

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON  
ESPUMA EXPANSIVA A BASE DE PAVIMENTO RECICLADO EN FRÍO”**

Por:

**MUGUERTEGUI ONOFRE HERNAN BRIAN**

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

**SEMESTRE I - 2016**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON  
ESPUMA EXPANSIVA A BASE DE PAVIMENTO RECICLADO EN FRÍO”**

Por:

**MUGUERTEGUI ONOFRE HERNAN BRIAN**

**SEMESTRE I - 2016**

**TARIJA – BOLIVIA**

---

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

---

M.Sc. Ing. Silvana S. Paz Ramírez  
**VICE DECANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGIA**

TRIBUNAL:

---

Ing. Mabel Zambrana Velasco

---

Ing. Jhon C. Ichazo Llanos

---

Ing. Moisés E. Díaz Ayarde

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

**DEDICATORIA:**

A Dios y a mi madre, Enriqueta Onofre Montes por ese amor incondicional, por acompañarme día a día, ser mi ejemplo de vida y superación.

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios, familia, Docentes, amigos, a las personas que colaboraron con este trabajo, al Ing. Manuel Ochoa y Luis Yurquina por acompañarme en esta etapa de mi vida.

Hay una fuerza motriz más  
poderosa que el vapor, la  
electricidad y la energía atómica:  
la voluntad

*Albert Einstein*

## RESUMEN

El asfalto modificado con espuma expansiva es una técnica relativamente nueva en su uso que permite producir mezclas asfálticas de un modo diferente a las convencionales, la estructura del pavimento modificado es muy parecido al de las mezclas tradicionales con la excepción que se debe considerar la humedad de la mezcla y éstas serán mezclas en frío para así poder mejorar las condiciones de resistencia de las bases de los pavimentos existentes, construidos con materiales de menor calidad que los requeridos por las Normas bolivianas, y que hoy se encuentran en un considerable estado de deterioro.

Como consecuencia de la interrogante sobre la aplicabilidad del método en la región, se plantea desarrollar una investigación desde el punto de vista técnico, para demostrar que una mezcla reciclada con asfalto espumado, brinda las características necesarias en una mezcla en frío con emulsión para la elaboración de una capa de rodadura

Diversos estudios internacionales han determinado parámetros para mejorar la eficiencia del proceso relacionados con: Temperatura del asfalto, presión de espumado del asfalto, viscosidad del asfalto, tamaño del recipiente donde se espuma en laboratorio, banda Granulométrica, utilización de Filler, contenido de RAP, Cantidad de finos y algunos estudios de contenido óptimo de asfalto que serán estudiados.

Se espumará el pavimento reciclado dosificando cantidades de espuma entre un rango del 2 a 4% del peso de la muestra sugerido por la bibliografía con un contenido óptimo de humedad al 75% a reciclar, variando cada 0,4%, se espumará el cemento asfáltico con la sencilla máquina fabricada, se variara los porcentajes de agua 5 veces y con 5 diferentes temperaturas para cada cantidad de agua para poder realizar el diseño Marshall Modificado.

Se procederá a realizar un análisis comparativo de una mezcla reciclada con asfalto espumado y una mezcla en frío con emulsión, detallando cada una de las propiedades y características que plantean los mencionados métodos de diseño. Obteniendo como resultados que mecánicamente, las mezclas recicladas reúnen todos los requisitos necesarios para ser aplicadas en carpeta de pavimento con el empleo de un equipo adecuado para este fin.

Hasta el momento, no se tiene documentación de técnicas o métodos de reciclado en el país por lo que se recomienda un estudio detallado de las alternativas de nuevos diseños de mezclas asfálticas.



## INDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

#### ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON ESPUMA

##### EXPANSIVA A BASE DE PAVIMENTO RECICLADO EN FRÍO

1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	JUSTIFICACIÓN	3
1.3	SITUACIÓN PROBLEMICA	4
1.4	DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5	OBJETIVOS	5
1.5.1	GENERAL	5
1.5.2	ESPECÍFICOS	5
1.6	HIPÓTESIS	6
1.7	ALCANCE	6
1.8	DEFINICIÓN DE VARIABLES	8
1.9	DISEÑO METODOLÓGICO	10
1.9.1	COMPONENTES	10
1.9.2	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	10

### CAPÍTULO II

#### GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO, EMULSIONES ASFÁLTICAS, AGREGADOS, MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADAS, ASFALTO ESPUMADO Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO.

2.1	EL CEMENTO ASFÁLTICO	15
2.1.1	DEFINICIÓN	15
2.1.2	REFINACIÓN DEL PETROLEO CRUDO PARA LA OBTENCION DEL CEMENTO ASFÁLTICO	16
2.1.3	ENSAYOS PARA CARACTERIZAR EL CEMENTO ASFÁLTICO	17
2.2	EMULSIONES ASFÁLTICAS	18
2.2.1	GENERALIDADES	18
2.2.2	CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS	19
2.3	AGREGADOS PARA EL USO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	22
2.3.1	GENERALIDADES	22
2.3.2	TIPOS DE AGREGADOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	23
2.3.3	ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS	26

<b>2.4</b>	<b>MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO</b>	<b>27</b>
2.4.1	DEFINICIÓN	27
2.4.2	TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	27
2.4.3	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	31
<b>2.5</b>	<b>MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS, ASFALTO ESPUMADO</b>	<b>42</b>
2.5.1	INTRODUCCIÓN Y ORIGEN	42
2.5.2	TÉCNICAS DE RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO	43
2.5.3	OBTENCIÓN DE ASFALTO ESPUMADO	46
2.5.4	CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO ESPUMADO	46
2.5.5	PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS ESPUMADOS	50
2.5.6	CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DE LA MEZCLA	55
2.5.7	MEZCLAS Y MATERIALES TRATADOS CON ASFALTO EXPUMADO	58
2.5.8	PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE LA MEZCLA	62
2.5.9	CONDICIONES DE CURADO	64
2.5.10	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL RECICLADO EN FRÍO CON ASFALTO ESPUMADO	65
2.5.11	ALTERNATIVAS Y COSTOS DE RECICLADORAS	66
2.5.12	LA ECONOMÍA Y EFICIENCIA DEL RECLADO EN FRÍO CON ASFALTO ESPUMADO	69
<b>2.6</b>	<b>DISEÑO MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>	<b>69</b>
2.6.1	DESCRIPCIÓN	69
2.6.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL	72

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO, Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRÍO CON ASFALTO ESPUMADO.**

<b>3.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>74</b>
<b>3.2</b>	<b>UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL</b>	<b>75</b>
3.2.1	MUESTRA	75
3.2.2	MUESTREO	75
3.2.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	76
3.2.4	PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN	76
<b>3.3</b>	<b>ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS</b>	<b>77</b>

3.3.1	GRANULOMETRÍA	77
3.3.2	PESO ESPECÍFICO	82
3.3.3	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	85
3.3.4	CARAS FRACTURADAS	85
3.3.5	DESGASTE DE LOS ÁNGELES	87
3.3.6	EQUIVALENTE DE ARENA	89
3.3.7	PROCTOR MODIFICADO T-180 – RAP	91
3.4	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	92
3.5	RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA	99
3.6	CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	105
3.6.1	ENSAYO RESIDUO POR EVAPORACIÓN	105
3.6.2	VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL (ASTM D 244).	106
3.6.3	TAMIZADO DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA EN MALLA #20	107
3.6.4	ENSAYO DE MISCIBILIDAD CON AGUA	108

