

**DISEÑO POR CONFIABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
CONSIDERANDO CORRELACIONES Y ENSAYOS
APLICADO A LA VÍA ROVIRA IBAGUÉ**

CAREN VIVIANA JIMÉNEZ MENDOZA – 506062
IVÁN JAVIER RUÍZ MORA – 505769

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2020

**DISEÑO POR CONFIABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
CONSIDERANDO CORRELACIONES Y ENSAYOS
APLICADO A LA VÍA ROVIRA-IBAGUÉ**

CAREN VIVIANA JIMÉNEZ MENDOZA – 506062
IVÁN JAVIER RUÍZ MORA – 505769

Proyecto de grado

Asesor: Ingeniero Brayan Gerardo Arévalo Mendoza
Magister en Ingeniería Civil – Geotecnia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 17 de noviembre del 2020

Dedicatoria:

Este trabajo de grado lo dedico a mis padres Carmenza Mendoza y Oscar Jiménez, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y de mi carrera profesional, para cumplir mis sueños y metas, formándome como una persona íntegra llena de principios, valores y sueños.

A mi hermano y demás familia en general por sus buenos consejos, apoyo y entusiasmo que me dieron a lo largo de mi carrera.

A Dios quien es parte fundamental de mi vida, es mi soporte, mi guía y mi fortaleza.

Caren Viviana Jiménez Mendoza

Dedicatoria:

A mis padres cuyas personas fueron el motor que me impulso a iniciar esta maravillosa carrera llamada ingeniería civil, quienes con su apoyo incondicional me dieron las fuerzas necesarias para continuar y superar las adversidades que día a día se presentaron en el camino.

A mi hermano quién con sus consejos y sabiduría me hicieron crecer como persona, y a definir una meta que a día de hoy está próxima a cumplir, este logro no es sólo mío, es de nosotros.

Iván Javier Ruíz Mora

Agradecimientos:

Agradecimiento especial al Ingeniero Brayan Gerardo Arévalo Mendoza, Magister en Ingeniería Civil – Geotecnia, por su dedicación, tiempo, apoyo, paciencia y guía para el desarrollo de este trabajo de grado, ya que gracias a su conocimiento y experiencia brindó la mejor asesoría con total profesionalismo.

A la Universidad Católica de Colombia por haber permitido ser parte de ella, gracias a todos los docentes que brindaron su conocimiento para seguir adelante con esta carrera profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	21
2.	Objetivos.....	22
2.1.	Objetivo general	22
2.2.	Objetivos específicos.....	22
3.	Planteamiento del problema.....	23
4.	Pregunta de investigación	24
5.	Localización geográfica del proyecto	25
6.	Marco teórico	26
6.1.	Método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 1993	26
6.1.1.	Tránsito de diseño	28
6.1.2.	Nivel de confianza R (%)	28
6.1.3.	Error normal combinado, S_o	29
6.1.4.	Nivel de serviciabilidad (ΔIPS).....	30
6.1.5.	Número estructural del pavimento, SN	30
6.1.6.	Módulo resiliente de la Subrasante, M_R	33
6.1.7.	Calidad del drenaje.....	33
6.1.8.	Módulo dinámico de las diferentes capas del pavimento	33
6.2.	CBR – California Bearing Ratio	34
6.2.1.	Correlaciones para determinar el CBR	34
6.3.	Módulo Resiliente, M_R	36
6.3.1.	Correlaciones para determinar el M_R	36
6.3.2.	Módulo Resiliente en materiales granulares	37
6.4.	Secciones homogéneas	38
6.4.1.	Definición de perfil y delimitación de secciones homogéneas.....	39
6.4.2.	Selección de la resistencia de las secciones homogéneas.....	39
6.5.	PDF – Función de densidad de probabilidad	40
6.5.1.	Función de densidad de probabilidad de Frechet (3P).....	40
6.5.2.	Función de densidad de probabilidad de Wakeby.....	40
6.5.3.	Función de densidad de probabilidad Beta	41
6.5.4.	Función de densidad de probabilidad de Johnson SB	41
6.5.5.	Función de densidad de probabilidad de Burr.....	41
6.5.6.	Función de densidad de probabilidad de Gamma.....	42
6.6.	Tránsito	43
6.6.1.	Clasificación de vehículos	43
6.6.2.	Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia.....	44
6.6.3.	Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia	44
6.6.4.	Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo	45
6.6.5.	Rangos de tránsito considerados	46
6.6.6.	Distribución direccional y por carril de vehículos pesados.	46
6.6.7.	Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño para el nivel 2.....	46
7.	Información disponible	50
7.1.	Estudio Geotécnico	50
7.1.1.	Exploración en campo	50
7.1.2.	Ensayos de laboratorio	52
7.1.3.	Resultados de los ensayos.....	52
7.2.	Estudio de Tránsito.....	53

7.2.1.	Periodos de aforos vehiculares.....	53
7.2.2.	Factor sentido.....	60
7.2.3.	Tasa de crecimiento de los volúmenes de tránsito vehicular	61
7.2.4.	Tránsito atraído	61
7.2.5.	Determinación TPD	61
7.2.6.	Estimación de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas	62
7.3.	Diseño de pavimento Consorcio Diseños Rovira	63
7.3.1.	Tránsito	63
7.3.2.	Módulo Resiliente de la Subrasante	63
7.3.3.	Número estructural	64
7.3.4.	Coeficientes estructurales y de drenaje	65
7.3.5.	Estructura de pavimento diseñada.....	66
8.	Determinación de variables.....	67
8.1.	Tránsito de diseño	67
8.2.	CBR - California Bearing Ratio	67
8.3.	MR – Módulo Resiliente.....	68
8.4.	Secciones homogéneas	78
8.4.1.	Clasificación del suelo	78
8.4.2.	Selección de secciones homogéneas.....	80
9.	Diseño de pavimento flexible metodología AASHTO-93	83
9.1.	Variables de diseño	84
9.1.1.	Periodo de diseño.....	84
9.1.2.	Proyección de tránsito (ESAL).....	84
9.1.3.	Nivel de confiabilidad (Z_r)	84
9.1.4.	Desviación estándar (S_o)	84
9.1.5.	Nivel de serviciabilidad (ΔIPS).....	84
9.1.6.	Coeficientes estructurales y de drenaje	84
9.1.7.	Módulo resiliente de la subrasante	85
9.1.8.	Módulo resiliente de la subbase granular	106
9.1.9.	Módulo resiliente de la base granular	107
9.2.	Diseño estructura de pavimento	108
9.2.1.	Espesores de capa por sección homogénea	109
9.2.2.	Espesores de diseño consolidados.....	171
10.	Análisis de resultados	172
10.1.	Comparación Diseño Consorcio Vs. Diseño propio	172
10.1.1.	Variables de diseño.....	172
10.1.2.	Módulo Resiliente de la subrasante	172
10.1.3.	Número estructural (SN)	172
10.1.4.	Estructura de pavimento	173
10.2.	Similitudes y diferencias.....	174
10.2.1.	Similitudes	174
10.2.2.	Diferencias.....	174
10.3.	Confiabilidad de la estructura de pavimento.....	176
10.3.1.	Grado de confiabilidad Carpeta Asfáltica	176
10.3.2.	Grado de confiabilidad Base granular	176
10.3.3.	Grado de confiabilidad Subbase granular	177
11.	Conclusiones	178
	Bibliografía.....	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de confiabilidad	29
Tabla 2 Desviación estándar Z_r	29
Tabla 3 Error normal combinado S_o	30
Tabla 4 Serviciabilidad inicial, P_o	30
Tabla 5 Serviciabilidad final P_t	30
Tabla 6 Espesores mínimos de las capas de pavimento.....	32
Tabla 7 Calidad de drenaje.....	33
Tabla 8 Valores típicos k_1 y k_2 para materiales de base y subbase (MR [psi])	38
Tabla 9 Primer invariantes de tensiones (θ) para la base granular	38
Tabla 10 Primer invariantes de tensiones (θ) para la subbase granular	38
Tabla 11 Valor igualado o excedido de X% de resultados	40
Tabla 12 Valores a los cuales redondear la sección homogénea.....	40
Tabla 13 Esquema clasificación de vehículos.....	43
Tabla 14 Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia	44
Tabla 15 Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia	44
Tabla 16 Ecuaciones simplificadas para el cálculo del factor de equivalencia de carga por eje (AASHTO).....	45
Tabla 17 Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año 1996.....	45
Tabla 18 Rangos de tránsito.....	46
Tabla 19 Rangos de tránsito.....	46
Tabla 20 Localización de apiques.....	51
Tabla 21 Especificaciones técnicas ensayos	52
Tabla 22 Resultados ensayos de laboratorio	52
Tabla 23 Estación Maestra el Totumo La Ye – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho	55
Tabla 24 Estación Maestra el Totumo La Ye – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierdo	56
Tabla 25 Estación Secundaria La Cantera – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho	57
Tabla 26 Estación Secundaria La Cantera – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierdo	58
Tabla 27 Estación Secundaria Rovira – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho.....	59
Tabla 28 Estación Secundaria Rovira – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierda.....	59
Tabla 29 Tránsito promedio diario (TPD) por sentido.....	60
Tabla 30 Factor direccional y factor carril.....	61
Tabla 31 Tasas de crecimiento de los volúmenes vehiculares.....	61
Tabla 32 porcentaje de tránsito atraído por tipo de vehículo	61
Tabla 33 Tránsito futuro estimado vía Rovira - Ibagué.....	62
Tabla 34 Factores de equivalencia	62
Tabla 35 Ejes equivalentes del tránsito proyectado para el sentido (carril) de diseño	63
Tabla 36 Módulo Resiliente de diseño – Consorcio Diseños Rovira.....	63
Tabla 37 Número estructural – Consorcio Diseños Rovira.....	64
Tabla 38 Parámetros de diseño AASHTO	65

Tabla 39 Diseño estructura de pavimento – Consorcio Diseños Rovira	66
Tabla 40 Cálculo de CBR	67
Tabla 41 Cálculo de MR – Correlación 1	68
Tabla 42 Cálculo de MR – Correlación 2	69
Tabla 43 Cálculo de MR – Correlación 3	70
Tabla 44 Cálculo de MR – Correlación 4	71
Tabla 45 Cálculo de MR – Correlación 5	72
Tabla 46 Cálculo de MR – Correlación 6	73
Tabla 47 Cálculo de MR – Correlación 7	74
Tabla 48 Cálculo de MR – Correlación 8	75
Tabla 49 Cálculo de MR – Correlación 9	76
Tabla 50 Cálculo de MR – Correlación 10	77
Tabla 51 Clasificación tipo de suelo.....	78
Tabla 52 Secciones homogéneas.....	81
Tabla 53 Resultados de ajuste – sección homogénea CH.....	86
Tabla 54 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea CH	87
Tabla 55 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea CH.....	87
Tabla 56 Resultados de ajuste – sección homogénea CL.....	88
Tabla 57 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea CL.....	89
Tabla 58 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea CL	89
Tabla 59 Resultados de ajuste – sección homogénea GM-GC.....	90
Tabla 60 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea GM-GC	91
Tabla 61 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea GM-GC.....	91
Tabla 62 Resultados de ajuste – sección homogénea SC	92
Tabla 63 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SC.....	93
Tabla 64 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SC.....	93
Tabla 65 Resultados de ajuste – sección homogénea GC.....	94
Tabla 66 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea GC	95
Tabla 67 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea GC	95
Tabla 68 Resultados de ajuste – sección homogénea SM.....	96
Tabla 69 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SM	97
Tabla 70 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SM	97
Tabla 71 Resultados de ajuste – sección homogénea SP-SM.....	98
Tabla 72 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SP-SM	99
Tabla 73 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SP-SM.....	99
Tabla 74 Resultados de ajuste – sección homogénea ML	100
Tabla 75 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea ML.....	101
Tabla 76 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea ML.....	101
Tabla 77 Resultados de ajuste – sección homogénea SP	102
Tabla 78 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SP.....	103
Tabla 79 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SP	103
Tabla 80 Resultados de ajuste – sección homogénea SM-SC.....	104
Tabla 81 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SM-SC	105
Tabla 82 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SM-SC	105
Tabla 83 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CH.....	110
Tabla 84 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CH	111
Tabla 85 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica CH.....	111
Tabla 86 Resultados de ajuste – Espesor Base granular CH.....	112
Tabla 87 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular CH.....	113

Tabla 88 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular CH	113
Tabla 89 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular CH.....	114
Tabla 90 Resultados de bondad de ajuste – Subbase granular CH	115
Tabla 91 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular CH	115
Tabla 92 Espesores de capas Python – Sección homogénea CH	115
Tabla 93 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea CH.....	116
Tabla 94 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CL.....	117
Tabla 95 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CL.....	118
Tabla 96 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica CL	118
Tabla 97 Resultados de ajuste – Espesor Base granular CL	119
Tabla 98 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular CL.....	120
Tabla 99 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular CL.....	120
Tabla 100 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular CL	121
Tabla 101 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular CH	122
Tabla 102 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular CH	122
Tabla 103 Espesores de capas Python – Sección homogénea CL	122
Tabla 104 Espesores de capas optimizadas – Sección homogénea CL	122
Tabla 105 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GM-GC	123
Tabla 106 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GM-GC	124
Tabla 107 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica GM-GC.....	124
Tabla 108 Resultados de ajuste – Espesor Base granular GM-GC.....	125
Tabla 109 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular GM-GC.....	126
Tabla 110 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular GM-GC	126
Tabla 111 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular GM-GC.....	127
Tabla 112 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular GM-GC	128
Tabla 113 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular GM-GC	128
Tabla 114 Espesores de capas Python – Sección homogénea GM-GC	128
Tabla 115 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea GM-GC.....	128
Tabla 116 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SC	129
Tabla 117 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SC.....	130
Tabla 118 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SC.....	130
Tabla 119 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SC.....	131
Tabla 120 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SC	132
Tabla 121 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SC.....	132
Tabla 122 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SC	132
Tabla 123 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SC	133
Tabla 124 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SC.....	134
Tabla 125 Espesores de capas Python – Sección homogénea SC.....	134
Tabla 126 Espesores de capas optimizado – Sección homogénea SC.....	134
Tabla 127 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GC.....	135
Tabla 128 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GC	136
Tabla 129 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica GC	136
Tabla 130 Resultados de ajuste – Espesor Base granular GC.....	137
Tabla 131 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular GC.....	138
Tabla 132 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular GC	138
Tabla 133 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular GC.....	138
Tabla 134 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular GC.....	139
Tabla 135 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular GC	140
Tabla 136 Espesores de capas – Sección homogénea GC	140

Tabla 137	Espesores de capas – Sección homogénea GC	140
Tabla 138	Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SM.....	141
Tabla 139	Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SM	142
Tabla 140	Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SM	142
Tabla 141	Resultados de ajuste – Espesor Base granular SM.....	143
Tabla 142	Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SM.....	144
Tabla 143	Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SM	144
Tabla 144	Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SM.....	144
Tabla 145	Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SM	145
Tabla 146	Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SM	146
Tabla 147	Espesores de capas Python – Sección homogénea SM	146
Tabla 148	Espesores de capas optimizados – Sección homogénea SM	146
Tabla 149	Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM.....	147
Tabla 150	Bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM	148
Tabla 151	Estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SP-SM.....	148
Tabla 152	Resultados de ajuste – Espesor Base granular SP-SM.....	149
Tabla 153	Bondad de ajuste – Espesor Base granular SP-SM	150
Tabla 154	Estadística descriptiva – Espesor Base granular SP-SM	150
Tabla 155	Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM.....	150
Tabla 156	Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM	151
Tabla 157	Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP-SM.....	152
Tabla 158	Espesores de capas – Sección homogénea SP-SM	152
Tabla 159	Espesores de capas – Sección homogénea SP-SM	152
Tabla 160	Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica ML	153
Tabla 161	Bondad de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica ML.....	154
Tabla 162	Estadística descriptiva – Espesor Carpeta asfáltica ML	154
Tabla 163	Resultados de ajuste – Espesor Base granular ML.....	155
Tabla 164	Bondad de ajuste – Espesor Base granular ML	156
Tabla 165	Estadística descriptiva – Espesor Base granular ML.....	156
Tabla 166	Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular ML.....	156
Tabla 167	Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular ML.....	157
Tabla 168	Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular ML.....	158
Tabla 169	Espesores de capas Python – Sección homogénea ML.....	158
Tabla 170	Espesores de capas optimizados – Sección homogénea ML.....	158
Tabla 171	Resultados de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SP.....	159
Tabla 172	Bondad de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SP	160
Tabla 173	Estadística descriptiva – Espesor Carpeta asfáltica SP	160
Tabla 174	Resultados de ajuste – Espesor Base granular SP.....	161
Tabla 175	Bondad de ajuste – Espesor Base granular SP.....	162
Tabla 176	Estadística descriptiva – Espesor Base granular SP.....	162
Tabla 177	Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SP	162
Tabla 178	Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP.....	163
Tabla 179	Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP	164
Tabla 180	Espesores de capas Python – Sección homogénea SP.....	164
Tabla 181	Espesores de capas optimizado– Sección homogénea SP.....	164
Tabla 182	Resultados de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SM-SC	165
Tabla 183	Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM	166
Tabla 184	Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SP-SM.....	166
Tabla 185	Resultados de ajuste – Espesor Base granular SM-SC	167

Tabla 186	Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SP-SM.....	168
Tabla 187	Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SP-SM	168
Tabla 188	Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SM-SC.....	168
Tabla 189	Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM	169
Tabla 190	Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP-SM	170
Tabla 191	Espesores de capas Python – Sección homogénea SM-SC	170
Tabla 192	Espesores de capas optimizados – Sección homogénea SM-SC	170
Tabla 193	Espesores de diseño consolidados	171
Tabla 194	Variables Diseño Consorcio Vs. Diseño propio	172
Tabla 195	Modulo Resiliente de la subrasante Diseño Consorcio Vs. Diseño propio....	172
Tabla 196	Número estructural Diseño Consorcio Vs. Diseño propio	172
Tabla 197	Espesores de diseño estructura de pavimento – Consorcio Diseños Rovira .	173
Tabla 198	Espesores de diseño estructura de pavimento - Diseño propio.....	173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Esquema general de localización del tramo vial Rovira-Ibagué	25
Ilustración 2.	Localización experimento vial AASHTO.....	27
Ilustración 3	Sectores de prueba	28
Ilustración 4	Nomograma básico para diseño de pavimentos flexibles.....	31
Ilustración 5	Modelo estructural de pavimento flexible	32
Ilustración 6	Localización esquemática de apiques de exploración geotécnica.....	50
Ilustración 7	Localización de las estaciones de aforo.....	54
Ilustración 8	Mapa de procesos diseño de pavimento metodología AASHTO-93.....	83
Ilustración 8	Histograma FDP Frechet (3P) – sección homogénea CH.....	86
Ilustración 9	Función de densidad de probabilidad Frechet (3P) – sección homogénea CH	87
Ilustración 10	Histograma FDP Wakeby – sección homogénea CL.....	88
Ilustración 11	Función de densidad de probabilidad Wakeby – sección homogénea CL..	89
Ilustración 12	Histograma FDP Beta – sección homogénea GM-GC	90
Ilustración 13	Función de densidad de probabilidad Beta – sección homogénea GM-GC	91
Ilustración 14	Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SC.....	92
Ilustración 15	Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SC	93
Ilustración 16	Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea GC	94
Ilustración 17	Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea GC	95
Ilustración 18	Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SM	96
Ilustración 19	Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SM	97
Ilustración 20	Histograma FDP Wakeby – sección homogénea SP-SM.....	98
Ilustración 21	Función de densidad de probabilidad Wakeby – sección homogénea SP-SM	99
Ilustración 22	Histograma FDP Burr – sección homogénea ML	100
Ilustración 23	Función de densidad de probabilidad Burr – sección homogénea ML	101
Ilustración 24	Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SP	102

Ilustración 25 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SP	103
Ilustración 26 Histograma FDP Gamma (3P) – sección homogénea SM-SC	104
Ilustración 27 Función de densidad de probabilidad Gamma (3P) – sección homogénea SM-SC	105
Ilustración 28 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CH.....	110
Ilustración 29 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CH	111
Ilustración 30 Histograma FDP Beta – Espesor Base granular CH	112
Ilustración 31 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Base granular CH	113
Ilustración 32 Histograma FDP Beta – Espesor Subbase granular CH	114
Ilustración 33 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Subbase granular CH	115
Ilustración 34 Espesores de capas – sección homogénea CH.....	116
Ilustración 35 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CL	117
Ilustración 36 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CL	118
Ilustración 37 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular CL.....	119
Ilustración 38 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular CL.....	119
Ilustración 39 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular CL	121
Ilustración 40 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular CH	121
Ilustración 41 Espesores de capas – sección homogénea CL	123
Ilustración 42 Histograma FDP Dagum – Espesor carpeta asfáltica GM-GC	123
Ilustración 43 Función de densidad de probabilidad Dagum– Espesor carpeta asfáltica GM-GC	124
Ilustración 44 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular GM-GC.....	125
Ilustración 45 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Base granular GM-GC	126
Ilustración 46 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular GM-GC.....	127
Ilustración 47 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular GM-GC	127
Ilustración 48 Espesores de capas – sección homogénea GM-GC.....	129
Ilustración 49 Histograma FDP Gen. Pareto – Espesor carpeta asfáltica SC.....	129
Ilustración 50 Función de densidad de probabilidad Gen. Pareto – Espesor carpeta asfáltica SC	130
Ilustración 51 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SC.....	131
Ilustración 52 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SC	131
Ilustración 53 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular SC.....	133
Ilustración 54 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular SC	133
Ilustración 55 Espesores de capas – sección homogénea SC.....	134
Ilustración 56 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica GC.....	135
Ilustración 57 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica GC	136
Ilustración 58 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular GC	137

Ilustración 59 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Base granular GC	137
Ilustración 60 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular GC	139
Ilustración 61 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Subbase granular GC	139
Ilustración 62 Espesores de capas – sección homogénea GC.....	140
Ilustración 63 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica SM.....	141
Ilustración 64 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica SM	142
Ilustración 65 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular SM	143
Ilustración 66 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Base granular SM	143
Ilustración 67 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular SM.....	145
Ilustración 68 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular SM	145
Ilustración 69 Espesores de capas – sección homogénea SM.....	146
Ilustración 70 Histograma FDP Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SP-SM.....	147
Ilustración 71 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SP-SM	148
Ilustración 72 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SP-SM	149
Ilustración 73 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SP-SM	149
Ilustración 74 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular SP-SM	151
Ilustración 75 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Subbase granular SP-SM	151
Ilustración 76 Espesores de capas – sección homogénea SP-SM.....	152
Ilustración 77 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular ML.....	153
Ilustración 78 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica ML	154
Ilustración 79 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular ML.....	155
Ilustración 80 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular ML	155
Ilustración 81 Histograma FDP Gen. Gamma (4P) – Espesor Subbase granular ML.....	157
Ilustración 82 Función de densidad de probabilidad Gen. Gamma (4P) – Espesor Subbase granular ML	157
Ilustración 83 Espesores de capas – sección homogénea ML	158
Ilustración 84 Histograma FDP Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica SP	159
Ilustración 85 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica SP	160
Ilustración 86 Histograma FDP Beta – Espesor Base granular SP	161
Ilustración 87 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Base granular SP	161
Ilustración 88 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular SP	163
Ilustración 89 Función de densidad de probabilidad Johnson SP – Espesor Subbase granular SP.....	163
Ilustración 90 Espesores de capas – sección homogénea SP	164
Ilustración 91 Histograma FDP Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SM-SC	165
Ilustración 92 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SM-SC	166
Ilustración 93 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SM-SC	167

Ilustración 94 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SM-SC.....	167
Ilustración 95 Histograma FDP Error – Espesor Subbase granular SM-SC	169
Ilustración 96 Función de densidad de probabilidad Error – Espesor Subbase granular SM-SC	169
Ilustración 97 Espesores de capas – sección homogénea SM-SC	170

GLOSARIO

APIQUE: Es la excavación que se utiliza para reconocer detalladamente el tipo de suelo de estudio por medio de muestras inalteradas, se realiza con las herramientas pica y pala, la profundidad de la excavación se realizara mínimo hasta la subrasante.

