

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y ECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS ÓPTIMO EN UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE**

**Por:**

**SERGIO CASTELLANOS LEMA**

Tesis de Grado presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para obtener el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

**JULIO DE 2014**

**TARIJA – BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

A mi querido tío Nano, por demostrarme que aunque la adversidad sea muy grande, con fe, esperanza y amor, uno puede lograr grandes cosas.

# **INDICE DE CONTENIDO**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	5
1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	9
1.4 PROBLEMA.....	9
1.5 OBJETIVOS.....	9
1.5.1 GENERAL.....	10
1.5.2 ESPECÍFICOS.....	10
1.6 HIPOTESIS.....	10
1.7 DISEÑO METODOLOGICO.....	11
1.7.1 UNIDAD DE ESTUDIO U OBSERVACIÓN.....	11
1.7.2 VARIABLES.....	11
1.7.3 POBLACIÓN.....	11
1.7.4 MUESTRA.....	11
1.7.5 MUESTREO.....	12
1.7.6 MÉTODOS, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS.....	12
1.7.6.1 METODOLOGÍA.....	12
1.7.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	15
1.7.8 APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	16

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA TRÁNSITO VEHICULAR**

2.1 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	16
2.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.....	16

2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	17
2.1.2.1 PAVIMENTO RÍGIDO.....	17
2.1.2.2 PAVIMENTO FLEXIBLE.....	18
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ASFALTO.....	18
2.2.1 DEFINICIÓN DE ASFALTO.....	18
2.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO.....	19
2.2.2.1 ADHESIÓN Y COHESIÓN.....	19
2.2.2.2 SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA.....	20
2.2.2.3 DURABILIDAD.....	21
2.2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO.....	21
2.3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	24
2.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR PENETRACIÓN.....	24
2.3.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD.....	25
2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	27
2.4.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	27
2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	28
2.4.2.1 POR FRACCIONES DE AGREGADO PÉTREO EMPLEADO.....	28
2.4.2.2 POR LA TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA.....	28
2.4.2.3 POR LA PROPORCIÓN DE VACÍOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	28
2.4.2.4 POR EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO PÉTREO.....	29
2.4.2.5 POR LA ESTRUCTURA DEL AGREGADO PÉTREO.....	29
2.4.2.6 POR LA GRANULOMETRÍA.....	29
2.4.3 TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	30
2.4.3.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....	30
2.4.3.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.....	31
2.4.3.3 MEZCLA POROSA O DRENANTE.....	32

2.4.3.4 MICROAGLOMERADOS.....	32
2.4.4 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	32
2.4.4.1 PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS.....	32
2.4.4.2 CONTENIDO DE ASFALTO (%).....	33
2.4.4.3 DENSIDAD MÁXIMA REAL DE LA MEZCLA (gr/cm <sup>3</sup> ).....	35
2.4.4.4 DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (gr/cm <sup>3</sup> ).....	36
2.4.4.5 VACÍOS DE LA MEZCLA (%).....	37
2.4.4.6 VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL V.A.M. (%).....	39
2.4.4.7 RELACIÓN BETUMEN VACÍOS (%).....	43
2.4.4.8 ESTABILIDAD DE LA MEZCLA (Lb).....	44
2.4.4.9 FLUENCIA DE LA MEZCLA (1/100").....	45
2.4.4.10 RELACIÓN ESTABILIDAD – FLUENCIA.....	46
2.4.4.11 ADHERENCIA AGREGADOS – CEMENTO ASFÁLTICO.....	47
2.4.5 MÉTODOS DE MEZCLADO.....	50
2.4.5.1 MEZCLA EN PLANTA.....	50
2.4.5.2 MEZCLA EN SITIO.....	55
2.4.6 TIPOLOGÍAS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	58
2.4.6.1 FALLOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	59
2.4.6.2 EXUDACIONES.....	60
2.4.6.3 SEGREGACIONES.....	61
2.4.6.4 DESPLAZAMIENTO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	63
2.4.6.5 TEXTURA SUPERFICIAL INADECUADA.....	64
2.4.6.6 AGRIETAMIENTOS Y FISURAS.....	65
2.4.6.7 BOMBEO DE FINOS.....	67
2.4.6.8 DEFORMACIONES PLÁSTICAS.....	67
2.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.....	70

2.5.1 INTRODUCCIÓN.....	70
2.6 DEFINICIÓN.....	70
2.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES.....	72
2.6.1.1 VENTAJAS.....	72
2.6.1.2 DESVENTAJAS.....	73
2.7. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMERO.....	74
2.7.1 DEFINICIÓN DE POLÍMERO.....	74
2.7.2 ¿QUÉ ES UN ASFALTO MODIFICADO?.....	75
2.7.3 PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO.....	75
2.7.4 ¿POR QUÉ SE MODIFICAN LOS ASFALTOS?.....	77
2.7.5 MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.....	78
2.7.6 ESTRUCTURA DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS.....	78
2.7.7 COMPATIBILIDAD DE LOS POLÍMEROS.....	79
2.7.8 TECNICAS PARA MODIFICAR ASFALTOS.....	81
2.7.9 CAMBIO DE PROPIEDADES EN EL LIGANTE ASFÁLTICO.....	82
2.7.10 APLICACIONES DEL ASFALTO MODIFICADO.....	84
2.7.11 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA DRENANTE.....	85
2.8. MÉTODOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES. .....	86
2.9. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS MEDIANTE EL EMPLEO DEL ENSAYO CANTABRO.....	88
2.9.1. METODOLOGÍA.....	90