#### **CAPÍTULO IV**

#### **DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICA Y MEZCLA RECICLADA CON EL METODO DE ESPUMA EXPANSIVA.**

4.1	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICA	109
4.1.1	DOSIFICACIÓN POR LA FÓRMULA BÁSICA TANTEOS SUCESIVOS	109
4.2	DOSIFICACIÓN DE BRIQUETAS PARA MEZCLA RECICLADAS CON ASFALTO ESPUMADO	123
4.2.1	DOSIFICACIÓN TENTATIVA POR TANTEOS DEL RAP.	123
4.3	CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE MEZCLA EN FRÍO CON EMULSIÓN	131
4.3.1	RESUMEN CARACTERÍSTICAS MARSHALL EN FRÍO CON EMULSIÓN.	132
4.4	CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE LA MEZCLA RECICLADA CON ASFALTO ESPUMADO.	136
4.4.1	RESUMEN CARACTERISTICAS MARSHALL RECICLADO EN FRIO CON ASFALTO ESPUMADO	137
4.5	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	141
4.5.1	RESULTADOS DE LABORATORIO DEL CEMENTO ASFALTICO	141
4.5.2	RESULTADOS DE LABORATORIO EMULSIÓN ASFÁLTICA	141
4.5.3	RESULTADO AGREGADOS	142

<b>4.5.4</b>	<b>RELACIÓN DE EXPANCIÓN Y VIDA MEDIA DEL ASFALTO ESPUMADO</b>	<b>142</b>
<b>4.5.5</b>	<b>DOSIFICACION POR EL MÉTODO DE TANTEOS</b>	<b>144</b>
<b>4.6</b>	<b>CARACTERISTICAS MARSHALL DE UNA MEZCLA EN FRÍO CON EMULSIÓN VS. CARACTERISTICAS DE UNA MEZCLA EN FRÍO RECICLADA CON ESPUMA EXPANSIVA</b>	<b>147</b>

**CAPÍTULO V  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>156</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>158</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**CAPÍTULO II**

**GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO,  
EMULSIONES ASFÁLTICAS, AGREGADOS, MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADAS,  
ASFALTO ESPUMADO Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS EN  
FRÍO.**

Figura 2.1	<b>Diagrama del proceso de extracción del asfalto</b>	<b>17</b>
Figura 2.2	<b>Diagrama de una Emulsión</b>	<b>18</b>
Figura 2.3	<b>Representación Pictórica</b>	<b>20</b>
Figura 2.4	<b>Distribución de Esfuerzos</b>	<b>27</b>
Figura 2.5	<b>Distribución de volúmenes en una mezcla asfáltica</b>	<b>35</b>
Figura 2.6	<b>Diagrama de partículas en la mezcla asfáltica</b>	<b>37</b>
Figura 2.7	<b>Ejemplo de Vida Media Vs. Relación de Expansión</b>	<b>48</b>
Figura 2.8	<b>Características del asfalto espumado en función del agua inyectada</b>	<b>49</b>
Figura 2.9	<b>Dimensiones medidas en una burbuja de asfalto</b>	<b>51</b>
Figura 2.10	<b>Clasificación de materiales granulares para su uso con A.E.</b>	<b>56</b>
Figura 2.11	<b>Wirtgen WR 2500 S, tracción en las 4 ruedas</b>	<b>67</b>
Figura 2.12	<b>Wirtgen WR 2500 S, Dirección versátil</b>	<b>68</b>

**CAPÍTULO III**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, Y  
CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ASFALTO  
ESPUMANDO Y TRADICIONAL.**

Figura 3.1	<b>Curva granulométrica – Grava de 3/4”</b>	<b>78</b>
Figura 3.2	<b>Curva granulométrica – Grava de 3/8”</b>	<b>79</b>

Figura 3.3	<b>Curva granulométrica – material fino (Arena)(filler)</b>	<b>80</b>
Figura 3.4	<b>Curva granulométrica – material RAP</b>	<b>81</b>
Figura 3.5	<b>Curva Proctor modificado T-180</b>	<b>92</b>
Figura 3.6	<b>Relación de Expansión (azul) Vs. Vida Media (rojo) – 140 °C</b>	<b>100</b>
Figura 3.7	<b>Relación de Expansión (azul) Vs. Vida Media (rojo) – 150 °C</b>	<b>101</b>
Figura 3.8	<b>Relación de Expansión (azul) Vs. Vida Media (rojo) – 160 °C</b>	<b>102</b>
Figura 3.9	<b>Relación de Expansión (azul) Vs. Vida Media (rojo) – 170 °C</b>	<b>103</b>
Figura 3.10	<b>Relación de Expansión (azul) Vs. Vida Media (rojo) – 180 °C</b>	<b>104</b>

