 Determinación de la función pivotal .....	98

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1 Conclusiones .....	101
4.2 Recomendaciones.....	102

#### Bibliografía

Anexo 1: Especificaciones técnicas

Anexo 2: Ensayos con muestras naturales

Anexo 3: Ensayos con muestras con 500 g de sulfato de magnesio

Anexo 4: Ensayos con muestras con 700 g de sulfato de magnesio

Anexo 5: Ensayos con muestras con 1400 g de sulfato de magnesio



## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Esquema de actividades.....	9
Figura 2: Componentes del concreto en porcentajes.....	18
Figura 3: Puntos de las canteras naturales.....	41
Figura 4: Ubicación del Valle de la Concepción.....	45
Figura 5: Áridos del rio Camacho localidad Valle de la Concepción.....	47
Figura 6: Ubicación de San Nicolás.....	47
Figura 7: Áridos del rio Camacho localidad San Nicolás.....	49
Figura 8: Ubicación de San José.....	49
Figura 9: Áridos de la quebrada de San José.....	51
Figura 10: Curva granulométrica del Zona del Valle de la Concepción.....	54
Figura 11: Curva granulométrica de la zona de San Nicolás.....	55
Figura 12: Curva granulométrica de la quebrada de San José de Charaja.....	56
Figura 13: Ensayo con sulfato de magnesio.....	58
Figura 14: Máquina del desgaste de los Ángeles.....	61
Figura 15: Tamices.....	68
Figura 16: Agregados retenido en tamiz.....	68
Figura 17: Peso del tamiz.....	68
Figura 18: Horno.....	69
Figura 19: Termómetro.....	69
Figura 20: Fuente para el agregado.....	70
Figura 21: Preparación de la solución.....	71

Figura 22: Lavado de la muestra.....	73
Figura 23: Muestras con sulfato.....	75
Figura 24: Muestras horneas y enfriando a temperatura ambiente.....	76
Figura 25: Curva granulométrica del agregado fino del Valle de Concepción.....	76
Figura 26: Curva granulométrica del agregado grueso del Valle de la Concepción.....	77
Figura 27: Curva granulométrica del agregado fino de San Nicolás.....	77
Figura 28: Curva granulométrica del agregado grueso de San Nicolás.....	78
Figura 29: Curva granulométrica del agregado fino de San José.....	78
Figura 30: Curva granulométrica del agregado grueso de San José.....	79
Figura 31: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del VC....	85
Figura 32: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del VC....	86
Figura 33: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del VC...86	
Figura 34: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SN....	87
Figura 35: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SN....	88
Figura 36: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SN...88	
Figura 37: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SJ.....	89
Figura 38: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SJ.....	90
Figura 39: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SJ....	90
Figura 40: Curva de distribución normal.....	99

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Variable independiente.....	5
Tabla 2: Variable dependiente.....	6
Tabla 3: Listado de actividades.....	8
Tabla 4: Características de los agregados.....	20
Tabla 5: Especificaciones técnicas.....	21
Tabla 6: Confianza.....	38
Tabla 7: Objeto de investigación.....	38
Tabla 8: Ensayos a realizar.....	39
Tabla 9: Caracterización por sondeo en las canteras.....	40
Tabla 10: Granulometrías de la zona del Valle de la Concepción.....	54
Tabla 11: Resumen granulométrico del Valle de la Concepción.....	55
Tabla 12: Granulometrías de la zona de San Nicolás.....	55
Tabla 13: Resumen granulométrico de la zona de San Nicolás.....	56
Tabla 14: Granulometrías de la quebrada de San José de Charaja.....	56
Tabla 15: Resumen granulométrico de la quebrada de San José de Charaja.....	57
Tabla 16: Solidez con 500g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción.....	58
Tabla 17: Solidez con 700g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción.....	58
Tabla 18: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción.....	59
Tabla 19: Solidez con 500g de sulfato de magnesio de San Nicolás.....	59
Tabla 20: Solidez con 700g de sulfato de magnesio de San Nicolás.....	59
Tabla 21: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio de San Nicolás.....	60
Tabla 22: Solidez con 500g de sulfato de magnesio de San José.....	60