BASE GRANULAR: Hace parte de la estructura de un pavimento, es una capa de materiales granulares y finos seleccionados técnicamente, destinada a soportar los más grandes esfuerzos verticales y horizontales, se ubica entre la capa de rodadura y la subbase granular, en pavimentos rígidos se ubica entre la capa de rodadura y la subrasante.

CARPETA ASFÁLTICA: Hace parte de la estructura de un pavimento flexible, compuesta por materiales granulares seleccionados y cemento asfáltico, se ubica en la parte superior apoyada sobre la base granular, proporciona una superficie de rodadura y seguridad al usuario, adicionalmente protege la estructura del agua de escorrentía y la lluvia.

CBR: Es el parámetro que cuantifica la capacidad de soporte para poder evaluar la calidad del terreno para la base, subbase y subrasante. Medida comparativa de un material ideal comparado con cualquier material.

CLIMA: Es la variable que afecta tanto la estructura interna del pavimento como su resistencia mecánica.

CONFIABILIDAD: Método común para agregar un factor de confiabilidad en el diseño de la estructura de pavimento, teniendo en cuenta los cambios en el tráfico de diseño.

CORRELACIÓN: Es la forma numérica para evaluar la relación de dos o más variables que, por medio de la regresión lineal genera una ecuación basándose en la relación de las mismas que permita predecir el valor de una de las variables a partir de la otra.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR: Medida de dispersión, indica que tan dispersos o que tanto varían un conjunto de datos numéricos con respecto a la media.

ESTUDIO GEOTÉCNICO: Conjunto de actividades por medio de las cuales se obtiene información geológica y geotécnica del suelo en estudio, para determinar sus propiedades.

MEDIA: Es una medida de tendencia central o el promedio de un conjunto de datos numéricos.

MÓDULO RESILIENTE: En el suelo de fundación se realiza este ensayo para caracterizar el soporte del suelo, es la relación que existe entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones recuperables al suprimir el estado de esfuerzo, lo que se traduce como la capacidad de respuesta de los materiales.

PAVIMENTO: Estructura vial, compuesta por una o varias capas de materiales seleccionados, colocados técnicamente sobre una subrasante, es capaz de resistir cargas impuestas por el medio ambiente y el tránsito, transmite al suelo de fundación esfuerzos y deformaciones admisibles y a su vez proporciona al tránsito seguridad, economía y comodidad.

PAVIMENTO FLEXIBLE: Estructura de pavimento compuesta por tres capas las cuales se ubican de la siguiente manera en forma descendente carpeta asfáltica (capa de rodadura), base granular, subbase granular, dichas capas se apoyan sobre la subrasante. Cuentan con un periodo de vida de 10 años.

SECCIÓN HOMOGÉNEA: Es la interpretación gráfica de cada uno de los tipos de suelo que encuentran en una vía a lo largo de su trazado por medio de los cuales se realiza la sectorización de tramo total en subsectores que presenten características similares.

SUBBASE GRANULAR: Hace parte de la estructura de un pavimento, es una capa de materiales granulares y finos seleccionados técnicamente, destinada a soportar esfuerzos en menor proporción, adicionalmente evita que los suelos que componen la subrasante penetren en las capas adyacentes, se ubica entre la base granular y la subrasante.

SUBRASANTE: Es el suelo de fundación o natural que existe en el terreno donde se construirá la estructura del pavimento, es una de las variables más importantes en el diseño del pavimento.

TRAFICO: Son las cargas vehiculares que el pavimento soportara durante el periodo para el cual fue diseñado, es una variable fundamental en el diseño del pavimento.

RESUMEN

En el presente documento se expone la metodología utilizada por este grupo de trabajo en el cual se describe el procedimiento realizado para el diseño de la estructura de pavimento por confiabilidad aplicando correlaciones matemáticas en el caso de la vía Rovira - Ibagué y haciendo su comparación con el diseño realizado por el Consorcio Diseños Rovira del cual se han utilizado cierta cantidad de variables con el fin de hacer un análisis de confiabilidad, la metodología utilizada comienza con la determinación del CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante a partir de correlaciones matemáticas en función de los límites de Atterberg, granulometría y ensayos de PDC, aplicando cada una de las limitaciones que estas pueden presentar, tales como el tipo de suelo, índice de plasticidad, entre otras, de la misma manera se obtiene el módulo resiliente a partir de los CBR anteriormente calculados, dichos módulos resilientes se analizan dentro del software EasyFit para posteriormente realizar el diseño por medio del lenguaje de programación Python. De dicho código de programación se obtiene los espesores correspondientes a la estructura de pavimento, tales como carpeta asfáltica, base granular y subbase granular

Palabras clave: CORRELACIONES MATEMÁTICAS, CBR, MÓDULO RESILIENTE, NÚMERO ESTRUCTURAL, DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO, CARPETA ASFÁLTICA, BASÉ GRANULAR, SUBBASE GRANULAR, SUBRASANTE.

1. INTRODUCCIÓN

El corredor vial Ibagué - Rovira se localiza geográficamente en el departamento del Tolima, siendo esta vía una de sus redes viales secundarias. Según la gobernación del Tolima (2016) aproximadamente el 36% de sus vías secundarias se encuentran pavimentadas y el porcentaje restante (64%) presenta un alto grado de deterioro en su capa de rodadura o se encuentra sin pavimentar, por lo que se requiere de intervención o rehabilitación, ya que estas mismas interconectan población urbana y rural de los diferentes municipios de este departamento. Esta región se caracteriza por presentar diferentes tipos de suelo y por su variedad de clima.

Se debería garantizar al tránsito tanto de vehículos de pasajeros como para vehículos de carga, seguridad, comodidad y economía puesto que al presentarse el mal estado de la vía aumentan los costos en transporte y retrasos en este servicio, de igual manera se afecta directamente a los productores de esta región porque se presentarán sobre costos en la distribución.

Para construir un pavimento se debe tener en cuenta el medio ambiente, los materiales con los que se construirá, las cargas a soportar y la construcción ya que estas variables afectaran el rendimiento y durabilidad de la estructura, pero al presentarse bastante variabilidad en cada uno de estos parámetros se ha optado por hacer diseños probabilísticos en los cuales se requerirán las probabilidades de distribución de densidades de diferentes funciones, con este método se pueden evaluar riesgos que son indispensables para realizar un análisis económico del proyecto durante su diseño, construcción y durante todo periodo de funcionamiento.

En este documento se presentan los resultados de un estudio en la vía Rovira-Ibagué, de variabilidad de los factores más importantes que participan en el diseño del pavimento, utilizando el método de diseño de pavimento flexible AASHTO 1993.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la confiabilidad de espesores de la estructura de pavimento en el caso de la vía Rovira- Ibagué.

2.2. Objetivos específicos

- Recopilación y análisis de la información disponible necesaria para el desarrollo del diseño.
- Estimar la incertidumbre de los datos de entrada del modelo con base en los datos disponibles (Correlaciones y ensayos de laboratorio).
- Realizar el diseño por confiabilidad de la estructura de pavimento a lo largo del tramo comprendido entre el sector El Totumo (K00+050) hasta el sector El Boquerón (K19+500).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento del Tolima ha basado su crecimiento económico en su potencial agropecuario, ganadero, cultural y turístico, pero por la falta de construcción de nuevas vías, mantenimiento y conservación de las vías ya existentes se ha desarticulado de manera abrupta la comunicación directa entre los centros de producción con los centros de consumo, por consiguiente el desempleo en este departamento del país ha aumentado, motivo por el cual ha disminuido los ingresos y divisas, esto se ve reflejado en las condiciones de vida la población.

Una de las estrategias vitales para el desarrollo económico de una región es la construcción, mejoramiento y mantenimiento de sus redes viales. Cabe resaltar que el departamento del Tolima cuenta en la actualidad con una red vial que conectan sus subregiones, sin embargo, el mal estado que presentan sus vías, no permite que sus municipios se integren de manera física.

Dada la situación económica que atraviesa el país en estos momentos y también a los pocos recursos de los que disponen los departamentos y municipios a lo largo y ancho de todo el territorio nacional, no es posible realizar una completa inversión en el mejoramiento y mantenimiento de sus redes viales secundarias y terciarias, motivo por el cual se ha generado un deterioro acelerado en la estructura de pavimentos de dichas vías, por este motivo es necesario buscar alternativas tanto en términos económicos como técnicos que garanticen la durabilidad de las vías en las que se le están invirtiendo recursos que de por sí son muy pocas.

Esta problemática no es ajena a la vía secundaria que comunica a los municipios de Rovira e Ibagué, ya que se puede evidenciar su pésimo estado, por falta de mantenimiento lo que ha ocasionado la dificultad en el transporte de mercancía, aumento los costos y tiempos de viajes, afectado de manera significativa a sus pobladores, lo que ha ocasionado el atraso en el desarrollo de esta región del país.

De acuerdo con esta problemática se hace necesario realizar una alternativa de diseño para el tramo comprendido entre el Sector el Totumo (K00+050) hasta el sector El Boquerón (K19+500).

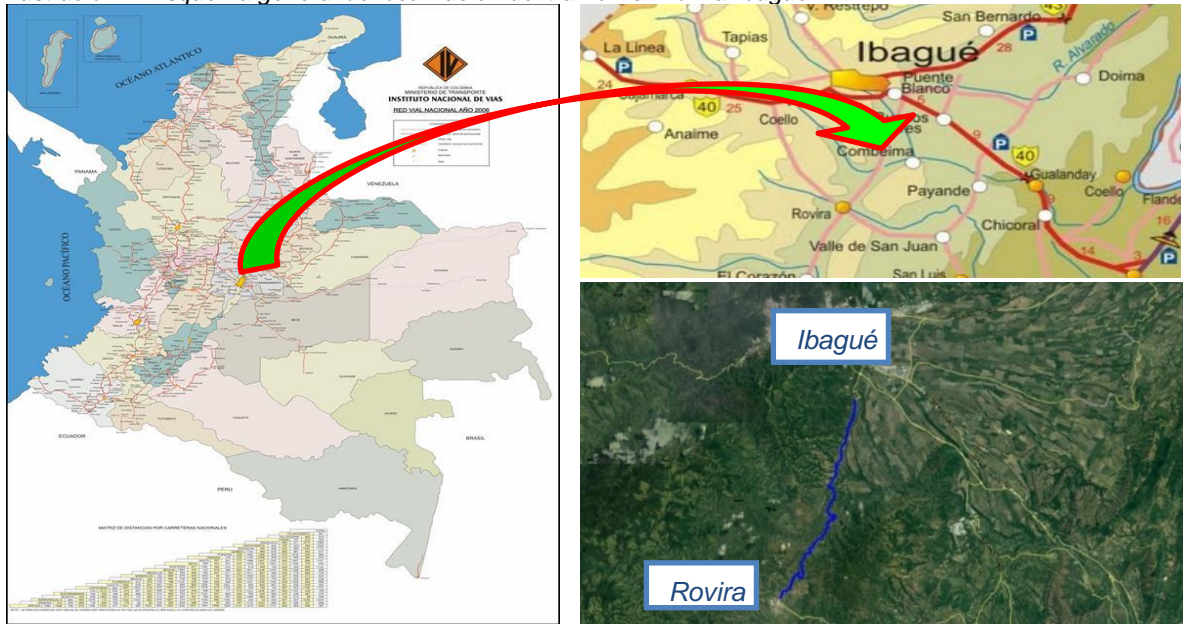
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál puede ser la variabilidad en los espesores de la estructura de pavimento considerando la incertidumbre de los datos de entrada (MR) considerando distintas correlaciones y ensayos de laboratorio en un caso de estudio?

5. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

Esta infraestructura vial está localizada en el departamento del Tolima, en las inmediaciones del casco urbano de la ciudad de Ibagué, el corredor vial comunica de manera directa a la capital del departamento (Ibagué) con el municipio de Rovira la cual pasa por los siguientes sectores: El Totumo, El Rodeo, Los Cauchos, Carmen de Bulira, Vereda Martínez, El Boquerón.

Ilustración 1. Esquema general de localización del tramo vial Rovira-Ibagué



Fuente: Consorcio Diseños Rovira

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 1993

El método de diseño AASHTO-93, es el método de diseño empírico de mayor difusión y más ampliamente utilizado no solo en Estados Unidos sino también a nivel mundial¹

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexible tuvo su origen en Illinois, Ottawa a raíz de un experimento vial el cual tuvo lugar entre el 15 de octubre de 1958 y el 30 de noviembre de 1960, el cual consistió en la construcción de seis (6) circuitos cada uno de (2) dos pistas (Prueba AASHTO)² las cuales estaban comprendidas en dos secciones o tramos, el primer tramo localizado al costado norte fue construido en pavimento flexible (asfalto) y el segundo tramo localizado al costado sur fue construido en pavimento rígido (concreto), los datos obtenidos en estas pruebas determinaron las relaciones para los diseños estructurales de pavimentos con base a las cargas proyectadas durante su vida útil. La prueba ASSHTO determino los parámetros de evaluación de las tensiones y deformaciones que generan los vehículos en movimiento.

Los objetivos en el desarrollo de esta prueba fueron:³

- ✓ *“Determinar las relaciones significativas entre el número de repeticiones de cargas por ejes de diferentes magnitudes y configuraciones, y el comportamiento de diferentes secciones de pavimentos -flexibles y rígidos- construidos sobre una misma fundación, pero sobre capas de sub-bases y bases de diversos tipos y espesores”*
- ✓ *“Determinar los efectos significativos de diferentes cargas por eje, y cargas totales, sobre los elementos estructurales de puentes de características conocidas”*
- ✓ *“Realizar estudios especiales referentes a hombrillos pavimentados, tipos de bases, fatiga en pavimentos, tamaño y presión de inflado de los cauchos, vehículos militares especiales, y correlacionar estos resultados con los obtenidos en la investigación básica”*
- ✓ *“Obtener un registro de los recursos y materiales requeridos para mantener las secciones de prueba en condiciones de ser ensayadas”*
- ✓ *“Desarrollar instrumentación, procedimientos de ensayo y laboratorio, datos, gráficos, tablas y fórmulas que reflejarán las características de las diferentes secciones de prueba y que pudieran ser útiles posteriormente en la evaluación de las condiciones estructurales de un pavimento existente”*

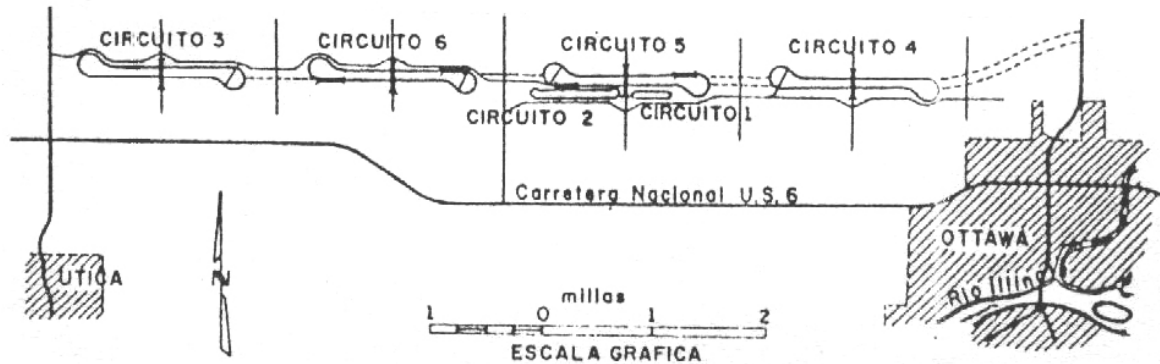
¹ Abaza & Abu-Eisheh, 2003

² American Association of State Highway Officials

³ Corredor, 2010

La construcción de estos seis (6) circuitos anteriormente mencionados se llevó a cabo en el transcurso de dos (2) años, (1956 – 1958), las cuales fueron construidas sobre la futura autopista interurbana I-80 de la red interestatal de los Estados Unidos, una vez finalizada su construcción en el año 1958, se iniciaron las fases de pruebas, las cuales culminarían dos (2) años después en el año 1960. En octubre de este mismo año (1960) se dio comienzo a la etapa de análisis de los datos obtenidos de las pruebas.

Ilustración 2. Localización experimento vial AASHTO



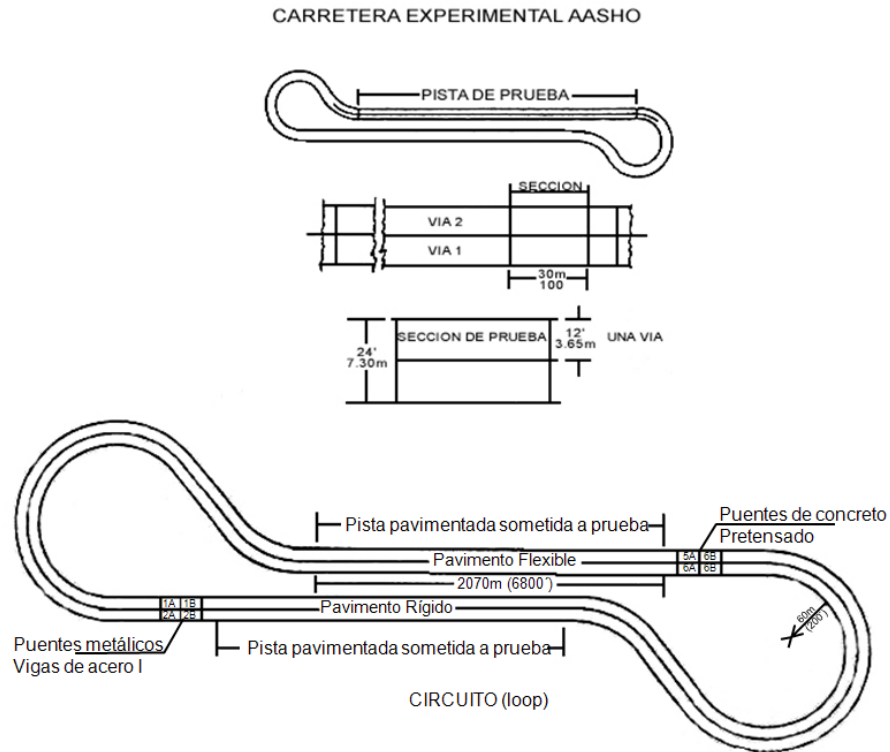
Fuente: ASSHTO Guide for design of pavement structures

Las seis (6) pistas construidas fueron sometidas diferentes pruebas distribuidas de la siguiente manera:

- Pista 1: Medición de los efectos del clima y cargas estáticas.
- Pista 2: Medición de cargas ligeras
- Pista 3: Medición de cargas pesadas
- Pista 4: Medición de cargas pesadas
- Pista 5: Medición de cargas pesadas
- Pista 6: Medición de cargas pesadas

Las pistas tenían una longitud aproximadas de 2.1 kilómetros entre tangentes, las tangentes del circuito se dividían en sectores de 30 metros de largo cada uno, dentro de los cuales se llevaron a cabo las pruebas.

Ilustración 3 Sectores de prueba



Fuente: ASSHTO Guide for design of pavement structures

El método AASHTO considera las siguientes variables para su diseño:

6.1.1. Tránsito de diseño

Considerado como el número de ejes equivalentes a 8.2 Toneladas en el carril de durante todo el periodo de diseño. La variable tránsito se obtiene con la realización de aforos vehiculares o bien teniendo en cuenta información histórica y estadística del comportamiento del tránsito

6.1.2. Nivel de confianza R (%)

Es un valor expresado en porcentaje (%) el cual representa un grado de seguridad que se utiliza durante el proceso de diseño con el fin de garantizar a cada una de las alternativas de diseño propuestas la duración del pavimento durante todo el periodo de diseño.