#### **CAPITULO IV**

#### **DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICA Y MEZCLA RECICLADA CON EL MÉTODO DE ESPUMA EXPANSIVA.**

Figura 4.1	<b>Curva granulométrica</b>	<b>111</b>
Figura 4.2	<b>Contenido Óptimo De Recubrimiento De La Mezcla</b>	<b>113</b>
Figura 4.3	<b>Curva granulométrica del RAP.</b>	<b>124</b>
Figura 4.4	<b>Vacíos De La Mezcla Total Vs. % Emulsión</b>	<b>132</b>
Figura 4.5	<b>Densidad de la mezcla total Vs. % Emulsión</b>	<b>133</b>
Figura 4.6	<b>Vacíos Del Agregado Mineral Vs. % Emulsión</b>	<b>133</b>
Figura 4.7	<b>Densidad De La Mezcla Total Vs. % Emulsión</b>	<b>134</b>
Figura 4.8	<b>FLUENCIA VS. % EMULSIÓN</b>	<b>134</b>
Figura 4.9	<b>Estabilidad vs Emulsión</b>	<b>137</b>
Figura 4.10	<b>Vacíos De La Mezcla Total Vs. % Asf – Espumado</b>	<b>139</b>
Figura 4.11	<b>Densidad De La Mezcla Total Vs. %Asf – Espumado</b>	<b>140</b>

Figura 4.12	<b>Vacíos Del Agregado Mineral Vs. %Asf – Espumado</b>	<b>140</b>
Figura 4.13	<b>Relación Betumen Vacíos Vs. %Asf – Espumado</b>	<b>141</b>
Figura 4.14	<b>Fluencia Vs. %Asf – Espumado</b>	<b>141</b>
Figura 4.15	<b>Estabilidad Vs. %Asf – Espumado</b>	<b>142</b>
Figura 4.16	<b>Comparativa de Densidad Real</b>	<b>145</b>
Figura 4.17	<b>Comparativa de Porcentaje de vacíos de la mezcla total</b>	<b>149</b>
Figura 4.18	<b>Comparativa de estabilidad Marshall</b>	<b>151</b>
Figura 4.19	<b>Comparativa de fluencia Marshall</b>	<b>153</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

#### GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO, EMULSIONES ASFÁLTICAS, AGREGADOS, MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADAS, ASFALTO ESPUMADO Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO.

Tabla 2.1	<b>Tipos de dispersiones</b>	<b>19</b>
Tabla 2.2	<b>Clasificación de emulsiones</b>	<b>22</b>
Tabla 2.3	<b>Grados Estándar Del Filler Mineral</b>	<b>25</b>
Tabla 2.4	<b>Valores recomendados para los V.A.M.</b>	<b>36</b>
Tabla 2.5	<b>Tipos De Reciclado Con Emulsión</b>	<b>45</b>
Tabla 2.6	<b>Rango de valores de diseño estructural sugerido por WRITGEN</b>	<b>55</b>

Tabla 2.7	<b>Clasificación de suelos y conveniencia para el tratado con asfalto espumado</b>	<b>59</b>
Tabla 2.8	<b>Tiempo de curado de mezclas asfálticas tratadas con asfalto espumado</b>	<b>66</b>
Tabla 2.9	<b>Especificaciones del equipo WR 2500 S</b>	<b>66</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, RAP, CEMENTO ASFÁLTICO, RELACIÓN DE EXPANSIÓN Y VIDA MEDIA DE LA ESPUMA EXPANSIVA Y CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN**