Tabla 23: Solidez con 700g de sulfato de magnesio de San José.....	60
Tabla 24: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio de San José.....	61
Tabla 25: Método de desgaste en función a la granulometría.....	62
Tabla 26: Resumen desgaste del Valle de Concepción del suelo natural.....	62
Tabla 27: Resumen desgaste de las muestras con 500 g de sulfato del Valle.....	63
Tabla 28: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato del Valle.....	63
Tabla 29: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato del Valle.....	63
Tabla 30: Resumen desgaste de San Nicolás del suelo natural.....	64
Tabla 31: Resumen desgaste de las muestras con 500 g de sulfato en San Nicolás.....	64
Tabla 32: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato en San Nicolás.....	64
Tabla 33: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato en San Nicolás.....	65
Tabla 34: Resumen desgaste de San José del suelo natural.....	65
Tabla 35: Resumen desgaste de las muestras con 500 g de sulfato en San José.....	65
Tabla 36: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato en San José.....	66
Tabla 37: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato en San José.....	66
Tabla 38: Tamaño nominales de aberturas.....	67
Tabla 39: Especificación de las fracciones del agregado fino.....	73
Tabla 40: Especificación de las fracciones del agregado grueso.....	74
Tabla 41: Resumen de solidez con 500g de sulfato.....	79
Tabla 42: Resumen de solidez con 700g de sulfato.....	80
Tabla 43: Resumen de solidez con 1400g de sulfato.....	81
Tabla 44: Resumen de desgaste de los Ángeles del suelo natural.....	81
Tabla 45: Resumen del desgaste de las muestras con 500 g de sulfato.....	82
Tabla 46: Resumen del desgaste de las muestras con 700 g de sulfato.....	82

Tabla 47: Resumen del desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato.....	83
Tabla 48: Resumen del desgaste del Valle de Concepción .....	83
Tabla 49: Resumen del desgaste de San Nicolás.....	84
Tabla 50: Resumen del desgaste de San José.....	84
Tabla 51: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del VC.....	85
Tabla 52: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del VC.....	85
Tabla 53: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del VC.....	86
Tabla 54: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SN.....	87
Tabla 55: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SN.....	87
Tabla 56: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SN.....	88
Tabla 57: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SJ .....	89
Tabla 58: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SJ.....	89
Tabla 59: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SJ.....	90
Tabla 60: Desgaste con 500 g de sulfato magnesio.....	92
Tabla 61: Estadística descriptiva del desgaste con 500g de sulfato del agregado grueso.	92
Tabla 62: Estadística inferencial del desgaste con 500g de sulfato del agregado grueso.	92
Tabla 63: Estadística descriptiva del desgaste con 500g de sulfato para agregado fino...	93
Tabla 64: Estadística inferencial del desgaste con 500g de sulfato para agregado fino...	93
Tabla 65: Desgaste con 700 g de sulfato magnesio.....	93
Tabla 66: Estadística descriptiva del desgaste con 700g de sulfato del agregado grueso.	94
Tabla 67: Estadística inferencial del desgaste con 700g de sulfato del agregado grueso.	94
Tabla 68: Estadística descriptiva del desgaste con 700g de sulfato para agregado fino...	94
Tabla 69: Estadística inferencial del desgaste con 700g de sulfato para agregado fino....	95
Tabla 70: Desgaste con 1400 g de sulfato magnesio .....	95

Tabla 71: Estadística descriptiva del desgaste con 1400g de sulfato de agregado grueso	95
Tabla 72: Estadística inferencial del desgaste con 1400g de sulfato de agregado grueso	96
Tabla 73: Estadística descriptiva del desgaste con 1400g de sulfato para agregado fino.	96
Tabla 74: Estadística inferencial del desgaste con 1400g de sulfato para agregado fino.	96
Tabla 75: La media muestral.....	97
Tabla 76: Distribución t Student de dos cola.....	98
Tabla 77: Desviación estándar.....	99