En la Tabla 1 se presentan los niveles de confiabilidad recomendados para cada tipo de carretera, y con este valor, en la Tabla 2 se presentan los valores de desviación estándar (Z_r) con la que se debe diseñar el pavimento

Tabla 1 Niveles de confiabilidad

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE CONFIABILIDAD R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas, Carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

Tabla 2 Desviación estándar Z_r

CONFIABILIDAD (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR Z_r
50.00	0.000
60.00	-0.253
70.00	-0.524
75.00	-0.674
80.00	-0.841
85.00	-1.037
90.00	-1.282
91.00	-1.340
92.00	-1.405
93.00	-1.476
94.00	-1.555
95.00	-1.645
96.00	-1.751
97.00	-1.881
98.00	-2.054
99.00	-2.327
99.90	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.3. Error normal combinado, S_o

El error normal combinado es aquel que tiene en cuenta múltiples factores de errores, desviaciones o variaciones, como lo son:

- La desviación del diseño
- La variación de las propiedades de los materiales
- La variación de las propiedades de la subrasante
- La variación de las propiedades de la subrasante
- La variación en la estimación del tránsito

- La variación de las condiciones climáticas
- La variación en la calidad de la construcción

En la Tabla 3 se presentan los valores de error normal combinado (S_o) recomendados para pavimentos flexibles

Tabla 3 Error normal combinado S_o

PROYECTO DE PAVIMENTO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR S_o
Rango Pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
Construcción nueva	0.45
Sobre capas	0.50

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.4. Nivel de serviciabilidad (ΔIPS)

El índice de serviciabilidad para pavimentos flexibles se califica entre el rango de 1 a 5, en el cual se tiene en cuenta el comportamiento del pavimento

En la Tabla 4 se presentan los valores de serviciabilidad inicial recomendados por la AASHTO, en la Tabla 5 se presentan los valores de serviciabilidad final recomendados por la AASTHO.

Tabla 4 Serviciabilidad inicial, P_o

TIPO DE PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL P_o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

Tabla 5 Serviciabilidad final P_t

TIPO DE VÍA	SERVICIABILIDAD FINAL P_t
Autopista	2.5 - 3.0
Carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	1.8
Pavimento urbano principal	1.8 - 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.5. Número estructural del pavimento, SN

El número estructural SN, es el número que nos representan la capacidad de soportar las cargas que requerirá la estructura del pavimento a diseñar, para unas condiciones determinadas por: la subrasante, el tránsito, índice de servicio, así como también las condiciones ambientales.

El número estructural SN, se determina por medio de la expresión general del método AASHTO, teniendo como partida el tránsito de diseño, las condiciones ambientales, el nivel de servicio y la resistencia de la subrasante.

$$\log N = Z_r S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \log M_r - 8.07$$

Donde:

N: Número de ejes equivalentes a 8.2 Toneladas, en el carril de diseño durante todo el periodo de diseño

Zr: Desviación estándar

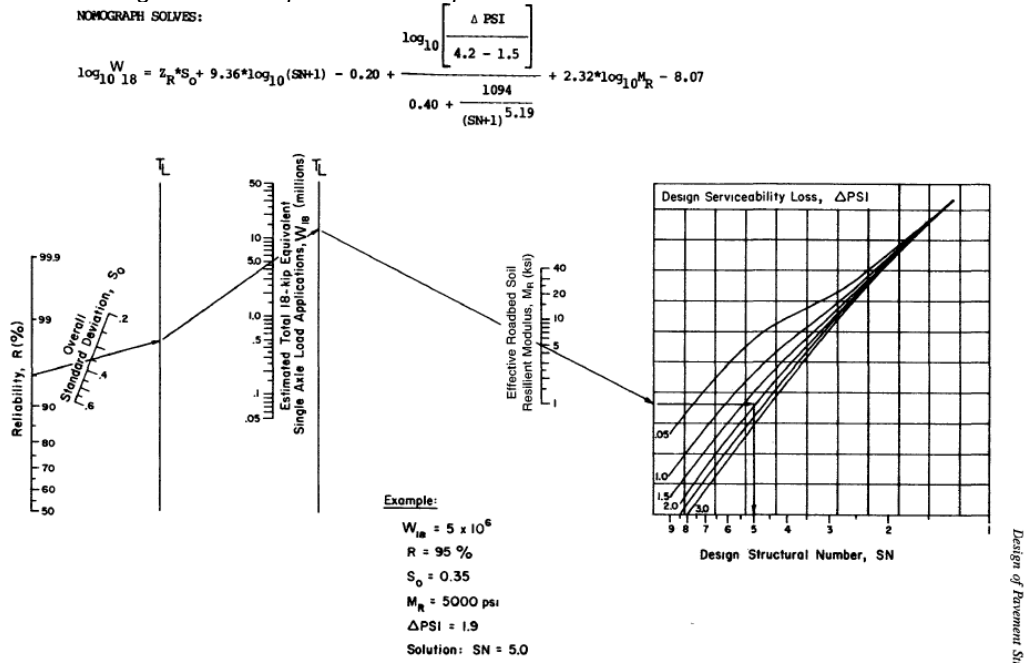
So: Error normal combinado del comportamiento y proyección de tránsito

ΔIPS: Diferencia entre el nivel de serviciabilidad inicial y final (Po – Pt)

Mr: Modulo resiliente de la subrasante (lb/pulg²)

SN: Numero estructural del pavimento (Espesor total)

Ilustración 4 Nomograma básico para diseño de pavimentos flexibles



Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.5.1. Espesor de las capas de pavimento

Con el número estructural SN calculado para el tránsito de diseño se pueden definir los espesores para capa del pavimento, partiendo de un modelo estructural de pavimento flexible el cual está conformado por diferentes capas de material

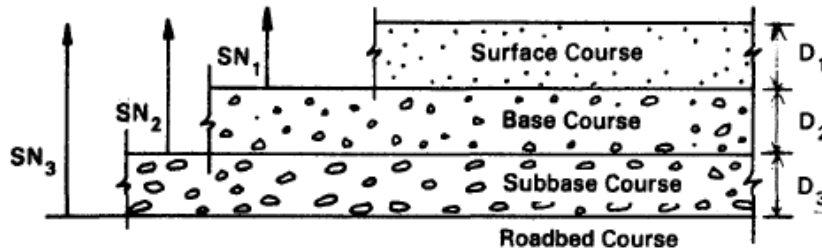
técnicamente seleccionado las cuales están definidas por su tipo, su espesor (di) y por su coeficiente estructural (ai)

Tabla 6 Espesores mínimos de las capas de pavimento

ESPEORES MÍNIMOS (PULGADAS)		
Trafico, ESAL	Concreto asfáltico	Base de agregados
Menos de 50,000	1.0	4
50,000 – 150,000	2.0	4
150,001 – 500,000	2.5	4
500,001 – 2'000,000	3.0	6
2'000,001 – 7'000,000	3.5	6
>7'000,000	4.0	6

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

Ilustración 5 Modelo estructural de pavimento flexible



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.6. Módulo resiliente de la Subrasante, M_R

El módulo resiliente se define como la relación que existe entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones recuperables al suprimir el estado de esfuerzo (capacidad de respuesta de los materiales), es una medida de las propiedades elásticas que representa las características no lineales de los materiales. El módulo resiliente se puede obtener a través de ensayos de modulo resiliente o por métodos matemáticos como lo son las correlaciones con otros ensayos como lo es el ensayo del CBR.

6.1.7. Calidad del drenaje

La calidad del drenaje de cada una de las capas que componen la estructura del pavimento se define de acuerdo con las características del material, como lo indica la Tabla 7 que se presenta a continuación

Tabla 7 Calidad de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	No evacua

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures

6.1.8. Módulo dinámico de las diferentes capas del pavimento

El módulo dinámico se define como el valor absoluto de la relación entre el esfuerzo máximo y la deformación unitaria máxima.

Para determinar el módulo dinámico de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento existen diferentes métodos, entre ellos se encuentran los ensayos de laboratorio, nomogramas y correlaciones.

Dentro de los ensayos de laboratorio se encuentran:

- Tracción indirecta
- Tracción por compresión directa

En Colombia generalmente se utiliza el ensayo Tracción indirecta, el cual está regido por las normas INV – E 753 – 07 y INV – E 754 – 07, donde se indica el procedimiento para determinar el módulo dinámico

6.2. CBR – California Bearing Ratio

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de relación de soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase granular y base granular de pavimentos, este ensayo se ejecuta bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Sin embargo, es posible determinar el CBR de los suelos por medio de métodos matemáticos como lo son las correlaciones con otros ensayos.

6.2.1. Correlaciones para determinar el CBR

6.2.1.1. Ecuación 1

Para suelos que presentan plasticidad, es decir que el parámetro ($w \times IP$) es mayor que cero, y la fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) es mayor del once por ciento (11%).

$$CBR = \frac{75}{(1 + 0.728(w * IP))} [\%]$$

Donde:

w x IP: Índice de Plasticidad ponderado = Fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) x Índice de Plasticidad

w: Fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No. 200), en tanto por uno

IP: Índice de Plasticidad, en porcentaje

6.2.1.2. Ecuación 2

Para suelos granulares limpios, típicamente no plásticos, en los que el parámetro ($w \times IP$) es igual a cero. El parámetro ($w \times IP$) se denomina Índice de Plasticidad Ponderado y es el producto de la fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) por el Índice de Plasticidad.

$$CBR = 28.06 * (D_{60})^{0.358}$$

Donde:

D₆₀: Abertura del tamiz que deja pasar el sesenta por ciento (60%) del suelo, en peso. Se expresa en milímetros (mm). Este valor se lee en la curva granulométrica.

6.2.1.3. Ecuación 3

$$CBR = (0.836 * G) + 11.378$$

Donde:

G: Porcentaje de grava

6.2.1.4. Ecuación 4

$$CBR = -(0.203 * S) + 36.687$$

Donde:

S: Porcentaje de arena

6.2.1.5. Ecuación 5

$$CBR = (0.785 * F) + 60.185$$

Donde:

F: Porcentaje de finos

6.2.1.6. Ecuación 6

$$CBR = -(1.588 * LL) + 73.734$$

Donde:

LL: Limite Liquido

6.2.1.7. Ecuación 7

$$CBR = -(2.796 * LP) + 80.146$$

Donde:

LL: Limite Plástico

6.2.1.8. Ecuación 8

$$CBR = -(1.778 * IP) + 46.502$$

Donde:

IP: Índice Plástico

6.2.1.9. Ecuación 9

Aplicable a todo tipo de suelos.

$$CBR = \frac{292}{PDC^{1.12}} [\%]$$

6.3. Módulo Resiliente, M_R

El módulo resiliente se define como la relación que existe entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones recuperables al suprimir el estado de esfuerzo (capacidad de respuesta de los materiales), es una medida de las propiedades elásticas que representa las características no lineales de los materiales. El módulo resiliente se puede obtener a través de ensayos de módulo resiliente o por métodos matemáticos como lo son las correlaciones con otros ensayos como lo es el ensayo del CBR.

6.3.1. Correlaciones para determinar el M_R

6.3.1.1. Ecuación 1

$$M_r = 1565 * CBR [psi]$$

Idónea solo para suelo grano fino (ML, CL, MH, CH) con CBR menor al 10%.

6.3.1.2. Ecuación 2

$$M_r = 1500 * CBR [psi]$$

Idónea solo para suelo grano fino (ML, CL, MH, CH) con CBR menor al 10%.

6.3.1.3. Ecuación 3

$$M_r = 10 * CBR [MPa]$$

6.3.1.4. Ecuación 4

$$M_r = 5409 * CBR^{0.71} [psi]$$

6.3.1.5. Ecuación 5

$$M_r = 37.5 * CBR^{0.71} [MPa]$$

6.3.1.6. Ecuación 6

$$Mr = 3000 * CBR^{0.65} [psi]$$

Idónea solo para materiales con CBR mayor al 7.2% pero menor o igual al 20%.

6.3.1.7. Ecuación 7

$$Mr = 10 * CBR^{0.73} [MPa]$$

6.3.1.8. Ecuación 8

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} [psi]$$

Idónea solo para materiales con CBR menor al 10%.

6.3.1.9. Ecuación 9

$$Mr = 22.4 * CBR^{0.5} [MPa]$$

Idónea solo para materiales con CBR mayor al 5%.

6.3.1.10. Ecuación 10

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241 [MPa]$$

Idónea solo para materiales con CBR mayor al 20%.

6.3.2. Módulo Resiliente en materiales granulares

En los materiales granulares el módulo resiliente se aumenta con los esfuerzos totales lo que se traduce en endurecimiento por esfuerzos, esto se debe al incremento en la unión entre las partículas individuales del agregado.

Modelo k- θ :

De un material granular se puede describir su módulo elástico práctico no lineal, este modelo expresa el módulo elástico del material granular en función de la suma de sus tensiones, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$M_R = k_1 \theta^{k_2}$$

Donde:

θ : suma de los esfuerzos principales $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$

k_1 y k_2 : parámetros de regresión (constantes del material)

En este modelo se inicia con un esfuerzo desviador igual a cero. k_1 y k_2 los cuales dependen del contenido de humedad y de la densidad del material, son obtenidas experimentalmente.

Tabla 8 Valores típicos k_1 y k_2 para materiales de base y subbase (MR [psi])

Condición húmeda	k_1	k_2
Base		
Seco	6000-10000	0.5-0.7
Húmedo	4000-6000	0.5-0.7
Saturado	2000-4000	0.5-0.7
Subbase		
Seco	6000-8000	0.4-0.6
Húmedo	4000-6000	0.4-0.6
Saturado	1500-4000	0.4-0.6

Fuente: Revista Escuela Colombiana de Ingeniería No 114

Tabla 9 Primer invariantes de tensiones (θ) para la base granular

Espesor de concreto asfáltico (pg.)	MR subrasante (psi)		
	3000	7500	15000
	θ (psi)		
<2	20	25	30
2-4	10	15	20
4-6	5	10	15
>6	5	5	5

Fuente: Revista Escuela Colombiana de Ingeniería No 114

Tabla 10 Primer invariantes de tensiones (θ) para la subbase granular

Espesor de concreto asfáltico (pg.)	θ (psi)
<2	10.0
2-4	7.5
>4	5.0

Fuente: Revista Escuela Colombiana de Ingeniería No 114

6.4. Secciones homogéneas

Las secciones homogéneas o unidades de diseño son la interpretación gráfica de cada uno de los tipos de suelo que presenta una vía a lo largo de todo su trazado los cuales permiten sectorizar el tramo total en subsectores que presenten el mismo comportamiento.

6.4.1. Definición de perfil y delimitación de secciones homogéneas

- ✓ Se sectoriza el tramo a estudiar, teniendo en cuenta los niveles de tránsito esperados.
- ✓ A partir de las clasificaciones del suelo para la subrasante obtenidos por medio de apiques se genera un perfil por cada tramo.
- ✓ Luego se procede a determinar qué tipo de suelo predomina en cierta longitud y se delimitan las secciones homogéneas (con característica de suelo igual) de igual forma teniendo en cuenta el tránsito de la vía.
- ✓ Dichas secciones deben tener suficiente longitud, con el fin de optimizar diseños y sea una construcción además de práctica, económica.
- ✓ En caso de que en un tramo se presente gran heterogeneidad en el tipo de suelo y no se pueda definir uno de ellos como el predominante, el diseño se realizar en base al suelo débil más frecuentemente encontrado.

6.4.2. Selección de la resistencia de las secciones homogéneas

- ✓ Se deben emplear métodos o ensayos para medir la respuesta o resistencia del suelo, es de aclarar que cada resultado generalmente debe dar diferente.
- ✓ El valor que utilizar no debe estar sobreestimado ni subestimado, porque no se quieren sobrecostos ni riesgos de falla.
- ✓ Los ensayos que se deben realizar por sección homogénea dependen de la longitud de la vía, por lo tanto:
 - Vías cortas (150 m): dos pruebas serán suficientes.
 - Vías extensas (3000m): mínimo 5 y máximo 9 pruebas por sección homogénea.
 - Vías intermedias: se realizarán pruebas a criterio del diseñador.
- ✓ Resultados:
 - Menos de 5: se debe tomar el menor valor de resistencia o respuesta determinado en las condiciones de equilibrio.
 - Igual o más de 5: la elección se realizará dependiendo el método de diseño de pavimento a emplear. Para los métodos AASHTO 93 o INVIAS, se utilizará el valor promedio.

Tabla 11 Valor igualado o excedido de X% de resultados

N	Valor que es igualado o excedido por X% de resultados
Menor o igual a 10^4	X=60%
Entre 10^4 y 10^6	X=75%
Mayor o igual a 10^6	X=87.5%

Fuente: Instituto del asfalto

✓ Los valores de diseño de cada sección homogénea se deben redondear así:

Tabla 12 Valores a los cuales redondear la sección homogénea

CBR (%)	Redondear a	MR (kg/cm ²)	Redondear a
Menor a 5	0.5	Menor a 500	50
5-20	1	500-2000	100
20-50	5	2000-5000	500
Mayor a 50	10	Mayor a 5000	1000

Fuente: Instituto del asfalto

6.5. PDF – Función de densidad de probabilidad

En el contexto de las variables aleatorias continuas, la función de distribución, $F_x(x)$ es continua y derivable, con derivada continua salvo en un conjunto de medida nula. Pues bien, la función de densidad de probabilidad, $f_x(x)$ o simplemente $f(x)$, no es sino la derivada de la función de distribución, y es continua salvo en el conjunto de medida nula. Esta función asigna a cada valor x de la variable aleatoria X la densidad de masa probabilística que corresponde a un intervalo infinitesimal centrado en x .

6.5.1. Función de densidad de probabilidad de Frechet (3P)

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{\beta}{x - \gamma} \right)^{\alpha} \right)$$

Parámetros:

α = Parámetro de forma continua ($\alpha > 0$)

β = Parámetro de escala continua ($\beta > 0$)

γ = Parámetro de ubicación continua

6.5.2. Función de densidad de probabilidad de Wakeby

La distribución de Wakeby está definida por la siguiente función cuantil

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1 - F)^{-\delta})$$

Parámetros:

$A, \beta, \lambda, \delta, \xi$ (Todos continuos)

Las siguientes condiciones son impuestas

$\alpha \neq 0$ o $\gamma \neq 0$

$\beta + \delta > 0$ o $\beta = \gamma = \delta = 0$

Si $\alpha = 0$, luego $\beta = 0$

Si $\gamma = 0$, luego $\delta = 0$

$\gamma \geq 0$ y $\alpha + \gamma \geq 0$

6.5.3. Función de densidad de probabilidad Beta

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$$

Parámetros:

α_1 = Parámetro de forma continua ($\alpha_1 > 0$)

α_2 = Parámetro de escala continua ($\alpha_2 > 0$)

a, b = Parámetro de ubicación continua ($a < b$)

6.5.4. Función de densidad de probabilidad de Johnson SB

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi}z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)$$
$$z = \frac{x-\xi}{\lambda}$$

Parámetros:

γ = Parámetro de forma continua

δ = Parámetro de forma continua ($\delta > 0$)

λ = Parámetro de escala continua ($\lambda > 0$)

ξ = Parámetro de ubicación continua

6.5.5. Función de densidad de probabilidad de Burr

$$f(x) = \frac{ak\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta\left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$$

Parámetros:

k = Parámetro de forma continua ($k > 0$)

α = Parámetro de forma continua ($\alpha > 0$)

β = Parámetro de escala continua ($\beta > 0$)

γ = Parámetro de ubicación continua

6.5.6. Función de densidad de probabilidad de Gamma

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-(x - \gamma)/\beta)$$

Parámetros:

α = Parámetro de forma continua ($\alpha > 0$)

β = Parámetro de escala continua ($\beta > 0$)

γ = Parámetro de ubicación continua

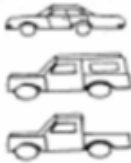

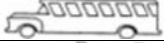










6.6. Tránsito

Para la estimación del tránsito de diseño se deben tener en cuenta diversos factores los cuales se describirán a continuación:

6.6.1. Clasificación de vehículos

Los vehículos convencionales se dividen en tres categorías principales conocidas comúnmente como A, B, C (Automóviles, Buses, Camiones), para el caso de los buses y camiones estos a su vez se dividen en subgrupos, los cuales se presentan a continuación en la Tabla 13

Tabla 13 Esquema clasificación de vehículos

TIPOS DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑO	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDE	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR-CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR-CAMIÓN C3-S2	
>C5	TRACTOR-CAMIÓN C3-S3	

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.2. Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia

Los pesos y dimensiones máximas de los vehículos de carga que circulan por el territorio nacional están reglamentados por el ministerio de transporte.

A continuación, en la Tabla 14 se presentan los pesos brutos vehiculares vigentes en Colombia para los vehículos de carga.

Tabla 14 Pesos brutos vehiculares máximos vigentes en Colombia

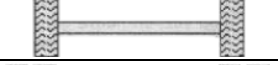

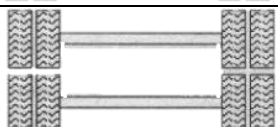
TIPO DE CAMIÓN	CONFIGURACIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR t
RÍGIDO	C-2 CONVENCIONAL	16
	C-2 DIRECCIÓN ADELANTE	
	C-3	28
	C-3 TÁNDEM MIXTO	23
	C-4a	36
	C-4b	
CAMIÓN SEMIRREMOLQUE	C2-S1	27
	C2-S2	32
	C2-S3	
	C3-S1	29
	C3-S2	48
	C3-S3	52
REMOLQUE	R2	16
CAMIÓN REMOLQUE	C2-R2	31
	C3-R2	44
	C4-R2	48

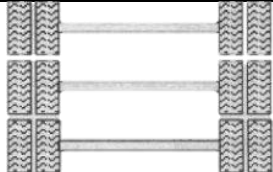
Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.3. Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia

Las cargas que transmiten los vehículos el pavimento se realizan por medio de sus ejes. Cuando menor sea la cantidad de llantas se efectuará un mayor esfuerzo aplicado a la estructura del pavimento.

Tabla 15 Cargas máximas por tipo de eje vigentes en Colombia

DESCRIPCIÓN	CONFIGURACIÓN	PESO t
EJE SIMPLE DIRECCIONAL		6.0
EJE SIMPLE LLANTA DOBLE		11.0
EJE TÁNDEM LLANTA DOBLE		22.0

EJE TRIDEM LLANTA DOBLE		24.0
-------------------------	--	------

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.4. Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo

El factor de equivalencia representa el daño que un vehículo le causa a la estructura del pavimento. Este factor es el número de veces que pasa un eje normalizado de 8.2 toneladas por cada paso de tipo de vehículo, aplicando las ecuaciones presentadas en la Tabla 16 se puede determinar dicho factor de equivalencia por eje.