### CAPÍTULO III

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS Y ASFALTO PARA LAS MEZCLAS DRENANTES

3.1 INTRODUCCIÓN.....	96
-----------------------	----

<b>3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS AGREGADOS DE MEZCLAS DRENANTES.....</b>	<b>96</b>
<b>3.2.1 AGREGADO GRUESO.....</b>	<b>97</b>
<b>3.2.2 AGREGADO FINO.....</b>	<b>98</b>
<b>3.2.3 RELLENO MINERAL (FILLER).....</b>	<b>98</b>
<b>3.3 ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS.....</b>	<b>99</b>
<b>3.3.1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA.....</b>	<b>100</b>
<b>3.3.2 CONTENIDO DE HÚMEDAD EN ESTADO NATURAL PARA LA GRAVA Y AGREGADO FINO.....</b>	<b>100</b>
<b>3.3.3 PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS.....</b>	<b>100</b>
<b>3.3.4 CARAS FRACTURADAS.....</b>	<b>100</b>
<b>3.3.5 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....</b>	<b>101</b>
<b>3.3.6 EQUIVALENTE DE ARENA.....</b>	<b>102</b>
<b>3.4 ESPECIFICACIONES PARA EL ASFALTO DE MEZCLAS DRENANTES.....</b>	<b>103</b>
<b>3.5 ENSAYOS DEL ASFALTO.....</b>	<b>105</b>
<b>3.5.1 PUNTO DE LLAMA POR LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND.....</b>	<b>106</b>
<b>3.5.2 PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS.....</b>	<b>107</b>
<b>3.5.3 VISCOSIDAD CINEMÁTICA SAYBOLT FUROL.....</b>	<b>108</b>
<b>3.5.4 PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO.....</b>	<b>109</b>
<b>3.5.5 PUNTO DE ABLANDAMIENTO.....</b>	<b>109</b>
<b>3.5.6 TABLA RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO A UTILIZARCE.....</b>	<b>110</b>

#### **CAPÍTULO IV**

#### **DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

<b>4.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>111</b>
<b>4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....</b>	<b>111</b>

4.2.1 PLANILLA GRANULOMÉTRICA PROYECTADA.....	115
4.2.2 GRÁFICA DE LA GRANULOMETRÍA Y DOSIFICACIÓN REALIZADAS.....	116
4.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE.....	120
4.3.1. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS.....	122
4.3.2. VACÍOS.....	126
4.3.2.1. DENSIDAD BULK.....	126
4.3.2.2 DENSIDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA.....	135
4.3.2.3 CÁLCULO DE VACÍOS.....	138
4.3.3 ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	139
4.3.4 CÁNTABRO SECO (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES).....	141
4.3.5 CANTABRO HÚMEDO (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES).....	144
4.4 RESUMEN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIOS.....	146
4.4.1 ANÁLISIS No. 1.....	148
4.4.2 ANÁLISIS No. 2.....	150
4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO CÁNTABRO. .....	154
4.6 DISEÑO MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL.....	154
4.6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MÉTODO MARSHALL.....	159

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	160
5.2. RECOMENDACIONES.....	163
5.3 BIBLIOGRAFIA.....	164

## ANEXOS

6.1 ANEXO 1: RESUMEN GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.....	168
6.2 ANEXO 2: CONTENIDO DE HÚMEDAD EN ESTADO NATURAL PARA LA GRAVA Y AGREGADO FINO.....	171



<b>6.3 ANEXO 3: PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS.....</b>	<b>174</b>
<b>6.4 ANEXO 4: ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS.....</b>	<b>178</b>
<b>6.5 ANEXO 5: COEFICIENTE DE DESGASTE DE LOS ANGELES.....</b>	<b>179</b>
<b>6.6 ANEXO 6: EQUIVALENTE DE ARENA.....</b>	<b>182</b>
<b>6.7 ANEXO 7: PUNTO DE LLAMA POR LA COPA ABIERTRA DE CLEVELAND.....</b>	<b>184</b>
<b>6.8 ANEXO 8: PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS.....</b>	<b>185</b>
<b>6.9 ANEXO 9: VISCOSIDAD CINEMATICA SAYBOLT FUROL.....</b>	<b>186</b>
<b>6.10 ANEXO 10: PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO.....</b>	<b>187</b>
<b>6.11 ANEXO 11: DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO.....</b>	<b>188</b>