Tabla 3.1	<b>Granulometría - Grava de ¾</b>	<b>78</b>
Tabla 3.2	<b>Resumen granulométrico - Grava de 3/8"</b>	<b>79</b>
Tabla 3.3	<b>Granulometría fino(arena)</b>	<b>80</b>
Tabla 3.4	<b>Granulometría – material RAP</b>	<b>81</b>
Tabla 3.5	<b>Peso específico de la grava de ¾"</b>	<b>83</b>
Tabla 3.6	<b>Peso específico de la grava de 3/8"</b>	<b>83</b>
Tabla 3.7	<b>Peso específico del material fino (Arena)</b>	<b>84</b>
Tabla 3.8	<b>Peso específico del material RAP</b>	<b>85</b>
Tabla 3.9	<b>Contenido de humedad natural de los agregados</b>	<b>85</b>
Tabla 3.10	<b>Caras fracturadas material de ¾"</b>	<b>86</b>
Tabla 3.11	<b>Caras fracturadas, material de 3/8"</b>	<b>86</b>
Tabla 3.12	<b>Caras fracturadas, material de RAP</b>	<b>87</b>
Tabla 3.13	<b>Desgaste de Los Ángeles, material de ¾"</b>	<b>88</b>



Tabla 3.14	<b>Desgaste de Los Ángeles, material de 3/8”</b>	<b>89</b>
Tabla 3.15	<b>Desgaste de Los Ángeles, material RAP</b>	<b>89</b>
Tabla 3.16	<b>Equivalente de arena</b>	<b>90</b>
Tabla 3.17	<b>Equivalente de arena RAP</b>	<b>90</b>
Tabla 3.18	<b>Datos y cálculos proctor</b>	<b>91</b>
Tabla 3.19	<b>Resultados Viscosidad Saybolt Furol</b>	<b>93</b>
Tabla 3.20	<b>Resultados punto de inflamación</b>	<b>95</b>
Tabla 3.21	<b>Resultados ensayo de penetración</b>	<b>96</b>
Tabla 3.22	<b>Resultados ensayo de Ductilidad</b>	<b>97</b>
Tabla 3.23	<b>Resultados ensayo de Ductilidad</b>	<b>98</b>
Tabla 3.24	<b>1er Ensayo – 140°C - RE vs VM</b>	<b>100</b>
Tabla 3.25	<b>2do Ensayo – 150°C - RE vs VM</b>	<b>101</b>
Tabla 3.26	<b>3ero Ensayo - 160°C - RE vs VM</b>	<b>102</b>
Tabla 3.27	<b>4to Ensayo - 170°C - RE vs VM</b>	<b>103</b>
Tabla 3.28	<b>5to Ensayo - 180°C - RE vs VM</b>	<b>104</b>
Tabla 3.29	<b>Resumen de resultados</b>	<b>105</b>
Tabla 3.30	<b>Resumen de resultados Viscosidad</b>	<b>107</b>
Tabla 3.31	<b>Porcentaje Retenido Tamiz N° 20</b>	<b>107</b>

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICA Y MEZCLA RECICLADA CON EL MÉTODO DE ESPUMA EXPANSIVA.

Tabla 4.1	<b>Dosificación de materiales</b>	<b>110</b>
Tabla 4.2	<b>Resumen de test de cubrimiento</b>	<b>113</b>
Tabla 4.3	<b>RESUMEN DE CONTENIDO DE AGUA</b>	<b>115</b>
Tabla 4.4	<b>Gravedad Bulk</b>	<b>116</b>
Tabla 4.5	<b>Resumen Gravedad Bulk</b>	<b>117</b>
Tabla 4.6	<b>Dosificación de materiales retenidos por tamiz – 6,9 % Emulsión</b>	<b>118</b>
Tabla 4.7	<b>Dosificación de materiales retenidos por tamiz – 7,9 % Emulsión</b>	<b>119</b>
Tabla 4.8	<b>Dosificación de materiales retenidos por tamiz – 8,9 % Emulsión</b>	<b>120</b>
Tabla 4.9	<b>Dosificación de materiales retenidos por tamiz – 9,9 % Emulsión</b>	<b>121</b>
Tabla 4.10	<b>Dosificación de materiales retenidos por tamiz – 10,9 % Emulsión</b>	<b>122</b>
Tabla 4.11	<b>Dosificación Tentativa Por Tanteos Del Rap.</b>	<b>123</b>
Tabla 4.12	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz - 1 %Asf. Espumado</b>	<b>125</b>
Tabla 4.13	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz – 1,4 %Asf. Espumado</b>	<b>126</b>
Tabla 4.14	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz – 1,8 %Asf. Espumado</b>	<b>127</b>
Tabla 4.15	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz – 2,2 %Asf. Espumado</b>	<b>128</b>
Tabla 4.16	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz – 2,6 %Asf. Espumado</b>	<b>129</b>
Tabla 4.17	<b>Dosificación granulométrica de RAP retenidos por tamiz - 3 %Asf. Espumado</b>	<b>130</b>