Tabla 16 Ecuaciones simplificadas para el cálculo del factor de equivalencia de carga por eje (AASHTO)

TIPO DE EJE	ECUACIÓN PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA
SIMPLE DE RUEDA SIMPLE	$\left(\frac{\text{Carga del eje (Tn)}}{6.6}\right)^4$
SIMPLE DE RUEDA DOBLE	$\left(\frac{\text{Carga del eje (Tn)}}{8.2}\right)^4$
TANDEM	$\left(\frac{\text{Carga del eje (Tn)}}{15}\right)^4$
TRIDEM	$\left(\frac{\text{Carga del eje (Tn)}}{23}\right)^4$

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

Para determinar el factor de equivalencia se debe realizar la sumatoria de cada uno de los ejes que componen el vehículo.

Tabla 17 Factores de equivalencia de carga por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año 1996

TIPO DE VEHÍCULO		FACTOR DE EQUIVALENCIA
BUSES	BUS	0.40
	BUS METROPOLITANO	1.00
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 Y C4	C3	3.76
	C2-S1	3.37
	C4	6.73
	C3-S1	2.22
	C2-S2	3.42
C5	C3-S2	4.40
>C5	>C5	4.72

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.5. Rangos de tránsito considerados

Estos rangos se refieren al número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril de diseño, durante todo el periodo de diseño.

Tabla 18 Rangos de tránsito

DESIGNACIÓN	RANGOS DE TRANSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO
T1	$0.5 - 1 * 10^6$
T2	$1 - 2 * 10^6$
T3	$2 - 4 * 10^6$
T4	$4 - 6 * 10^6$
T5	$6 - 10 * 10^6$
T6	$10 - 15 * 10^6$
T7	$15 - 20 * 10^6$
T8	$20 - 30 * 10^6$
T9	$30 - 40 * 10^6$

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.6. Distribución direccional y por carril de vehículos pesados.

Antes de realizar el cálculo del tránsito equivalente para vehículos pesados, se debe determinar la distribución porcentual de acuerdo con cada característica de las condiciones de tránsito en la vía donde se realizará el estudio.

Por medio de observación, se determina la distribución direccional (Fd) para vehículos comerciales. El paso por seguir será corregir el número de vehículos comerciales en cada dirección por el factor Fca teniendo en cuenta el número de carriles que existen en cada sentido.

Tabla 19 Rangos de tránsito

NUMERO TOTAL DE CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE DISEÑO (Fca)
1	1.00
2	0.90
3	0.75

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

6.6.7. Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño para el nivel 2.

A partir de datos históricos, se siguen los pasos descritos a continuación:

1. Establecer la serie histórica de Tránsito Promedio Diario Semanal de los últimos 10 años.
2. Realizar la conversión del Tránsito Promedio Diario Semanal de cada uno de los años a ejes equivalentes acumulados durante ese año, en el carril de diseño con la siguiente ecuación:

$$N_{8.2t_{año\ i}} = 365(TPDS_i * \%VC_i * FC_{año\ i}) * Fd * Fca$$

$N_{8.2t_{año\ i}}$: Numero acumulado de ejes de 8.2 t que circularon en el año i, en el carril de diseño.

$año\ i$: Uno de los años de la serie en estudio.

$TPDS_i$: Transito promedio diario semanal medido en el año i de la serie en estudio, se realiza la sumatoria del tránsito en cada dirección.

$\%VC_i$: Es el porcentaje de buses más camiones que se midió en el año i de la serie en estudio.

$FC_{año\ i}$: Factor de equivalencia global para vehículos comerciales o factor camión global del año i, se determina de la siguiente manera:

$$Fc = \frac{\sum Ci * fi}{\sum Ci}$$

Fd : Factor de distribución direccional de los vehículos comerciales.

Fca : Factor de distribución por carril.

3. Realizar un análisis estadístico para establecer modelos de crecimiento como regresiones, modelos auto-regresivos, modelos económicos, modelos de transporte, etc.
4. Para seleccionar cualquier modelo de crecimiento se realiza sobre la base de los resultados de los coeficientes estadísticos tales como R^2 , F, t, etc, se realiza el análisis de las variables considerando las características del proyecto. No se rechazará o aceptará un modelo sobre los resultados de dichos coeficientes de determinación.
5. Estimar el tránsito futuro para cada uno de los años del periodo de diseño, esto en base al modelo seleccionado con anterioridad, se considera también el tiempo de gestiones como el financiamiento, permisos, adjudicaciones y la construcción del proyecto.
6. Corrección del tránsito proyectado con esto se garantiza una confiabilidad del 90% en la determinación de número de ejes equivalentes. Por medio del cálculo del error estándar:

Para determinar la confiabilidad al tránsito se sigue el procedimiento descrito a continuación:

Error estándar (σ) del modelo utilizado en la proyección del tránsito:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y_{\text{modelo } i})^2}{n' - 2}}$$

Donde:

σ : Error estándar del modelo

Y_i : Valor medido en el año i

$Y_{\text{modelo } i}$: Valor estimado en el año (usando el modelo)

n' : Número de puntos analizados en la serie

i : Varía de 1 a n'

Error estándar en la predicción del tránsito ($\sigma_{\text{pronostico}}$) año por año

$$\sigma_{\text{pronostico}} = \sigma * \sqrt{\frac{(X_j - X)^2}{\sum(X_j - X)^2} - \frac{1}{n}}$$

Subíndices:

i : años de la serie histórica utilizada para definir el modelo

j : años de proyección en el periodo de diseño

Donde:

$\sigma_{\text{pronostico}}$: Error estándar de la estimación Y_j en el año X_j

σ : Error estándar modelo

X_j : Valor variable independiente para la proyección en el periodo de diseño.

X_i : Valor variable independiente utilizada en la definición del modelo.

\bar{X} : Valor de la media de la variable independiente, el valor del año medio de la serie histórica.

n : Número de años del periodo de diseño.

Valores de corrección (C_j):

Se toma un valor para Z_r que garantice un nivel de confianza, el error estándar ya es un valor conocido y se asume que es una distribución normal para la diferencia del tránsito real con el estimado.

$$C_j = \sigma_{\text{pronostico}} * Zr$$

Como paso siguiente se calcula los ejes equivalentes corregidos para cada año, se realiza por medio de:

$$N'j = Nj + Cj$$

Donde:

Nj: Ejes equivalentes estimados por el modelo en el año j

Cj: Corrección en ejes equivalentes para el año j

N'j: Ejes equivalentes corregidos en el año j

7. Realizar la sumatoria de los tránsitos equivalentes corregidos para cada año en el periodo de diseño.
8. Por último, calcular el valor del tránsito equivalente de diseño, teniendo en cuenta las siguientes variables:
 - Tránsito normal
 - Volúmenes de tránsito: Tránsito generado y atraído gracias a la construcción de la nueva vía.

7. INFORMACIÓN DISPONIBLE

7.1. Estudio Geotécnico

7.1.1. Exploración en campo

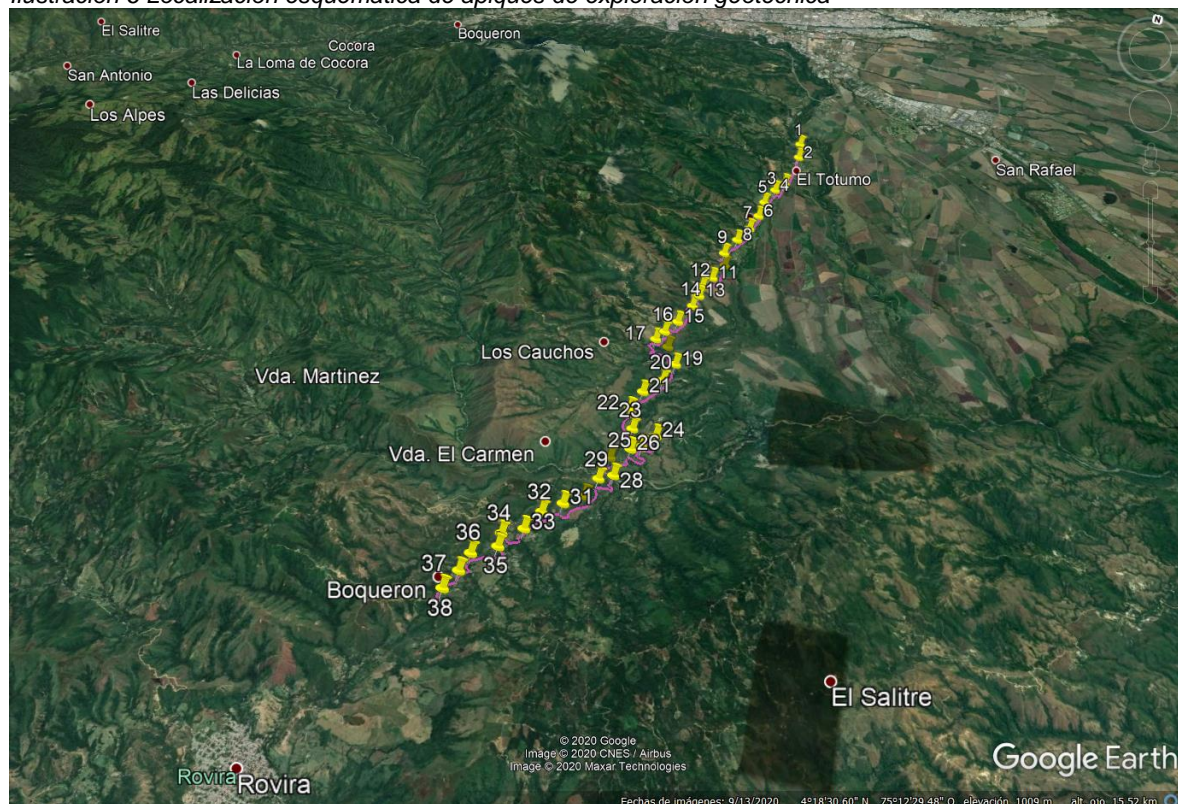
La exploración geotécnica en campo realizada a lo largo del tramo vial Rovira – Ibagué se ejecutó durante el mes de septiembre del año 2017 bajo los lineamientos que se describen a continuación:

- Profundidad media de perforación: 1.50 metros
- Intervalo de apiques: 500 metros aproximadamente

La exploración geotécnica efectuada a lo largo del tramo vial se llevó a cabo con el fin de conocer el material y sus características de cada una de las capas que componen la estructura, tales como la subrasante, la base y subbase granular

Se realizaron en total treinta y nueve (39) apiques en el sector El Totumo (K00+050) hasta el sector El Boquerón (K19+000) con una profundidad media de 1.50 metros y una separación de 500 metros de longitud aproximadamente.

Ilustración 6 Localización esquemática de apiques de exploración geotécnica



Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Tabla 20 Localización de apiques

Apique No.	Abscisa	Coordenadas		Profundidad (metros)
		Norte	Este	
1	K00+050.000	484775.284	479624.993	1.50
2	K00+550.000	484275.833	479646.039	1.50
3	K01+550.000	483305.763	479441.419	1.50
4	K02+050.000	483022.128	479264.077	1.50
5	K02+550.000	482557.934	479084.051	1.50
6	K03+000.000	482130.500	479046.848	1.50
7	K03+500.000	481671.786	478868.040	1.50
8	K04+000.000	481251.855	478712.025	1.50
9	K04+500.000	480834.673	478464.839	1.50
10	K05+000.000	480416.580	478550.914	1.50
11	K05+500.000	479983.664	478373.520	1.50
12	K06+000.000	479675.447	478197.152	1.50
13	K06+500.000	479437.278	478204.010	1.50
14	K07+000.000	479114.099	478111.976	1.50
15	K07+500.000	478650.981	477953.555	1.50
16	K08+000.000	478367.519	477780.303	1.50
17	K08+500.000	478074.907	477474.849	1.50
18	K09+000.000	477914.090	477706.273	1.50
19	K09+500.000	477574.559	477982.614	1.50
20	K10+000.000	477158.669	477957.895	1.50
21	K10+500.000	476741.948	477685.392	1.50
22	K11+000.000	476350.085	477545.773	1.50
23	K11+500.000	475924.980	477477.265	1.50
24	K12+000.000	475713.248	477841.824	1.50
25	K12+500.000	475599.581	477869.431	1.50
26	K13+000.000	475357.285	477819.922	1.50
27	K13+500.000	475229.348	477488.779	1.50
28	K14+000.000	474957.812	477420.523	1.50
29	K14+500.000	474705.284	477411.349	1.50
30	K15+000.000	474373.409	477228.710	1.50
31	K15+500.000	474026.466	476907.483	1.50
32	K16+000.000	473795.913	476672.171	1.50
33	K16+500.000	473553.502	476378.176	1.50
34	K17+000.000	473181.515	476171.853	1.50
35	K17+500.000	472997.926	475984.501	1.50
36	K18+000.000	472800.515	475872.360	1.50
37	K18+500.000	472491.103	475606.073	1.50
38	K19+000.000	472133.434	475408.003	1.50
39	K19+500.000	471830.676	475356.243	1.50

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.1.2. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio de las muestras fueron realizados por el Laboratorio Auscultar S.A.S durante los meses de octubre y noviembre del año 2017. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Humedad
- Límite líquido
- Límite plástico
- Granulometría
- Límite de contracción
- CBR inalterado
- PDC

Los ensayos se realizaron de acuerdo con las especificaciones que se presentan en la Tabla 21

Tabla 21 Especificaciones técnicas ensayos

Norma	Especificaciones
INV E 125-13	Determinación del límite líquido de los suelos
INV E 126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos
INV E 127-13	Determinación de los factores de contracción de los suelos
INV E 148-13	CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada
INV E 172-13	Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad
NTC 1522-79	Ensayo para determinar la granulometría por tamizado de los suelos

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.1.3. Resultados de los ensayos

En la Tabla 22 se presentan los resultados de los ensayos realizados a las muestras recolectadas en campo.

Tabla 22 Resultados ensayos de laboratorio

Apique	Wn (%)	LL(%)	LP (%)	IP(%)	LC (%)	CBR IN (%)	CBR SU (%)	PDC (%)
1	22.42	52.24	23.47	28.77	18.00	4.70	1.23	13.6
2	23.02	48.61	21.76	26.84	13.00	3.06	0.83	10.00
3	9.44	23.46	17.93	5.00	-	-	-	11.8
4	17.31	37.28	19.22	18.06	19.00	6.03	0.64	17.00
5	8.91	31.65	19.75	11.90	-	-	-	24.00
6	10.89	38.76	18.50	20.25	-	-	-	-
7	18.33	39.15	24.77	14.38	-	-	-	-
8	8.34	32.65	18.70	13.95	-	-	-	-
9	22.04	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-

Apique	Wn (%)	LL(%)	LP (%)	IP(%)	LC (%)	CBR IN (%)	CBR SU (%)	PDC (%)
10	11.03	31.51	18.01	13.49	9.00	4.13	0.64	15.60
11	6.36	26.78	13.57	13.22	-	-	-	-
12	13.33	23.51	19.02	4.49	15.00	15.39	0.35	16.90
13	16.47	37.76	24.28	13.48	-	-	-	-
14	7.22	28.10	12.64	15.46	-	-	-	-
15	13.06	23.63	14.82	8.81	-	-	-	-
16	4.39	24.49	18.48	6.02	-	-	-	-
17	11.43	34.30	19.76	14.53	-	-	-	-
18	3.81	24.59	16.17	8.41	-	-	-	-
19	18.30	37.04	19.67	17.37	13.00	7.76	0.85	6.10
20	17.88	37.34	18.72	18.62	8.00	2.43	0.37	4.80
21	9.58	37.26	20.33	16.93	-	-	-	28.10
22	4.70	31.04	19.30	11.74	-	-	-	30.00
23	9.38	0.00	0.00	0.00	-	-	-	26.20
24	17.82	41.16	27.67	13.49	-	-	-	-
25	9.52	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
26	8.02	24.53	17.62	6.91	-	-	-	-
27	4.35	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
28	6.76	30.87	21.74	9.12	-	-	-	-
29	7.65	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
30	6.08	23.65	13.67	9.98	-	-	-	-
31	4.50	35.33	20.19	15.14	-	-	-	-
32	4.74	29.22	18.35	10.87	-	-	-	21.20
33	6.31	29.24	18.60	10.64	-	-	-	-
34	5.79	28.87	18.34	10.53	-	-	-	27.50
35	5.22	32.01	18.17	13.84	-	-	-	32.50
36	21.84	82.05	29.28	52.77	7.00	12.69	1.35	2.80
37	5.23	26.60	17.34	9.26	-	-	-	-
38	8.52	39.30	25.63	13.67	-	-	-	-
39	16.13	33.30	17.30	16.00	11.00	1.09	0.22	2.30

Fuente: Elaboración propia

7.2. Estudio de Tránsito

Con el objetivo de determinar los volúmenes vehiculares para el año 2017 en el área de influencia, se realizaron aforos vehiculares en sectores que representan tramos homogéneos a lo largo del corredor vial Rovira - Ibagué.

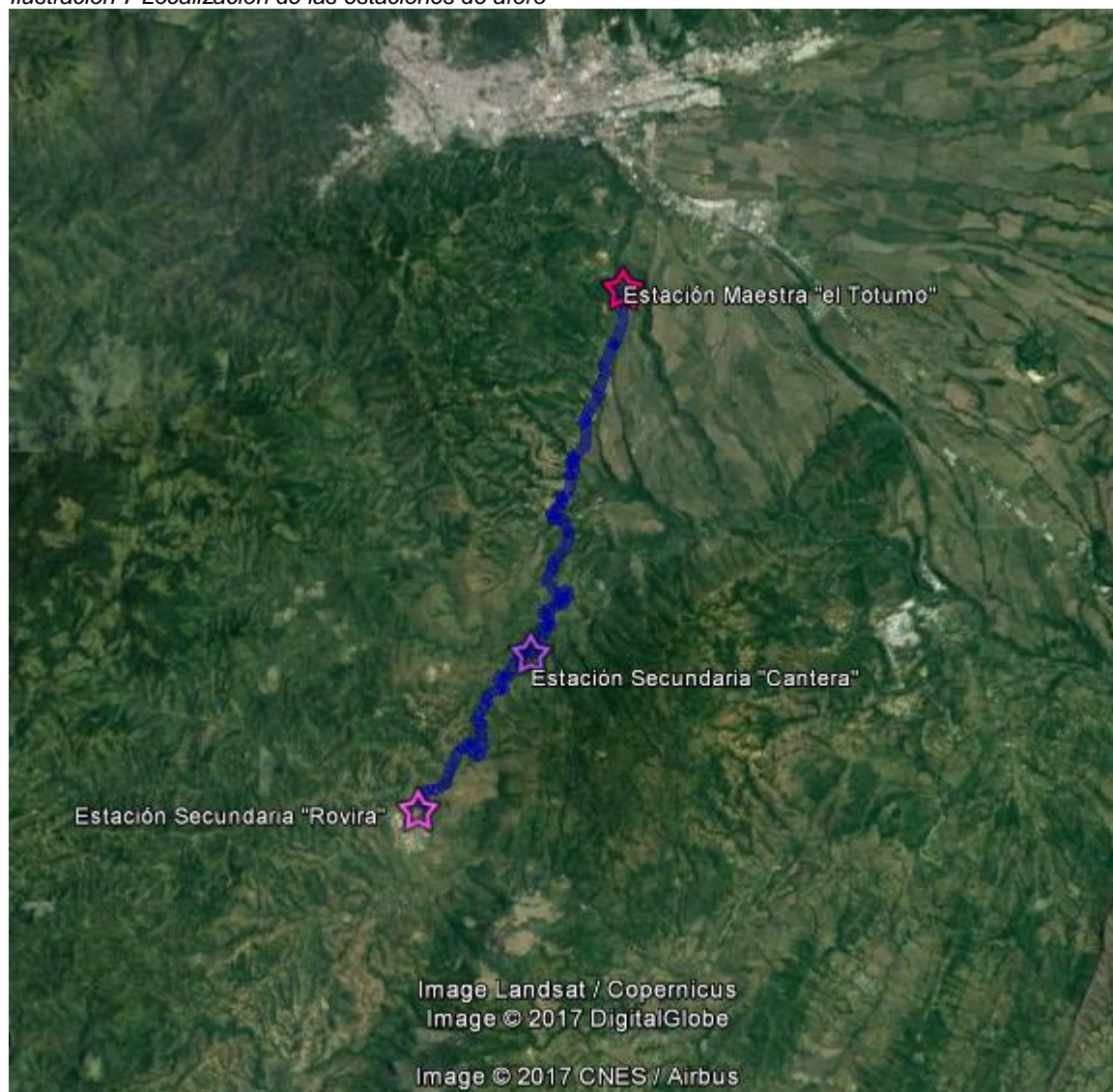
7.2.1. Periodos de aforos vehiculares

Se realizaron conteos vehiculares en una estación maestra, la cual fue localizada en la intersección "LA YE" en el sector conocido como el Totumo, durante siete (7) días, durante las 24 hora del día, iniciando a las 6:00 horas del miércoles 30 de agosto de 2017 y concluyendo a las 06:00 horas del miércoles 06 de septiembre de 2017.

Adicionalmente se tomó información de dos estaciones secundarias, la primera de ellas fue localizada en la intersección que comunica con una cantera de extracción de materiales para construcción, que se encuentra ubicada en la vía del proyecto. La segunda estación fue localizada a la salida del municipio de Rovira con sentido hacia la ciudad de Ibagué. Dichas estaciones secundarias mencionadas anteriormente registraron los flujos vehiculares durante los días hábiles (miércoles 30 de agosto y martes 5 de septiembre de 2017) y un día festivo (sábado 2 de septiembre de 2017).

En la Ilustración 7 se presenta la localización de las estaciones de aforo (Maestra y secundarias)

Ilustración 7 Localización de las estaciones de aforo



Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.1.1. Estación Maestra El Totumo La Ye

En Tabla 23 y la Tabla 24 se presentan los volúmenes horarios promedios registrados durante los siete (7) días de toma de información en la estación Maestra El Totumo La YE (desde el 30 de agosto hasta el 06 de septiembre de 2017) para cada uno de los dos carriles aforados.

Tabla 23 Estación Maestra el Totumo La Ye – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho

Carril derecho											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	125	12	20	1	11	13	0	2	0	382	566
07:00 08:00	192	15	37	4	12	24	16	0	0	324	624
08:00 09:00	208	12	43	5	17	36	11	0	0	263	595
09:00 10:00	265	11	26	6	23	37	7	0	0	289	664
10:00 11:00	252	13	44	2	24	40	15	1	1	284	676
11:00 12:00	307	14	38	9	35	53	12	0	0	342	810
12:00 13:00	276	12	30	2	33	33	16	1	0	362	765
13:00 14:00	294	23	36	5	34	39	8	0	0	361	800
14:00 15:00	325	15	29	9	30	36	5	0	0	292	741
15:00 16:00	320	13	25	5	23	27	3	0	0	231	647
16:00 17:00	476	22	35	1	22	24	5	0	0	366	951
17:00 18:00	260	16	21	5	17	22	4	1	0	242	588
18:00 19:00	249	24	27	2	13	21	0	0	1	231	568
19:00 20:00	223	15	31	8	4	21	0	0	0	217	519
20:00 21:00	118	4	17	4	5	5	0	0	0	143	296
21:00 22:00	63	3	6	2	16	16	1	0	0	86	193
22:00 23:00	57	0	2	1	6	8	0	0	0	56	130
23:00 24:00	26	0	0	0	4	11	0	0	0	28	69
00:00 01:00	17	0	0	1	14	2	0	0	1	12	47
01:00 02:00	14	0	0	0	2	2	0	0	0	9	27

Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
02:00 03:00	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	15
03:00 04:00	13	0	0	0	4	1	0	0	0	11	29
04:00 05:00	19	0	1	1	1	2	0	0	0	24	52
05:00 06:00	44	0	17	1	6	23	0	0	0	160	251

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Tabla 24 Estación Maestra el Totumo La Ye – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierdo

Carril Izquierdo											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	253	24	21	8	33	49	8	0	0	345	741
07:00 08:00	295	12	44	4	37	50	9	1	0	410	862
08:00 09:00	321	13	40	7	33	56	17	0	0	350	837
09:00 10:00	312	21	25	6	28	47	8	0	0	327	774
10:00 11:00	329	15	31	7	26	53	14	0	0	274	749
11:00 12:00	333	13	30	5	38	39	11	1	6	313	789
12:00 13:00	341	14	34	7	23	37	1	0	0	358	815
13:00 14:00	343	17	27	1	39	37	15	0	0	319	798
14:00 15:00	332	14	33	6	19	33	14	0	0	323	774
15:00 16:00	332	15	21	4	18	29	1	0	0	301	721
16:00 17:00	431	18	51	5	16	34	7	1	0	290	853
17:00 18:00	253	12	21	8	20	20	0	0	0	271	605
18:00 19:00	211	10	27	6	13	7	1	0	0	228	503
19:00 20:00	169	3	25	2	8	11	1	0	0	197	416
20:00 21:00	110	3	9	2	0	9	0	0	0	142	275
21:00 22:00	69	0	2	1	16	0	0	0	1	83	172
22:00 23:00	61	0	0	0	3	3	0	0	0	56	123
23:00 24:00	33	0	0	0	2	2	0	0	1	22	60

Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
00:00 01:00	17	0	0	0	0	0	0	0	0	18	35
01:00 02:00	11	0	0	0	0	1	0	0	0	15	27
02:00 03:00	9	0	0	0	0	1	0	0	0	11	21
03:00 04:00	12	0	0	0	1	5	0	0	0	9	27
04:00 05:00	11	2	2	3	5	2	1	0	1	12	39
05:00 06:00	79	4	2	3	22	16	5	0	0	144	275

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.1.2. Estación Secundaria La Cantera

En la Tabla 25 y la Tabla 26 se presentan los volúmenes horarios promedio registrados durante los días hábiles (miércoles 30 de agosto y martes 5 de septiembre de 2017) y un día festivo (sábado 2 de septiembre de 2017).

Tabla 25 Estación Secundaria La Cantera – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho

Carril Derecho (Rovira – Ibagué)											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	11	0	8	1	1	2	1	0	0	33	57
07:00 08:00	27	0	8	4	1	4	6	0	0	54	104
08:00 09:00	25	1	10	0	4	4	2	0	0	77	123
09:00 10:00	31	1	13	1	7	14	6	0	1	72	146
10:00 11:00	30	1	15	2	13	9	4	0	0	65	139
11:00 12:00	28	1	12	3	11	12	3	0	0	74	144
12:00 13:00	30	0	13	2	11	5	2	0	0	90	153
13:00 14:00	42	0	14	3	13	12	0	0	0	80	164
14:00 15:00	51	1	12	3	4	18	0	0	0	72	161
15:00 16:00	22	3	12	3	6	6	5	1	0	65	124
16:00 17:00	70	2	10	5	7	5	0	0	0	84	182
17:00 18:00	52	2	7	3	6	1	6	0	0	66	143

Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
18:00 19:00	40	1	12	2	3	2	0	0	0	38	98
19:00 20:00	7	1	3	0	1	1	0	0	0	14	27
20:00 21:00	7	3	4	2	0	2	0	0	0	21	39
21:00 22:00	35	0	7	6	3	1	0	0	0	59	111

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Tabla 26 Estación Secundaria La Cantera – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierdo

Carril Izquierdo (Rovira – Ibagué)											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	19	0	1	0	10	7	6	0	0	26	69
07:00 08:00	51	1	9	5	5	24	1	0	0	78	174
08:00 09:00	51	1	17	1	14	8	2	0	0	92	186
09:00 10:00	44	1	18	4	12	10	9	1	0	68	167
10:00 11:00	30	1	11	1	11	16	3	0	0	61	134
11:00 12:00	36	0	13	3	8	5	3	0	0	71	139
12:00 13:00	34	1	7	3	10	14	0	0	0	64	133
13:00 14:00	48	0	15	3	9	10	0	0	0	97	182
14:00 15:00	43	1	6	1	4	12	0	0	0	85	152
15:00 16:00	39	2	6	3	5	7	3	0	0	78	143
16:00 17:00	53	3	7	1	3	6	0	0	0	82	155
17:00 18:00	62	3	15	5	2	4	0	0	0	91	182
18:00 19:00	25	1	10	3	3	4	0	0	0	69	115
19:00 20:00	15	1	8	2	1	1	0	0	0	25	53
20:00 21:00	8	0	2	2	1	0	0	0	0	20	33
21:00 22:00	30	1	9	2	7	4	2	0	0	66	121

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.1.3. Estación Secundaria Rovira

En la Tabla 27 y la Tabla 28 se presentan los volúmenes horarios promedios registrados durante los días hábiles (miércoles 30 de agosto y martes 5 de septiembre de 2017) y un día festivo (sábado 2 de septiembre de 2017).

Tabla 27 Estación Secundaria Rovira – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Derecho

Carril Derecho (Rovira – Ibagué)											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	13	0	3	3	7	2	0	0	0	66	94
07:00 08:00	21	1	9	3	7	9	0	0	0	83	133
08:00 09:00	34	0	7	2	6	10	0	0	0	121	180
09:00 10:00	31	0	14	8	21	12	0	0	0	131	217
10:00 11:00	33	2	11	5	14	9	0	0	0	105	179
11:00 12:00	34	1	13	4	13	10	0	0	0	107	182
12:00 13:00	48	0	10	3	11	12	0	0	0	129	213
13:00 14:00	39	0	8	4	25	14	0	0	0	129	219
14:00 15:00	43	3	7	2	10	8	0	0	0	107	180
15:00 16:00	43	3	6	1	13	8	0	0	0	141	215
16:00 17:00	55	3	10	0	17	8	0	0	0	129	222
17:00 18:00	119	1	9	2	12	5	0	0	0	138	286
18:00 19:00	67	2	16	1	7	16	0	0	0	125	234
19:00 20:00	52	2	3	1	6	3	0	0	0	118	185
20:00 21:00	38	2	1	1	1	6	0	0	0	122	171
21:00 22:00	4	0	3	0	4	3	0	0	0	49	63

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Tabla 28 Estación Secundaria Rovira – Flujos vehiculares horario por tipo de vehículo Carril Izquierda

Carril Izquierdo (Rovira – Ibagué)											
Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
06:00 07:00	8	2	1	2	8	5	0	0	0	51	77

Hora	Auto	Buseta	Micro-Bus	Bus-Int	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Motos	Total
07:00 08:00	46	1	7	6	27	19	0	0	0	94	200
08:00 09:00	62	0	13	6	28	6	0	0	0	123	238
09:00 10:00	64	1	11	16	18	7	1	0	0	177	295
10:00 11:00	43	0	6	4	15	18	1	0	0	122	209
11:00 12:00	23	0	8	2	9	9	0	0	0	88	139
12:00 13:00	39	0	9	3	14	9	0	0	0	109	183
13:00 14:00	46	0	10	3	12	15	0	0	0	101	187
14:00 15:00	30	2	4	3	13	6	0	0	0	121	179
15:00 16:00	39	4	6	0	5	16	0	0	0	117	187
16:00 17:00	46	2	13	5	9	4	0	0	0	136	215
17:00 18:00	62	2	11	1	5	9	0	0	0	134	224
18:00 19:00	71	7	9	0	13	8	0	0	0	160	268
19:00 20:00	65	3	13	0	6	6	0	0	0	145	238
20:00 21:00	31	0	5	0	3	1	0	0	0	95	135
21:00 22:00	6	2	2	0	1	0	1	0	0	52	64

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.2. Factor sentido

En la Tabla 29 se presentan los TPD registrados en la estación maestra, composición vehicular y sentido.

Tabla 29 Tránsito promedio diario (TPD) por sentido

Sentido	TPD	Auto	Bus	Camión	Proporción con relación al TPD (ambos sentidos)
Rovira- Ibagué	843	70%	13%	16%	48%
Ibagué - Rovira	925	72%	11%	16%	52%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Teniendo en cuenta las proporciones presentadas en la tabla anterior, se tiene que el factor direccional hará referencia al sentido con mayor circulación. Por su parte,

el factor carril será del 100%, considerando que se trata de una calzada sencilla con un carril por sentido.

Tabla 30 Factor direccional y factor carril

Factor de direccionalidad	52%
Factor carril	100%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.3. Tasa de crecimiento de los volúmenes de tránsito vehicular

En la Tabla 31 se presentan las tasas de crecimiento utilizadas para la proyección de los volúmenes de tránsito vehicular, por tipo de vehículo y por periodo. Estas tasas fueron estimadas por el consorcio Diseños Rovira a partir de información secundaria.

Tabla 31 Tasas de crecimiento de los volúmenes vehiculares

Periodo	Autos	Buses	Camiones
Tasa de crecimiento 2017 - 2037	1.5%	1.5%	4.5%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.4. Tránsito atraído

El manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de Tránsito del INVIAS sugiere aplicar el criterio del Instituto de Ingenieros de Estados Unidos, el cual señala que al tránsito atraído se le pueden asignar valores de porcentajes entre el 5% -25% del tránsito normal.

Considerando lo anterior, El Consorcio Diseños Rovira asigno un porcentaje del 5% al tránsito normal para calcular el tránsito atraído cuyo crecimiento anual fue proyectado con las tasas de crecimiento presentadas en la Tabla 31

Tabla 32 porcentaje de tránsito atraído por tipo de vehículo

Porcentaje (%) de tránsito atraído		
Autos	Buses	Camiones
5.0	5.0	5.0

Fuente: Manual de diseño d pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

7.2.5. Determinación TPD

En la Tabla 33 se presenta el tránsito futuro estimado en la vía Rovira – Ibagué

Tabla 33 Tránsito futuro estimado vía Rovira - Ibagué

TPD AÑO 2017	1769									
FACTOR DE DIRECCIONALIDAD	52.00%									
FACTOR CARRIL	100.00%									
TASA DE CRECIMIENTO	1.5%	AUTOS								
	1.5%	BUSES								
	4.5%	CAMIONES								
	Auto	Buseta	Bus -int	Mic Bus	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Total
Actual	656	33	12	70	57	78	17	1	1	925
Atraído	33	2	1	4	3	4	1	0	0	46
Total	689	35	13	74	60	82	18	1	1	971
18	700	36	13	75	63	86	19	2	2	996
19	711	37	14	77	66	90	20	3	3	1021
20	722	38	15	79	69	95	21	4	4	1047
21	733	39	16	81	73	100	22	5	5	1074
22	744	40	17	83	77	105	23	6	6	1101
23	756	41	18	85	81	110	25	7	7	1130
24	768	42	19	87	85	115	27	8	8	1159
25	780	43	20	89	89	121	29	9	9	1189
26	792	44	21	91	94	127	31	10	10	1220
27	804	45	22	93	99	133	33	11	11	1251
28	817	46	23	95	104	139	35	12	12	1283
29	830	47	24	97	109	146	37	13	13	1316
30	843	48	25	99	114	153	39	14	14	1349
31	856	49	26	101	120	160	41	15	15	1383
32	869	50	27	103	126	168	43	16	16	1418
33	883	51	28	105	132	176	45	17	17	1454
34	897	52	29	107	138	184	48	18	18	1491
35	911	53	30	109	145	193	51	19	19	1530
36	925	54	31	111	152	202	54	20	20	1569
37	939	55	32	113	159	212	57	21	21	1609
o 10 Años	8.08E+03	4.29E+02	1.78E+02	8.94E+02	8.17E+02	1.11E+03	2.53E+02	5.61E+01	5.61E+01	1.19E+04
o 20 Años	1.67E+04	9.24E+02	4.43E+02	1.91E+03	2.06E+03	2.77E+03	6.79E+02	2.11E+02	2.11E+02	2.59E+04

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.2.6. Estimación de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas

Para efectos de diseño de pavimentos, se calculó el número de repeticiones totales de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas durante el periodo de diseño, en el carril más cargado, en este orden de ideas, se afectó el número de vehículos esperados por el factor camión que corresponde al tipo de vehículo.

Se aplicaron los valores para Factor Camión sugeridos por el INVIAS.

Tabla 34 Factores de equivalencia

Tipo de Vehículo	Factor daño
Autos	0
Buses	1

Tipo de Vehículo	Factor daño
C2P	1.14
C2G	3.44
C3-C4	3.76
C5	4.40
>C5	4.72

Fuente: INVIAS

Se consolidan los ejes equivalentes para la vía Rovira – Ibagué

Tabla 35 Ejes equivalentes del tránsito proyectado para el sentido (carril) de diseño

Años	Auto	Buseta	Bus int	Mic bus	C2P	C2G	C3	C5	>C6	Total
5	0.00E+00	7.12E+04	2.92E+04	1.48E+05	1.43E+05	5.98E+05	1.52E+05	4.02E+04	4.31E+04	1.22E+06
10	0.00E+00	1.51E+05	6.75E+04	3.14E+05	3.26E+05	1.36E+06	3.65E+05	1.20E+05	1.29E+05	2.83E+06
20	0.00E+00	3.39E+05	1.72E+05	7.01E+05	8.58E+05	3.53E+06	1.02E+06	4.02E+05	4.31E+05	7.45E+06

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.3. Diseño de pavimento Consorcio Diseños Rovira

A continuación, se presenta el diseño del pavimento a partir de la metodología AASHTO-93 realizado por el Consorcio Diseños Rovira dentro de los cuales se establecieron los siguientes parámetros fundamentales:

- Tránsito proyectado en el periodo de diseño (10 años).
- Módulo Resiliente de la subrasante
- Características de los materiales a colocar.
- Condiciones de drenaje
- Número estructural (Confiabilidad, Serviciabilidad)

Los anteriores parámetros se describen a continuación:

7.3.1. Tránsito

El tránsito de diseño, en el periodo de diseño (2018 – 2028), en ejes equivalentes a 8.2 Ton, calculado es de 2.826.516.

7.3.2. Módulo Resiliente de la Subrasante

El Módulo Resiliente de diseño es el resultado de promediar los valores de módulo resiliente obtenidos a partir de la deflectometría empleando a metodología de diseño AASHTO-93, los cuales se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36 Módulo Resiliente de diseño – Consorcio Diseños Rovira

Módulo Resiliente				
c	Tramo desde	Tramos hasta	MR (kg/cm ²)	MR (psi)
1	K00+050	K02+550	104	1479.22

Número	Tramo desde	Tramos hasta	MR (kg/cm2)	MR (psi)
2	K02+550	K06+050	430	6116.02
3	K06+050	K07+150	104	1479.22
4	K07+150	K09+750	497	7068.98
5	K09+750	K10+750	505	7182.77
6	K10+750	K12+250	386	5490.19
7	K12+250	K12+750	611	8690.44
8	K12+750	K14+750	343	4878.59
9	K14+750	K15+250	393	5589.76
10	K15+250	K16+750	636	9046.02
11	K16+750	K17+250	459	6528.49
12	K17+250	K17+750	613	8718.88
13	K17+750	K19+000	427	6073.35
14	K19+000	K19+310	506	7196.99

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.3.3. Número estructural

Para diseñar la estructura de pavimento utilizando la metodología AASHTO-93 es necesario determinar el número estructural requerido para soportar el tránsito esperado, el cual se obtiene al despejar dicho valor de la siguiente ecuación:

$$\text{Log } N = Z_r S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \text{Log } M_r - 8.07$$

A continuación, en la Tabla 37 se presentan los números estructurales para cada tramo calculados por el Consorcio Diseños Rovira

Tabla 37 Número estructural – Consorcio Diseños Rovira

Número	Tramo desde	Tramos hasta	SN
1	K00+050	K02+550	1.90
2	K02+550	K06+050	3.10
3	K06+050	K07+150	3.00
4	K07+150	K09+750	4.00
5	K09+750	K10+750	3.80
6	K10+750	K12+250	4.40
7	K12+250	K12+750	3.80
8	K12+750	K14+750	4.60
9	K14+750	K15+250	4.40
10	K15+250	K16+750	3.70
11	K16+750	K17+250	4.10
12	K17+250	K17+750	3.70
13	K17+750	K19+000	4.20
14	K19+000	K19+310	4.00

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Para el diseño de la estructura se asumieron los siguientes parámetros de diseño:

Tabla 38 Parámetros de diseño AASHTO

Confiabilidad	90%
Zr	1.282
So	0.45 (Estructura nueva)
Po	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)
Pf	2.2 (Índice de serviciabilidad final)

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

7.3.4. Coeficientes estructurales y de drenaje

Para la determinación de los espesores de las estructuras de pavimento se manejaron los siguientes materiales con sus propiedades estructurales y de drenaje.

El coeficiente estructural de la mezcla asfáltica (C.A.), en función de la temperatura promedio de la zona (Temperatura Promedio = 24°C), conforme con lo consignado en el Manual de Diseño de Pavimentos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS - Tabla 8.1., corresponde a 0.30.

Las capas tratadas con cemento tienen un coeficiente de drenaje de 1.0 según la metodología AASHTO.

El coeficiente estructural de la Base Granular es de 0.14, el cual se obtiene de la metodología AASHTO para un CBR de 100%. Debe cumplir además con las especificaciones INVIAS-2013. El coeficiente de drenaje de la capa de base granular, con base en las condiciones de la zona, corresponde a 1.0.

El coeficiente estructural de la Subbase Granular es de 0.12, el cual se obtiene de la metodología AASHTO para un CBR de 40%. Debe cumplir además con las especificaciones INVIAS-2013. El coeficiente de drenaje de las capas de Subbase granular, con base en las condiciones de la zona, corresponde a 0.9.

Para el Material Granular Tratado con Cemento (BTC) conforme con lo consignado en el Manual de Diseño de Pavimentos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS- Tabla 8.1, se adopta un coeficiente estructural de 0.16, el coeficiente de drenaje de esta capa es 1.0.

Para el material producto del reciclado de la carpeta asfáltica existente y parte del material granular existente, se proyecta llevarlo a las características de un material tipo Subbase, de tal manera que se asignó un coeficiente de aporte del material de 0.09 y un coeficiente de drenaje de 0.9.

7.3.5. Estructura de pavimento diseñada

Tabla 39 Diseño estructura de pavimento – Consorcio Diseños Rovira

Estructura de pavimento					
Tramo	Abscisa inicio	Abscisa fin	Carpeta asfáltica (cm)	Base Granular (cm)	Subbase Granular (cm)
1	K00+050	K02+550	12	25	35
2	K02+550	K06+050	12	20	35
3	K06+050	K07+150	12	25	35
4	K07+150	K09+750	12	20	25
5	K09+750	K10+750	12	20	25
6	K10+750	K12+250	12	20	25
7	K12+250	K12+750	12	20	30
8	K12+750	K14+750	12	20	25
9	K14+750	K15+250	12	20	25
10	K15+250	K16+750	12	20	30
11	K16+750	K17+250	12	20	25
12	K17+250	K17+750	12	20	30
13	K17+750	K19+000	12	20	25
14	K19+000	K19+310	12	20	25

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

8. DETERMINACIÓN DE VARIABLES

Con el fin de determinar una comparación de nuestro diseño con el diseño realizado por el Consorcio se han tomado variables iguales a las del consorcio, sin embargo, esto no quiere decir que se han tomado todas las variables utilizadas por estos, a continuación, se presenta detalladamente las variables tomadas del Consorcio, como las variables determinadas por cuenta propia

8.1. Tránsito de diseño

El tránsito de diseño, en el periodo de diseño (2018 – 2028), en ejes equivalentes a 8.2 Ton, calculado es de 2.826.516. (Variable tomada del Consorcio Diseños Rovira)

8.2. CBR - California Bearing Ratio

El CBR se calculó aplicando cada una de las correlaciones presentadas en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que estas presentan, a continuación, se presenta en la Tabla 40 los CBR calculados.