Tabla 4.18	<b>CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE MEZCLA EN FRÍO CON EMULSIÓN</b>	<b>131</b>
Tabla 4.19	<b>RESUMEN CARACTERÍSTICAS MARSHALL EN FRÍO CON EMULSIÓN.</b>	<b>132</b>
Tabla 4.20	<b>CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE LA MEZCLA RECICLADA CON ASFALTO ESPUMADO.</b>	<b>136</b>
Tabla 4.21	<b>RESUMEN CARACTERISTICAS MARSHALL RECICLADO EN FRIO CON ASFALTO ESPUMADO</b>	<b>137</b>
Tabla 4.22	<b>RESULTADOS DE LABORATORIO CEMENTO ASFÁLTICO</b>	<b>141</b>
Tabla 4.23	<b>RESULTADOS DE LABORATORIO EMULSIÓN ASFÁLTICA</b>	<b>141</b>
Tabla 4.24	<b>RESULTADO AGREGADOS</b>	<b>142</b>
Tabla 4.25	<b>CARACTERÍSTICAS MARSHALL DE UNA MEZCLA EN FRIO CON EMULSIÓN VS. CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA EN FRÍO RECICLADA CON ESPEMA EXPANSIVA</b>	<b>147</b>
Tabla 4.26	<b>Comparativa de porcentaje de vacíos de la mezcla total</b>	<b>148</b>
Tabla 4.27	<b>Comparativa de estabilidad Marshall</b>	<b>151</b>
Tabla 4.28	<b>Comparativa de fluencia Marshall</b>	<b>153</b>
Tabla 4.29	<b>Comparativa de contenido óptimo de asfalto</b>	<b>155</b>

## **ÍNDICE DE ECUACIONES**

### **CAPÍTULO II**

#### **GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE EL CEMENTO ASFÁLTICO, AGREGADOS, MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL, CON ASFALTO ESPUMADO Y ENSAYO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS.**

<b>Ec. 2.1</b>	<b>Peso Específico de los Agregados</b>	<b>31</b>
<b>Ec. 2.2</b>	<b>Densidad Máxima Real de la Mezcla</b>	<b>32</b>
<b>Ec. 2.3</b>	<b>Densidad Máxima Teórica</b>	<b>33</b>

<b>Ec. 2.4</b>	<b>Vacíos de la Mezcla</b>	<b>35</b>
<b>Ec. 2.5</b>	<b>Vacíos del Agregado Mineral</b>	<b>38</b>
<b>Ec. 2.6</b>	<b>Relación Betumen-Vacíos</b>	<b>39</b>
<b>Ec. 2.7</b>	<b>Contenido óptimo de humedad de compactación</b>	<b>-</b>

## **CONTENIDO DE LOS ANEXOS**

### **ANEXO 1 IMÁGENES**

### **ANEXO 2 MEMORIA DE CÁLCULO**

### **ANEXO 3 ESQUEMA DE EQUIPO DE ESPUMADO USADO PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO**

### **ANEXO 4 DOCUMENTACIÓN DE RESPALDO**

### **ANEXO 5 GUÍA DEL PROCEDIMIENTO MARSHALL PROPORCIONADA POR LA ABC Y USADA POR EL SEDECA**