Tabla 40 Cálculo de CBR

Apique	CBR (1)	CBR (2)	CBR (3)	CBR (4)	CBR (5)	CBR (6)	CBR (7)	CBR (8)	CBR (9)
1	5.06	0.00	11.38	29.86	112.28	0.00	14.52	0.00	15.70
2	5.89	0.00	11.38	28.52	107.09	0.00	19.31	0.00	22.15
3	0.00	0.00	43.46	28.34	76.29	36.48	30.01	38.45	18.40
4	5.35	0.00	11.38	36.58	138.27	14.53	26.41	14.39	12.23
5	0.00	0.00	32.58	27.87	84.70	23.47	24.93	25.34	8.31
6	7.62	0.00	11.38	28.52	107.10	12.18	28.42	10.50	0.00
7	0.00	0.00	54.42	30.96	76.12	11.56	10.89	20.93	0.00
8	0.00	0.00	30.94	26.33	80.27	21.89	27.86	13.25	15.70
9	0.00	29.80	32.96	26.10	77.47	73.73	80.15	46.50	0.00
10	11.72	0.00	11.38	27.58	103.46	23.70	29.79	22.52	13.46
11	12.69	0.00	11.38	26.72	100.13	31.21	42.20	23.00	0.00
12	0.00	0.00	19.02	27.12	94.51	36.40	26.97	38.52	0.00
13	10.89	0.00	11.38	28.67	107.67	13.77	12.26	22.53	0.00
14	10.94	0.00	11.38	26.96	101.08	29.11	44.80	19.01	0.00
15	15.68	0.00	11.38	28.36	106.47	36.21	38.71	30.84	0.00
16	0.00	0.00	51.26	28.77	70.64	34.84	28.48	35.80	0.00
17	0.00	0.00	11.38	22.29	83.02	19.27	24.90	20.67	0.00
18	0.00	0.00	56.98	31.03	73.99	34.69	34.93	31.55	0.00
19	8.61	0.00	11.38	28.87	108.45	14.91	25.15	15.62	38.53
20	8.73	0.00	11.38	27.75	104.14	14.44	27.80	13.40	50.40
21	0.00	0.00	14.94	21.38	76.14	14.57	23.30	16.40	6.96
22	0.00	0.00	37.95	27.04	76.43	24.44	26.18	25.63	6.47
23	0.00	29.80	28.04	22.58	68.48	73.73	80.15	46.50	7.53
24	11.04	0.00	11.38	28.38	106.56	8.37	2.78	22.52	0.00
25	0.00	29.80	19.85	19.34	63.68	73.73	80.15	46.50	0.00

Apique	CBR (1)	CBR (2)	CBR (3)	CBR (4)	CBR (5)	CBR (6)	CBR (7)	CBR (8)	CBR (9)
26	0.00	0.00	11.38	23.44	87.46	34.78	30.88	34.22	0.00
27	0.00	0.00	14.14	21.03	75.54	73.73	80.15	46.50	0.00
28	0.00	29.80	21.97	22.68	74.59	24.71	19.36	30.29	0.00
29	0.00	36.00	34.23	25.47	73.85	73.73	80.15	46.50	0.00
30	10.24	0.00	11.42	34.05	128.46	36.18	41.92	28.76	0.00
31	0.00	0.00	59.67	32.97	78.97	17.63	23.69	19.58	0.00
32	0.00	0.00	43.66	30.00	82.52	27.33	28.84	27.18	9.55
33	0.00	0.00	48.98	30.48	79.38	27.30	28.14	27.58	0.00
34	0.00	0.00	70.50	31.97	64.93	27.89	28.87	27.78	7.13
35	0.00	0.00	38.81	32.62	75.92	22.90	29.34	21.89	5.92
36	1.96	0.00	11.38	36.11	136.46	0.00	0.00	0.00	92.16
37	0.00	0.00	38.40	28.49	81.61	31.49	31.66	30.04	0.00
38	0.00	0.00	35.19	29.67	89.18	11.33	8.48	22.20	0.00
39	10.81	0.00	11.38	26.73	100.17	20.85	31.78	18.05	114.88

Fuente: Elaboración propia

8.3. MR – Módulo Resiliente

El módulo resiliente se calculó aplicando cada una de las correlaciones presentadas en el marco teórico, aquellos valores cuyo resultado es 0.00 no son tenidos en cuenta dentro de los análisis posteriores.

A continuación, se presenta en la Tabla 41 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 1 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 41 Cálculo de MR – Correlación 1

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	7918	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	9225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	8374	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	11922	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	13470	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	13663	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13102	4352	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	3068	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 42 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 2 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 42 Cálculo de MR – Correlación 2

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	7589	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	8842	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	8026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	11427	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	12911	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	13095	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12558	4171	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	2940	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 43 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 3 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40. De esta correlación se obtiene el Módulo Resiliente en MPa, los resultados aquí presentados se han transformado a PSI.

Tabla 43 Cálculo de MR – Correlación 3

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	7338	0.00	16502	43306	162845	0.00	21065	0.00	22767
2	8549	0.00	16502	41359	155319	0.00	28000	0.00	32127
3	0.00	0.00	63027	41103	110643	52909	43531	55764	26691
4	7761	0.00	16502	53054	200543	21079	38300	20873	17732
5	0.00	0.00	47252	40429	122848	34046	36151	36758	12051
6	11049	0.00	16502	41365	155342	17670	41220	15225	0.00
7	0.00	0.00	78935	44904	110404	16772	15793	30363	0.00
8	0.00	0.00	44875	38188	116427	31743	40409	19222	22767
9	0.00	43228	47810	37853	112362	106942	116242	67446	0.00
10	16993	0.00	16502	39999	150059	34368	43207	32658	19524
11	18411	0.00	16502	38751	145232	45263	61212	33354	0.00
12	0.00	0.00	27585	39331	137068	52794	39111	55867	0.00
13	15792	0.00	16502	41577	156162	19973	17780	32684	0.00
14	15874	0.00	16502	39107	146609	42222	64984	27578	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
15	22738	0.00	16502	41127	154420	52518	56143	44727	0.00
16	0.00	0.00	74340	41733	102457	50537	41301	51921	0.00
17	0.00	0.00	16502	32332	120411	27942	36110	29976	0.00
18	0.00	0.00	82645	45004	107307	50307	50669	45758	0.00
19	12484	0.00	16502	41872	157300	21632	36475	22652	55885
20	12662	0.00	16502	40252	151038	20941	40328	19429	73093
21	0.00	0.00	21668	31007	110438	21125	33799	23787	10100
22	0.00	0.00	55048	39219	110848	35451	37976	37171	9386
23	0.00	43228	40668	32747	99326	106942	116242	67446	10924
24	16010	0.00	16502	41162	154557	12142	4033	32658	0.00
25	0.00	43228	28785	28051	92358	106942	116242	67446	0.00
26	0.00	0.00	16502	33999	126856	50445	44788	49626	0.00
27	0.00	0.00	20504	30498	109561	106942	116242	67446	0.00
28	0.00	43228	31865	32898	108183	35842	28081	43927	0.00
29	0.00	52216	49641	36937	107113	106942	116242	67446	0.00
30	14859	0.00	16563	49391	186322	52472	60807	41709	0.00
31	0.00	0.00	86550	47825	114537	25570	34366	28403	0.00
32	0.00	0.00	63330	43518	119683	39643	41828	39414	13847
33	0.00	0.00	71041	44209	115129	39597	40814	40007	0.00
34	0.00	0.00	102252	46368	94168	40449	41869	40291	10347
35	0.00	0.00	56285	47310	110108	33217	42558	31755	8581
36	2843	0.00	16502	52377	197924	0.00	0.00	0.00	133674
37	0.00	0.00	55691	41315	118362	45677	45924	43566	0.00
38	0.00	0.00	51035	43029	129349	16426	12306	32194	0.00
39	15673	0.00	16502	38763	145277	30246	46086	26185	166621

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 44 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 4 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 44 Cálculo de MR – Correlación 4

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	17102	0.00	30404	60313	154463	0.00	36157	0.00	38208
2	19061	0.00	30404	58376	149360	0.00	44253	0.00	48791
3	0.00	0.00	78728	58119	117395	69530	60536	72173	42774
4	17795	0.00	30404	69665	179074	36174	55276	35923	31995
5	0.00	0.00	64166	57440	126449	50843	53055	53687	24322
6	22868	0.00	30404	58382	149376	31916	58236	28714	0.00
7	0.00	0.00	92369	61886	117215	30755	29470	46873	0.00
8	0.00	0.00	61857	55162	121720	48376	57420	33882	38208
9	0.00	60236	64702	54817	118687	114594	121583	82608	0.00
10	31042	0.00	30404	57006	145751	51184	60215	49362	34258
11	32860	0.00	30404	55737	142406	62236	77112	50107	0.00
12	0.00	0.00	43787	56328	136675	69422	56104	72268	0.00
13	29469	0.00	30404	58594	149935	34817	32057	49390	0.00
14	29577	0.00	30404	56100	143364	59238	80456	43779	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
15	38173	0.00	30404	58142	148746	69164	72521	61712	0.00
16	0.00	0.00	88518	58750	111160	67302	58317	68606	0.00
17	0.00	0.00	30404	49012	124663	44189	53013	46449	0.00
18	0.00	0.00	95431	61983	114871	67084	67426	62719	0.00
19	24938	0.00	30404	58888	150710	36845	53393	38071	72284
20	25191	0.00	30404	57262	146426	36005	57338	34140	87461
21	0.00	0.00	36889	47578	117241	36230	50581	39415	21455
22	0.00	0.00	71514	56214	117550	52324	54943	54114	20367
23	0.00	60236	57681	49458	108737	114594	121583	82608	22683
24	29757	0.00	30404	58178	148839	24452	11181	49362	0.00
25	0.00	60236	45131	44311	103264	114594	121583	82608	0.00
26	0.00	0.00	30404	50793	129364	67215	61772	66439	0.00
27	0.00	0.00	35470	47022	116579	114594	121583	82608	0.00
28	0.00	60236	48509	49619	115536	52734	44344	60926	0.00
29	0.00	68882	66452	53872	114724	114594	121583	82608	0.00
30	28221	0.00	30483	66215	169962	69121	76749	58726	0.00
31	0.00	0.00	98610	64717	120314	41491	51182	44705	0.00
32	0.00	0.00	78996	60522	124127	56645	58845	56413	26843
33	0.00	0.00	85711	61204	120755	56598	57828	57014	0.00
34	0.00	0.00	111002	63311	104697	57460	58885	57301	21826
35	0.00	0.00	72651	64221	116992	49961	59572	48390	19111
36	8722	0.00	30404	69033	177410	0.00	0.00	0.00	134264
37	0.00	0.00	72106	58332	123153	62640	62880	60570	0.00
38	0.00	0.00	67772	60039	131165	30304	24686	48863	0.00
39	29311	0.00	30404	55749	142438	46745	63038	42197	156998

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 45 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 5 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40. De esta correlación se obtiene el Módulo Resiliente en MPa, los resultados aquí presentados se han transformado a PSI.

Tabla 45 Cálculo de Mr – Correlación 5

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	17102	0.00	30404	60313	154463	0.00	36157	0.00	38208
2	19061	0.00	30404	58376	149360	0.00	44253	0.00	48791
3	0.00	0.00	78728	58119	117395	69530	60536	72173	42774
4	17795	0.00	30404	69665	179074	36174	55276	35923	31995
5	0.00	0.00	64166	57440	126449	50843	53055	53687	24322
6	22868	0.00	30404	58382	149376	31916	58236	28714	0.00
7	0.00	0.00	92369	61886	117215	30755	29470	46873	0.00
8	0.00	0.00	61857	55162	121720	48376	57420	33882	38208
9	0.00	60236	64702	54817	118687	114594	121583	82608	0.00
10	31042	0.00	30404	57006	145751	51184	60215	49362	34258
11	32860	0.00	30404	55737	142406	62236	77112	50107	0.00
12	0.00	0.00	43787	56328	136675	69422	56104	72268	0.00
13	29469	0.00	30404	58594	149935	34817	32057	49390	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
14	29577	0.00	30404	56100	143364	59238	80456	43779	0.00
15	38173	0.00	30404	58142	148746	69164	72521	61712	0.00
16	0.00	0.00	88518	58750	111160	67302	58317	68606	0.00
17	0.00	0.00	30404	49012	124663	44189	53013	46449	0.00
18	0.00	0.00	95431	61983	114871	67084	67426	62719	0.00
19	24938	0.00	30404	58888	150710	36845	53393	38071	72284
20	25191	0.00	30404	57262	146426	36005	57338	34140	87461
21	0.00	0.00	36889	47578	117241	36230	50581	39415	21455
22	0.00	0.00	71514	56214	117550	52324	54943	54114	20367
23	0.00	60236	57681	49458	108737	114594	121583	82608	22683
24	29757	0.00	30404	58178	148839	24452	11181	49362	0.00
25	0.00	60236	45131	44311	103264	114594	121583	82608	0.00
26	0.00	0.00	30404	50793	129364	67215	61772	66439	0.00
27	0.00	0.00	35470	47022	116579	114594	121583	82608	0.00
28	0.00	60236	48509	49619	115536	52734	44344	60926	0.00
29	0.00	68882	66452	53872	114724	114594	121583	82608	0.00
30	28221	0.00	30483	66215	169962	69121	76749	58726	0.00
31	0.00	0.00	98610	64717	120314	41491	51182	44705	0.00
32	0.00	0.00	78996	60522	124127	56645	58845	56413	26843
33	0.00	0.00	85711	61204	120755	56598	57828	57014	0.00
34	0.00	0.00	111002	63311	104697	57460	58885	57301	21826
35	0.00	0.00	72651	64221	116992	49961	59572	48390	19111
36	8722	0.00	30404	69033	177410	0.00	0.00	0.00	134264
37	0.00	0.00	72106	58332	123153	62640	62880	60570	0.00
38	0.00	0.00	67772	60039	131165	30304	24686	48863	0.00
39	29311	0.00	30404	55749	142438	46745	63038	42197	156998

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 46 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 6 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 46 Cálculo de MR – Correlación 6

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	0.00	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	17079	0.00	17964
2	0.00	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	20550	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19920
4	0.00	0.00	14574	0.00	0.00	17087	0.00	16978	15271
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11880
6	11228	0.00	14574	0.00	0.00	15236	0.00	13830	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14728	14163	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16093	17964
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	14854	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16256
11	15648	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	20351	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	14163	0.00	14574	0.00	0.00	16499	15297	0.00	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
14	14210	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	20348	0.00
15	17949	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	14574	0.00	0.00	20522	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	12156	0.00	14574	0.00	0.00	17377	0.00	17905	0.00
20	12268	0.00	14574	0.00	0.00	17014	0.00	16205	0.00
21	0.00	0.00	17396	0.00	0.00	17111	0.00	18483	10592
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10099
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11145
24	14290	0.00	14574	0.00	0.00	11939	5832	0.00	0.00
25	0.00	0.00	20923	20574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	16782	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	00.0	00.0	00.0	00.0	00.0	20588	00.0	00.0
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	13613	0.00	14608	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19372	0.00	20742	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13003
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10759
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9527
36	4646	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14530	12043	0.00	0.00
39	14093	0.00	14574	0.00	0.00	0.00	0.00	19674	0.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 47 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 7 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40. De esta correlación se obtiene el Módulo Resiliente en MPa, los resultados aquí presentados se han transformado a PSI.

Tabla 47 Cálculo de MR – Correlación 7

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	4737	0.00	8559	17309	45519	0.00	10228	0.00	10825
2	5296	0.00	8559	16738	43974	0.00	12590	0.00	13919
3	0.00	0.00	22764	16662	34329	20034	17375	20818	12157
4	4934	0.00	8559	20074	52992	10233	15825	10160	9020
5	0.00	0.00	18447	16462	37054	14521	15171	15357	6804
6	6386	0.00	8559	16740	43979	8997	16697	8070	0.00
7	0.00	0.00	26829	17773	34275	8661	8289	13357	0.00
8	0.00	0.00	17765	15791	35630	13797	16456	9567	10825
9	0.00	17287	18606	15690	34718	33487	35589	23919	0.00
10	8744	0.00	8559	16334	42882	14622	17280	14087	9676
11	9271	0.00	8559	15960	41870	17877	22284	14305	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
12	0.00	0.00	12453	16134	40139	20003	16069	20846	0.00
13	8288	0.00	8559	16802	44148	9839	9038	14095	0.00
14	8320	0.00	8559	16067	42160	16992	23278	12451	0.00
15	10815	0.00	8559	16669	43788	19926	20921	17722	0.00
16	0.00	0.00	25680	16848	32456	19375	16721	19761	0.00
17	0.00	0.00	8559	13984	36516	12571	15159	13233	0.00
18	0.00	0.00	27744	17802	33571	19310	19412	18019	0.00
19	6981	0.00	8559	16889	44383	10428	15271	10785	20851
20	7054	0.00	8559	16410	43086	10184	16432	9642	25365
21	0.00	0.00	10441	13563	34283	10249	14444	11177	5981
22	0.00	0.00	20623	16101	34376	14956	15727	15483	5669
23	0.00	17287	16533	14115	31729	33487	35589	23919	6333
24	8372	0.00	8559	16680	43816	6841	3060	14087	0.00
25	0.00	17287	12847	12607	30088	33487	35589	23919	0.00
26	0.00	0.00	8559	14507	37933	19349	17740	19119	0.00
27	0.00	0.00	10029	13400	34084	33487	35589	23919	0.00
28	0.00	17287	13836	14162	33771	15077	12616	17490	0.00
29	0.00	19842	19123	15412	33526	33487	35589	23919	0.00
30	7928	0.00	8582	19053	50222	19913	22176	16841	0.00
31	0.00	0.00	28695	18610	35207	11783	14621	12722	0.00
32	0.00	0.00	22844	17371	36355	16228	16876	16159	7530
33	0.00	0.00	24843	17572	35340	16214	16577	16337	0.00
34	0.00	0.00	32409	18194	30518	16468	16888	16421	6087
35	0.00	0.00	20960	18464	34208	14262	17091	13801	5310
36	2370	0.00	8559	19887	52486	0.00	0.00	0.00	39411
37	0.00	0.00	20798	16725	36062	17996	18067	17385	0.00
38	0.00	0.00	19514	17228	38476	8530	6908	13940	0.00
39	8243	0.00	8559	15964	41880	13319	18114	11989	46287

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 48 *Tabla 46* los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 8 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 48 Cálculo de MR – Correlación 8

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	7211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7952	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	7475	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9906
6	9371	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	10132	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	10225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8847
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8442
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9302
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9954	4916	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10827
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8985
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7971
36	3930	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10040	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 49 *Tabla 47* los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 9 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40. De esta correlación se obtiene el Módulo Resiliente en MPa, los resultados aquí presentados se han transformado a PSI.

Tabla 49 Cálculo de MR – Correlación 9

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	7308	0.00	10959	17753	34425	0.00	12381	0.00	12872
2	7888	0.00	10959	17349	33620	0.00	14275	0.00	15290
3	0.00	0.00	21417	17295	28376	19623	17799	20145	13937
4	7515	0.00	10959	19649	38203	12385	16695	12325	11360
5	0.00	0.00	18544	17153	29900	15741	16220	16356	9365
6	8967	0.00	10959	17350	33623	11340	17320	10526	0.00
7	0.00	0.00	23968	18077	28345	11048	10721	14865	0.00
8	0.00	0.00	18071	16671	29108	15199	17149	11828	12872
9	0.00	17737	18653	16597	28596	27897	29085	22155	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
10	11120	0.00	10959	17061	33046	15815	17732	15416	11920
11	11575	0.00	10959	16793	32510	18149	21106	15580	0.00
12	0.00	0.00	14169	16918	31583	19601	16871	20164	0.00
13	10720	0.00	10959	17395	33711	12056	11375	15422	0.00
14	10748	0.00	10959	16870	32664	17529	21747	14167	0.00
15	12864	0.00	10959	17300	33523	19550	20213	18041	0.00
16	0.00	0.00	23259	17427	27306	19178	17337	19438	0.00
17	0.00	0.00	10959	15339	29602	14260	16211	14770	0.00
18	0.00	0.00	24524	18097	27945	19134	19203	18248	0.00
19	9531	0.00	10959	17456	33834	12547	16292	12839	20167
20	9599	0.00	10959	17115	33154	12345	17131	11891	23064
21	0.00	0.00	12557	15022	28350	12399	15683	13157	8573
22	0.00	0.00	20015	16894	28402	16062	16624	16447	8265
23	0.00	17737	17203	15438	26886	27897	29085	22155	8916
24	10794	0.00	10959	17308	33538	9400	0.00	15416	0.00
25	0.00	17737	14474	14288	25925	27897	29085	22155	0.00
26	0.00	0.00	10959	15730	30384	19160	18054	19004	0.00
27	0.00	0.00	12215	14898	28237	27897	29085	22155	0.00
28	0.00	17737	15228	15473	28059	16151	14295	17879	0.00
29	0.00	19494	19007	16395	27920	27897	29085	22155	0.00
30	10399	0.00	10979	18959	36823	19541	21036	17422	0.00
31	0.00	0.00	25097	18656	28871	13641	15815	14377	0.00
32	0.00	0.00	21468	17796	29512	16985	17447	16936	10039
33	0.00	0.00	22738	17937	28945	16975	17234	17063	0.00
34	0.00	0.00	27279	18369	26178	17157	17456	17124	8678
35	0.00	0.00	20239	18555	28307	15548	17599	15202	7903
36	0.00	0.00	10959	19524	37952	0.00	0.00	0.00	31190
37	0.00	0.00	20132	17340	29349	18232	18281	17806	0.00
38	0.00	0.00	19272	17696	30681	10934	9463	15306	0.00
39	10680	0.00	10959	16796	32515	14836	18314	13804	34822

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta en la Tabla 50 los módulos resilientes obtenidos al aplicar la correlación 10 presentada en el marco teórico, teniendo en cuenta cada una de las limitaciones que esta presenta, tomando como valores de CBR los presentados en la Tabla 40.

Tabla 50 Cálculo de MR – Correlación 10

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
1	0.00	0.00	0.00	14934	20664	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	14735	20459	0.00	0.00	0.00	13642
3	0.00	0.00	16558	14708	18992	15801	14957	16028	0.00
4	0.00	0.00	0.00	15812	21565	0.00	14403	0.00	0.00
5	0.00	0.00	15311	14637	19445	13893	14153	14225	0.00
6	0.00	0.00	0.00	14736	20460	0.00	14721	0.00	0.00
7	0.00	0.00	17531	15091	18983	0.00	0.00	13398	0.00
8	0.00	0.00	15088	14390	19212	13590	14635	0.00	0.00
9	0.00	14926	15362	14352	19059	18845	19206	16851	0.00

Apique	MR (1)	MR (2)	MR (3)	MR (4)	MR (5)	MR (6)	MR (7)	MR (8)	MR (9)
10	0.00	0.00	0.00	14590	20310	13934	14924	13713	0.00
11	0.00	0.00	0.00	14453	20169	15125	16431	13805	0.00
12	0.00	0.00	0.00	14518	19918	15791	14493	16036	0.00
13	0.00	0.00	0.00	14758	20483	0.00	0.00	13717	0.00
14	0.00	0.00	0.00	14493	20210	14824	16690	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	14711	20434	15768	16057	15074	0.00
16	0.00	0.00	17272	14774	18659	15602	14729	15719	0.00
17	0.00	0.00	0.00	13670	19358	0.00	14148	13343	0.00
18	0.00	0.00	17730	15101	18860	15582	15613	15172	0.00
19	0.00	0.00	0.00	14788	20514	0.00	14192	0.00	16037
20	0.00	0.00	0.00	14618	20338	0.00	14626	0.00	17199
21	0.00	0.00	0.00	13489	18984	0.00	13862	0.00	0.00
22	0.00	0.00	15972	14505	19000	14068	14366	14273	0.00
23	0.00	14926	14662	13725	18525	18845	19206	16851	0.00
24	0.00	0.00	0.00	14714	20438	0.00	0.00	13713	0.00
25	0.00	14926	0.00	0.00	18211	18845	19206	16851	0.00
26	0.00	00.00	0.00	13887	19584	15594	15080	15523	0.00
27	0.00	0.00	0.00	13417	18949	18845	19206	16851	0.00
28	0.00	14926	13607	13745	18895	14116	0.00	14996	0.00
29	0.00	15743	15525	14246	18852	18845	19206	16851	0.00
30	0.00	0.00	0.00	15503	21247	15765	16402	14772	0.00
31	0.00	00.00	17930	15363	19142	0.00	13934	0.00	0.00
32	0.00	0.00	16578	14955	19332	14552	14784	14527	0.00
33	0.00	0.00	17075	15023	19164	14547	14678	14591	0.00
34	0.00	0.00	18651	15230	18294	14639	14788	14622	0.00
35	0.00	0.00	16068	15317	18971	13787	14859	13592	0.00
36	0.00	0.00	0.00	15757	21508	0.00	0.00	0.00	19810
37	0.00	0.00	16022	14731	19284	15165	15188	14960	0.00
38	0.00	0.00	15645	14906	19668	0.00	0.00	13651	0.00
39	0.00	0.00	0.00	14455	20170	13381	15203	0.00	20763

Fuente: Elaboración propia

8.4. Secciones homogéneas

8.4.1. Clasificación del suelo

Los ensayos de laboratorio realizados por el Laboratorio Auscultar S.A.S a las muestras de material recolectadas por el Consorcio Diseños Rovira se clasificaron por el tipo de suelo, dicha clasificación se presenta a continuación en la Tabla 51

Tabla 51 Clasificación tipo de suelo

Apique	Abscisa	Clasificación		Descripción según ensayos de laboratorio
		U.S.C.S	AASHTO	
1	K00+050.000	CH	A-7-6	Arcilla de alta plasticidad; de color Gris; consistencia Media
2	K00+550.000	CL	A-7-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café con vetas amarillas; consistencia Media

Apique	Abscisa	Clasificación		Descripción según ensayos de laboratorio
		U.S.C.S	AASHTO	
3	K01+550.000	SM-SC	A-1b	Arena limo arcillosa; de color Verde; consistencia Media
4	K02+050.000	CL	A-4	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia Media
5	K02+550.000	SC	A-2-6	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Alta
6	K03+000.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano; consistencia Media
7	K03+500.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Café; consistencia Media
8	K04+000.000	SC	A-2-6	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media y 357 g de material con sobre tamaño superior a 2"
9	K04+500.000	SM	A-2-4	Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Café; consistencia Media
10	K05+000.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano con vetas cafés; consistencia Alta
11	K05+500.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia de Media a Alta
12	K06+000.000	SM-SC	A-4	Arena limo arcillosa; de color Gris; consistencia Media
13	K06+500.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
14	K07+000.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano; consistencia Media
15	K07+500.000	CL	A-4	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
16	K08+000.000	GM-GC	A-1a	Grava limo arcillosa; de color Café; consistencia Media
17	K08+500.000	SC	A-2-6	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
18	K09+000.000	GC	A-2-4	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Café; consistencia Media
19	K09+500.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Verde; consistencia de Baja a Media
20	K10+000.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia de Baja a Media
21	K10+500.000	SC	A-2-6	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia de alta.
22	K11+000.000	SC	A-2-6	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Verde; consistencia alta

Apique	Abscisa	Clasificación		Descripción según ensayos de laboratorio
		U.S.C.S	AASHTO	
23	K11+500.000	SP-SM	A-1b	Arena limosa mal gradada; de color Verde; consistencia Media
24	K12+000.000	ML	A-7-6	Limo de baja plasticidad; limos y arenas muy finas; de color Café; consistencia de Alta.
25	K12+500.000	SP	A-1b	Arena mal gradada; arenas gravosas, poco o ningún fino; de color Café; consistencia Alta.
26	K13+000.000	SP-SM	A-2-4	Arena limo arcillosa; de color Café; consistencia Media alta.
27	K13+500.000	SM	A-1b	Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Café; consistencia Media
28	K14+000.000	SC	A-2-4	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
29	K14+500.000	SM	A-1b	Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Café; consistencia Media y 459,5 g de material con sobre tamaño superior a 2"
30	K15+000.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
31	K15+500.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Amarillo; consistencia Media
32	K16+000.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Rojizo; consistencia Media
33	K16+500.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Rojizo; consistencia de Media a Alta
34	K17+000.000	GP-GC	A-2-6	Grava arcillosa mal gradada; de color Rojizo; consistencia Media
35	K17+500.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-arena-arcillosas; de color Habano; consistencia Media y 763 g de material con sobre tamaño superior a 2"
36	K18+000.000	CH	A-7-6	Arcilla de alta plasticidad; de color Amarillo con vetas grises; consistencia Media
37	K18+500.000	SC	A-2-4	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
38	K19+000.000	SM	A-6	Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Gris; consistencia Media
39	K19+307.151	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia Media

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

8.4.2. Selección de secciones homogéneas

De acuerdo con la clasificación del tipo de suelo obtenida como resultado de los ensayos de laboratorio se obtiene un total de 10 secciones homogéneas las cuales se presentan de manera detallada a continuación en la Tabla 52

Tabla 52 Secciones homogéneas

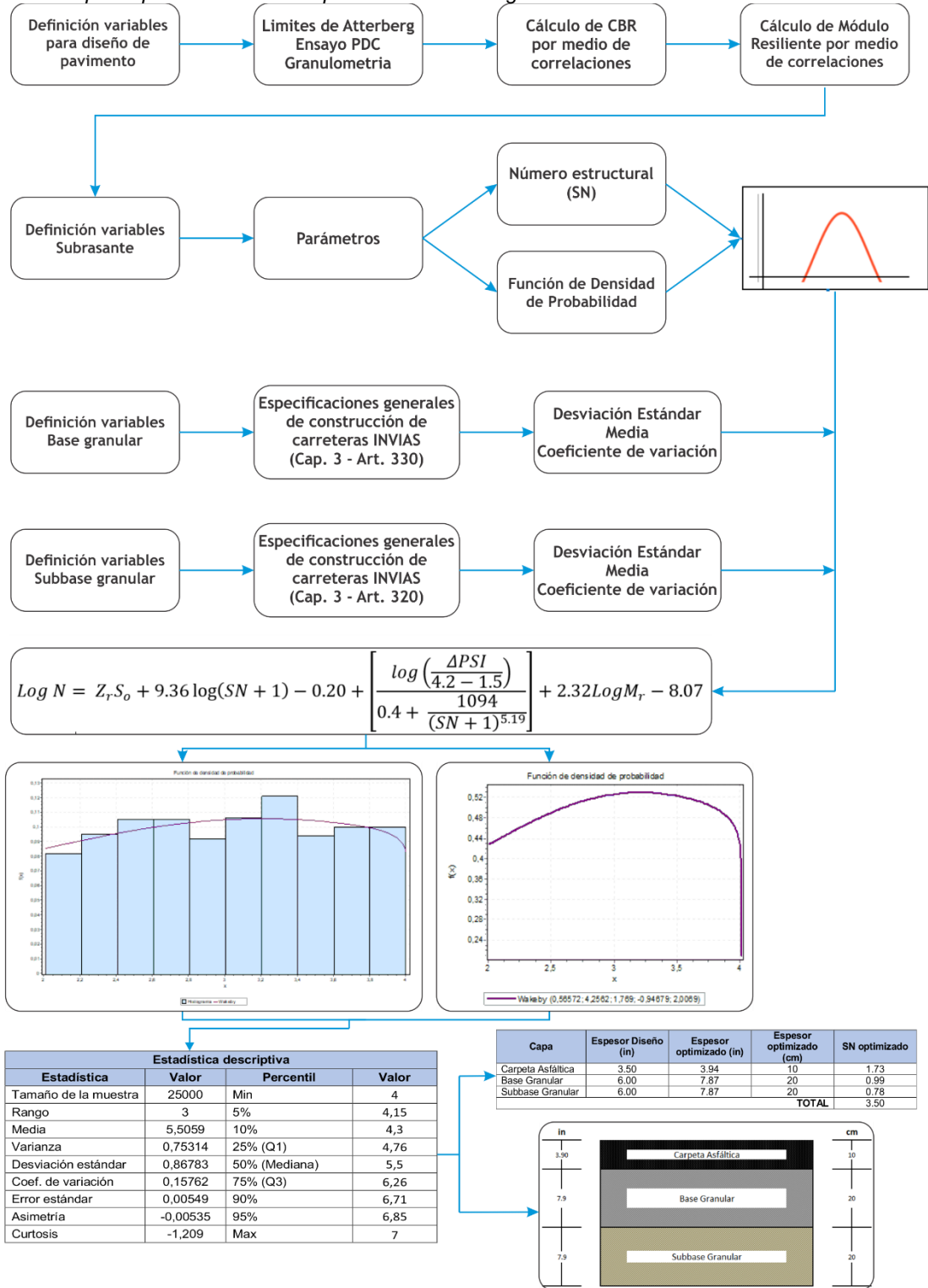
Sección No.	Abscisa inicio	Abscisa fin	Clasificación		Descripción según ensayos de laboratorio
			U.S.C.S	AASHTO	
1	K00+050.000	K00+550.000	CH	A-7-6	Arcilla de alta plasticidad; de color Gris; consistencia Media
	K18+000.000	K18+500.000			Arcilla de alta plasticidad; de color Amarillo con vetas grises; consistencia Media
2	K00+550.000	K01+550.000	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café con vetas amarillas; consistencia Media
	K02+050.000	K02+550.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia Media
	K03+000.000	K03+500.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano; consistencia Media
	K05+000.000	K05+500.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano con vetas cafés; consistencia Alta
	K05+500.000	K06+000.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia de Media a Alta
	K06+500.000	K07+000.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
	K07+000.000	K07+500.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Habano; consistencia Media
	K07+500.000	K08+000.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
	K09+500.000	K10+000.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Verde; consistencia de Baja a Media
	K10+000.000	K10+500.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Café; consistencia de Baja a Media
	K15+000.000	K15+500.000			Arcilla de baja plasticidad; arcillas gravosas, arenosas, limosas o magras; de color Gris; consistencia Media
3	K01+550.000	K02+050.000	SM-SC	A-4	Arena limo arcillosa; de color Verde; consistencia Media
	K06+000.000	K06+500.000			Arena limo arcillosa; de color Gris; consistencia Media
4	K02+550.000	K03+000.000	SC	A-2-4	Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Alta
	K04+000.000	K04+500.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media y 357

					g de material con sobre tamaño superior a 2"
	K08+500.000	K09+000.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
	K10+500.000	K11+000.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia de alta.
	K11+000.000	K11+500.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Verde; consistencia alta
	K14+000.000	K14+500.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
	K18+500.000	K19+000.000			Arena arcillosa; mezclas arena-arcilla; de color Café; consistencia Media
5	K03+500.000	K04+000.000	GC	A-2-6	Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Café; consistencia Media
	K09+000.000	K09+500.000			Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Café; consistencia Media
	K15+500.000	K16+000.000			Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Amarillo; consistencia Media
	K16+000.000	K16+500.000			Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Rojizo; consistencia Media
	K16+500.000	K17+000.000			Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Rojizo; consistencia de Media a Alta
	K17+000.000	K17+500.000			Grava arcillosa mal gradada; de color Rojizo; consistencia Media
	K17+500.000	K18+000.000			Grava arcillosa; mezclas grava-areno-arcillosas; de color Habano; consistencia Media y 763 g de material con sobre tamaño superior a 2"
6	K04+500.000	K05+000.000	SM	A-6	Arena limo arcillosa; de color Café; consistencia Media alta.
	K13+000.000	K13+500.000			Arena limo arcillosa; de color Café; consistencia Media alta.
	K13+500.000	K14+000.000			Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Café; consistencia Media
	K14+500.000	K15+000.000			Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Café; consistencia Media y 459,5 g de material con sobre tamaño superior a 2"
	K19+000.000	K19+307.151			Arena limosa; mezclas arena-limo; de color Gris; consistencia Media
7	K08+000.000	K08+500.000	GM-GC	A-1a	Grava limo arcillosa; de color Café; consistencia Media
8	K11+500.000	K12+000.000	SP-SM	A-2-4	Arena limosa mal gradada; de color Verde; consistencia Media
9	K12+000.000	K12+500.000	ML	A-7-6	Limo de baja plasticidad; limos y arenas muy finas; de color Café; consistencia de Alta.
10	K12+500.000	K13+000.000	SP	A-1b	Arena mal gradada; arenas gravosas, poco o ningún fino; de color Café; consistencia Alta.

Fuente: Elaboración propia

9. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE METODOLOGÍA AASHTO-93

Ilustración 8 Mapa de procesos diseño de pavimento metodología AASHTO-93



Fuente: Elaboración propia

9.1. Variables de diseño

9.1.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño para la alternativa en pavimento flexible es de 10 años según la recomendación hecha por el Instituto de Vías – INVIAS en su Manual de diseño de pavimentos asfálticos con medios y altos volúmenes de tránsito. Se estableció el año 2018 como año base de operación del proyecto.

9.1.2. Proyección de tránsito (ESAL)

Para un periodo de diseño de 10 años, comprendido entre el año 2018 y el año 2028 se encontró una solicitud de carga de 2.826.516 cuantificada en ejes equivalentes de 8.2 Toneladas

9.1.3. Nivel de confiabilidad (Zr)

Se establece una confiabilidad del 90% para el desarrollo del presente proyecto, lo cual relaciona un coeficiente de confiabilidad (Zr) de -1.282, conforme a relacionado en la guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, así como en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

9.1.4. Desviación estándar (So)

Según lo estipula el AASTHO 93, los valores recomendados para el diseño de pavimentos flexibles varían entre 0.45 y 0.49. Para el diseño de pavimentos flexibles nuevos, la guía recomienda una desviación estándar de 0.45.

9.1.5. Nivel de serviciabilidad (ΔIPS)

Para el presente diseño se establece un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 y final de 2.2. Por lo tanto:

$$\Delta IPS = 4.2 - 2.2 = 2.0$$

9.1.6. Coeficientes estructurales y de drenaje

El coeficiente estructural de la mezcla asfáltica (C.A.), en función de la temperatura promedio de la zona (Temperatura Promedio = 24°C), conforme con lo consignado en el Manual de Diseño de Pavimentos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS - Tabla 8.1., corresponde a 0.30.

El coeficiente estructural de la Base Granular es de 0.14, el cual se obtiene de la metodología AASHTO para un CBR de 100%. Debe cumplir además con las

especificaciones INVIAS-2013. El coeficiente de drenaje de la capa de Base granular, con base en las condiciones de la zona, corresponde a 1.0.

El coeficiente estructural de la Subbase Granular es de 0.12, el cual se obtiene de la metodología AASHTO para un CBR de 40%. Debe cumplir además con las especificaciones INVIAS-2013. El coeficiente de drenaje de las capas de Subbase granular, con base en las condiciones de la zona, corresponde a 0.9

Para el Material Granular Tratado con Cemento (BTC) conforme con lo consignado en el Manual de Diseño de Pavimentos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS- Tabla 8.1, se adopta un coeficiente estructural de 0.16, el coeficiente de drenaje de esta capa es 1.0.

Para el material producto del reciclado de la carpeta asfáltica existente y parte del material granular existente, se proyecta llevarlo a las características de un material tipo Subbase, de tal manera que se asignó un coeficiente de aporte del material de 0.09 y un coeficiente de drenaje de 0.9.

9.1.7. Módulo resiliente de la subrasante

Una vez finalizado el proceso de selección de secciones homogéneas se procede a ingresar la valores de Módulo Resiliente de cada una de ellas, dicha información se presenta en las tablas de resultados de Módulo Resiliente obtenido a partir de correlaciones matemáticas (Tabla 41 a Tabla 50) del presente documento, estos datos se ingresan al software EasyFit⁴, una vez finalizado el proceso de ejecución del software, este arroja la siguiente información:

- ❖ **Resultados de ajuste:** donde se describe la función de densidad de probabilidad que mejor se adapta a cada sección homogénea, así como los parámetros que componen cada una de estas distribuciones.
- ❖ **Gráficas histogramas y función de densidad de probabilidad:** la primera es la representación gráfica de los datos ingresados, la parte superior de cada barra representa la frecuencia de los valores. La segunda representa la probabilidad relativa según la cual la variable aleatoria tomara cierto valor.
- ❖ **Resumen de bondad de ajuste:** describe el correcto ajuste de una distribución de datos, este a su vez se calcula por medio de pruebas, el EasyFit utiliza las pruebas Kolmogorov–Smirnov, Anderson–Darling, Chi–cuadrado.
- ❖ **Estadística descriptiva:** por medio de ellas se organizan, tabulan, reducen y presentan información de interés sobre los valores ingresados.

⁴ Programa diseñado para análisis de datos, permite ajustar las distribuciones de probabilidades de los datos de la muestra ingresada y selecciona la distribución que mejor se adapta a la misma.

9.1.7.1. Sección homogénea CH

Tabla 53 Resultados de ajuste – sección homogénea CH

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Frechet (3P)	$\alpha=1,4644$ $\beta=19883,0$ $\gamma=-5863,7$	scipy.stats.fisk.pdf (x, c (α), loc (γ), scale (β)) scipy.stats.fisk.pdf (x, 1,4644, -5863,7, 19883,0)

Fuente: Software Easyfit

Ilustración 9 Histograma FDP Frechet (3P) – sección homogénea CH

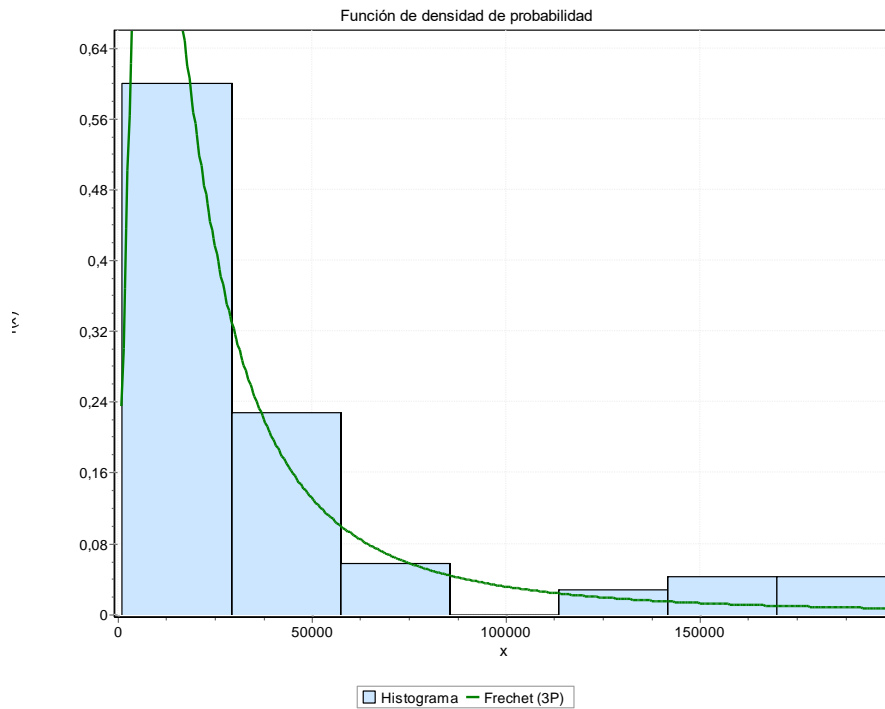
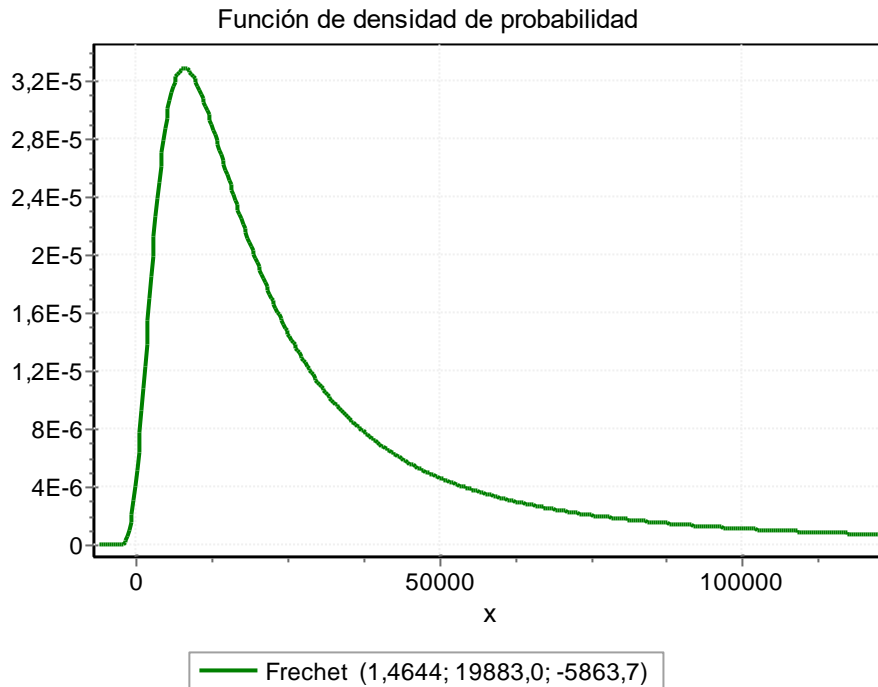


Ilustración 10 Función de densidad de probabilidad Frechet (3P) – sección homogénea CH



Fuente: Software Easyfit

Tabla 54 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea CH

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Frechet (3P)	0,06054	1	0,31175	1	6,5907	15

Fuente: Software Easyfit

Tabla 55 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea CH

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	70	Min	925,87
Rango	1,9700E+5	5%	2896,3
Media	38089,0	10%	4655,2
Varianza	2,3056E+9	25% (Q1)	9852,1
Desviación estándar	48016,0	50% (Median)	18744,0
Coefficiente de variación	1,2606	75% (Q3)	38513,0
Error estándar	5739,1	90%	1,3420E+5
Oblicuidad	2,0989	95%	1,6940E+5
Excedente de curtosis	3,4467	Max	1,9792E+5

Fuente: Software Easyfit

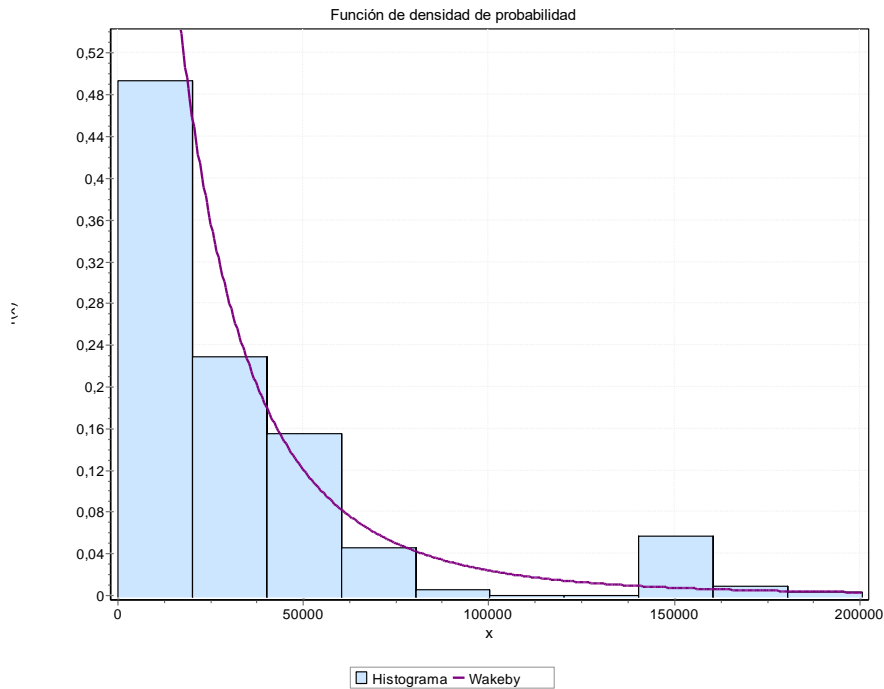
9.1.7.2. Sección homogénea CL

Tabla 56 Resultados de ajuste – sección homogénea CL

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Wakeby	$\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=21014,0$ $\delta=0,26885$ $\xi=7199,2$	<code>scipy.stats.wakeby.pdf (x, a (γ), b(δ), c(α), loc (β), scale(ξ))</code> <code>scipy.stats.wakeby.pdf (x, 21014, 0,26885, 0, 0,7199,2)</code>

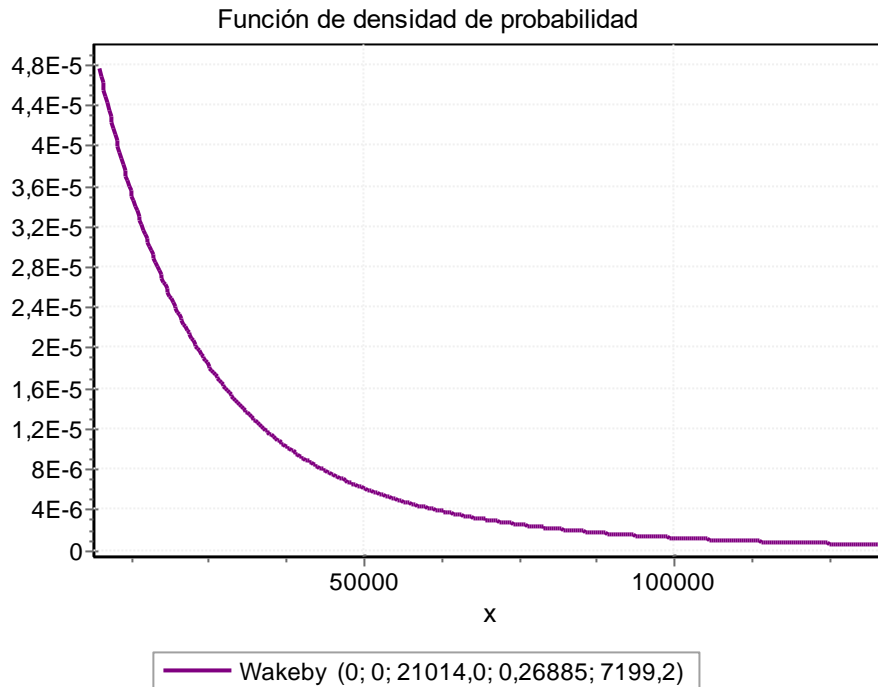
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 11 Histograma FDP Wakeby – sección homogénea CL



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 12 Función de densidad de probabilidad Wakeby – sección homogénea CL



Fuente: Software Easyfit

Tabla 57 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea CL

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,06881	1	38,441	34	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 58 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea CL

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	541	Min	236,24
Rango	2,0031E+5	5%	8558,7
Media	35941,0	10%	10405,0
Varianza	1,3666E+9	25% (Q1)	14574,0
Desviación estándar	36967,0	50% (Median)	20434,0
Coefficiente de variación	1,0286	75% (Q3)	42984,0
Error estándar	1589,4	90%	69131,0
Oblicuidad	2,3491	95%	1,4645E+5
Excedente de curtosis	5,2281	Max	2,0054E+5

Fuente: Software Easyfit

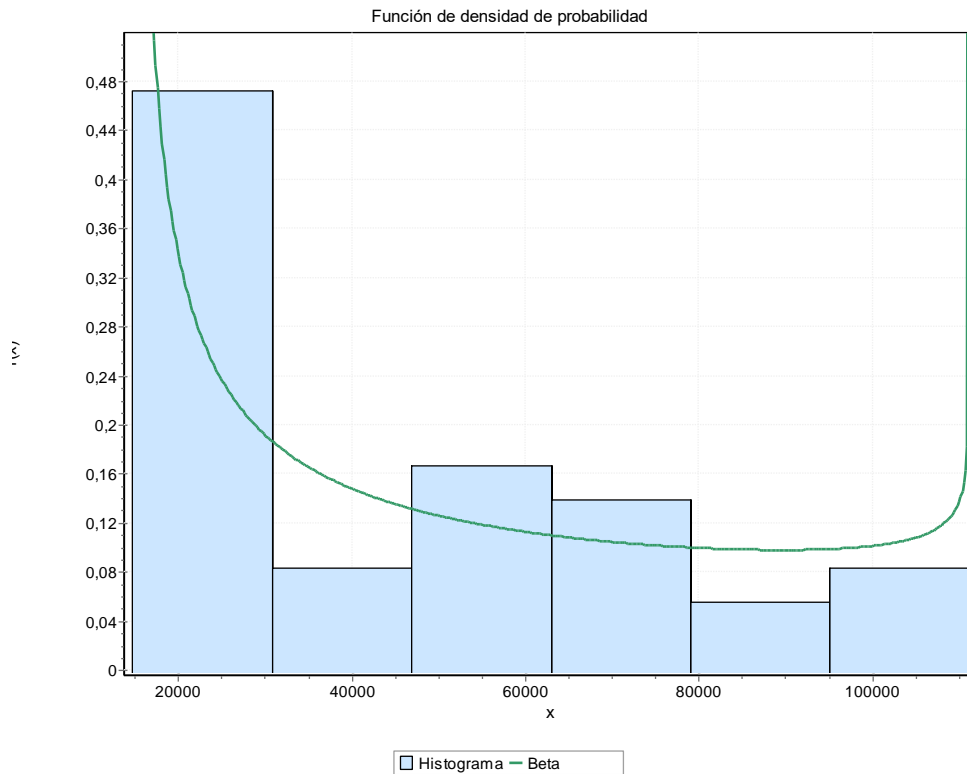
9.1.7.3. Sección homogénea GM-GC

Tabla 59 Resultados de ajuste – sección homogénea GM-GC

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Beta	$\alpha_1=0,4419$ $\alpha_2=0,839$ $a=14729,0$ $b=1,1118E+5$	<code>scipy.stats.beta.pdf (x, a(α_1), c (a), loc (b), scale(α_2))</code> <code>scipy.stats.fisk.pdf (x, 0,4419, 14729, 1,1118E+5, 0,839)</code>

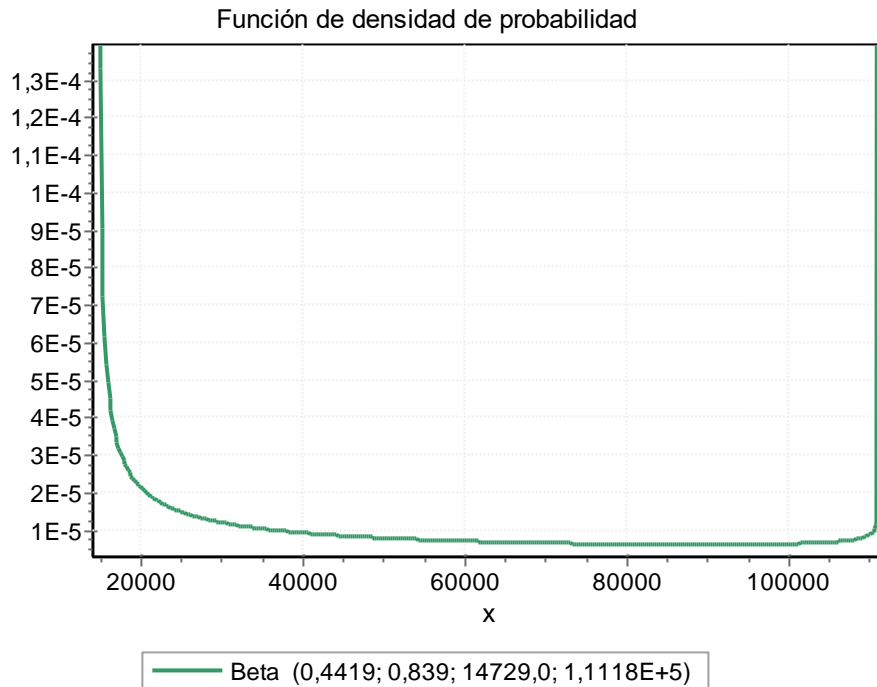
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 13 Histograma FDP Beta – sección homogénea GM-GC



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 14 Función de densidad de probabilidad Beta – sección homogénea GM-GC



Fuente: Software Easyfit

Tabla 60 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea GM-GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Beta	0,14278	1	1,4406	12	3,2504	4

Fuente: Software Easyfit

Tabla 61 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea GM-GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	36	Min	14729,0
Rango	96450,0	5%	14767,0
Media	44978,0	10%	15684,0
Varianza	9,0619E+8	25% (Q1)	17735,0
Desviación estándar	30103,0	50% (Median)	36878,0
Coefficiente de variación	0,66928	75% (Q3)	67310,0
Error estándar	5017,2	90%	92710,0
Oblicuidad	0,77175	95%	1,1116E+5
Excedente de curtosis	-0,49438	Max	1,1118E+5

Fuente: Software Easyfit

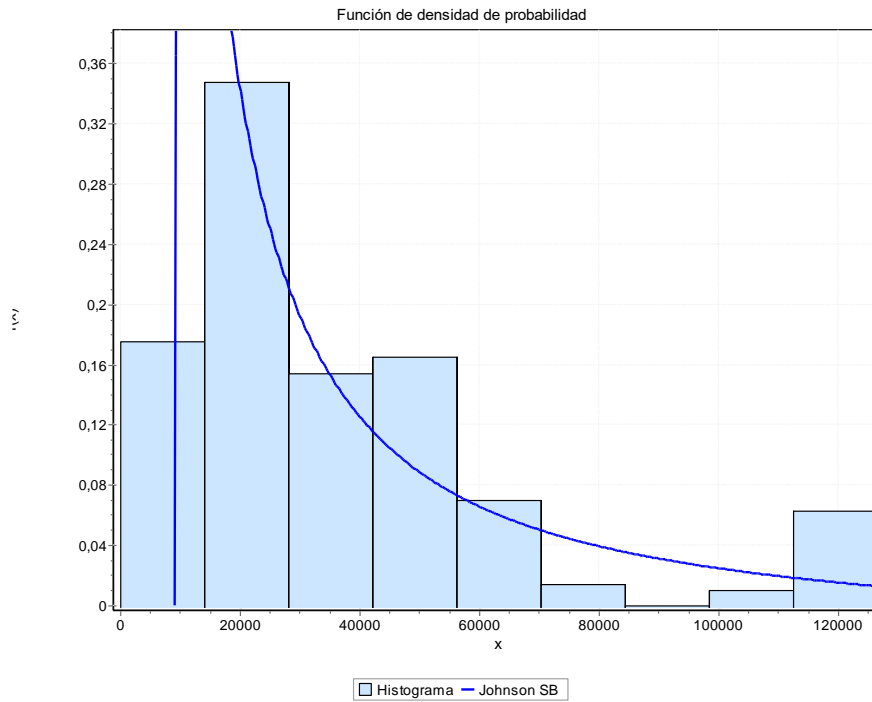
9.1.7.4. Sección homogénea SC

Tabla 62 Resultados de ajuste – sección homogénea SC

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Johnson SB	$\gamma=1,4315$ $\delta=0,64006$ $\lambda=1,5739E+5$ $\xi=9163,7$	<code>scipy.stats.johnsonsb.pdf (x, a (γ), b(δ), loc (λ), scale(ξ))</code> <code>scipy.stats.johnsonsb.pdf (x, 1,4315, 0,64006, 1,5739E+5, 9163,7)</code>

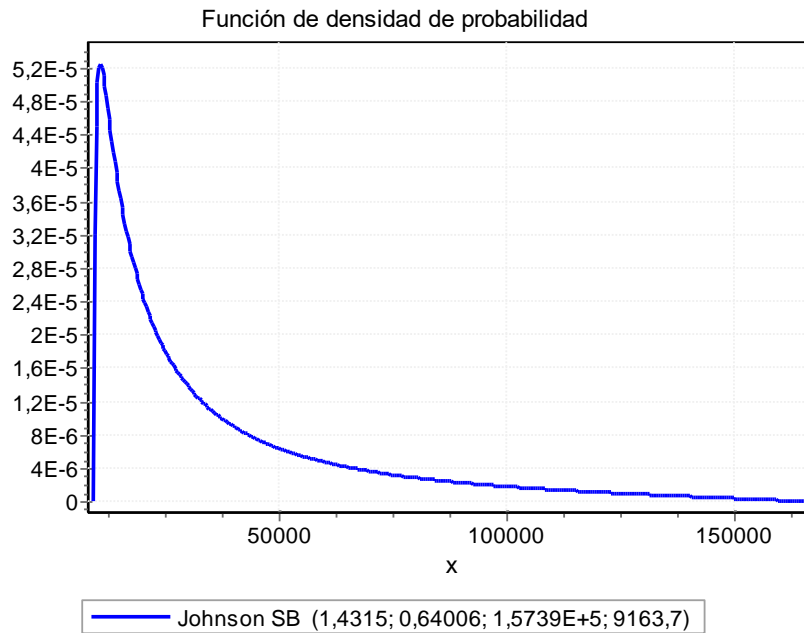
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 15 Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SC



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 16 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SC



Fuente: Software Easyfit

Tabla 63 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,07802	1	44,905	48	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 64 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	285	Min	140,45
Rango	1,2633E+5	5%	9668,8
Media	35639,0	10%	12566,0
Varianza	8,4676E+8	25% (Q1)	15124,0
Desviación estándar	29099,0	50% (Median)	22767,0
Coefficiente de variación	0,81649	75% (Q3)	49320,0
Error estándar	1723,7	90%	62884,0
Oblicuidad	1,6639	95%	1,1725E+5
Excedente de curtosis	2,4403	Max	1,2647E+5

Fuente: Software Easyfit

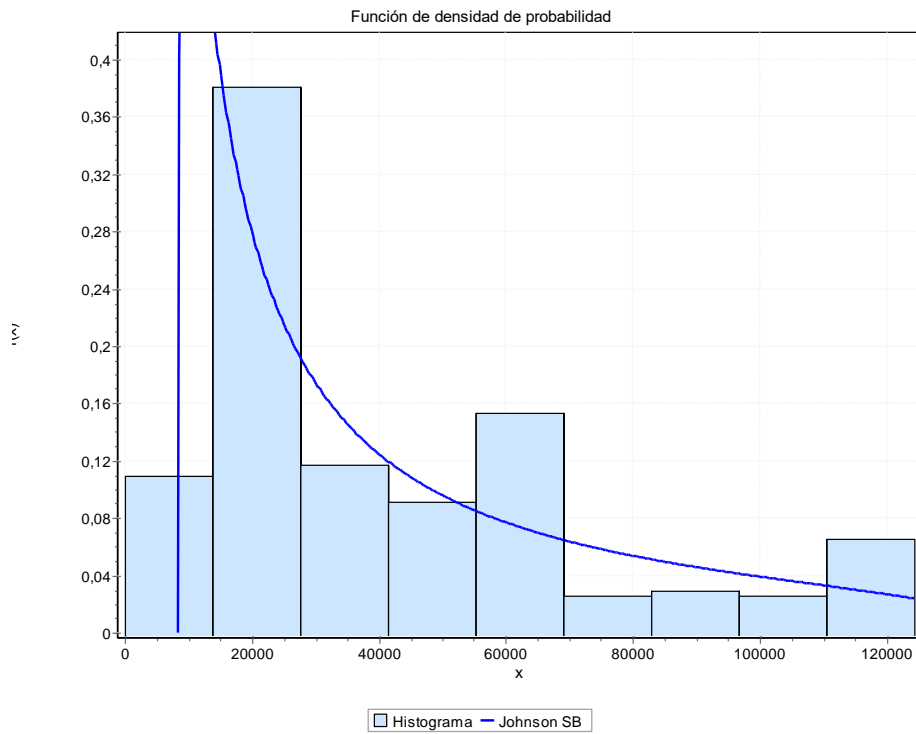
9.1.7.5. Sección homogénea GC

Tabla 65 Resultados de ajuste – sección homogénea GC

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Johnson SB	$\gamma=0,98324$ $\delta=0,57377$ $\lambda=1,3169E+5$ $\xi=8452,0$	<code>scipy.stats.johnsonsb.pdf(x, a(γ), b(δ), loc(λ), scale(ξ))</code> <code>scipy.stats.johnsonsb.pdf(x, 0,98324, 0,57377, 1,3169E+5, 8452,0)</code>

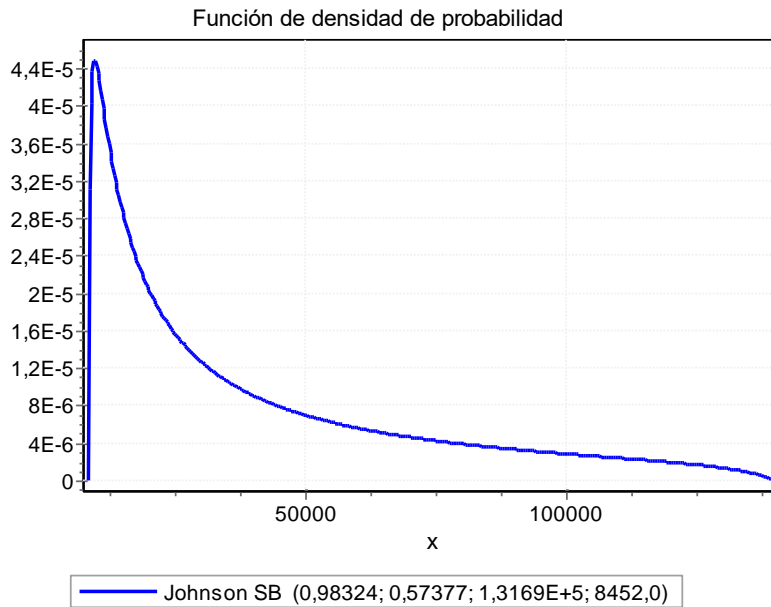
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 17 Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea GC



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 18 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea GC



Fuente: Software Easyfit

Tabla 66 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,10473	1	37,535	46	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 67 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	273	Min	131,79
Rango	1,2402E+5	5%	9364,6
Media	40302,0	10%	13699,0
Varianza	9,8740E+8	25% (Q1)	16522,0
Desviación estándar	31423,0	50% (Median)	28307,0
Coefficiente de variación	0,77969	75% (Q3)	57833,0
Error estándar	1901,8	90%	94926,0
Oblicuidad	1,1566	95%	1,1488E+5
Excedente de curtosis	0,40872	Max	1,2415E+5

Fuente: Software Easyfit

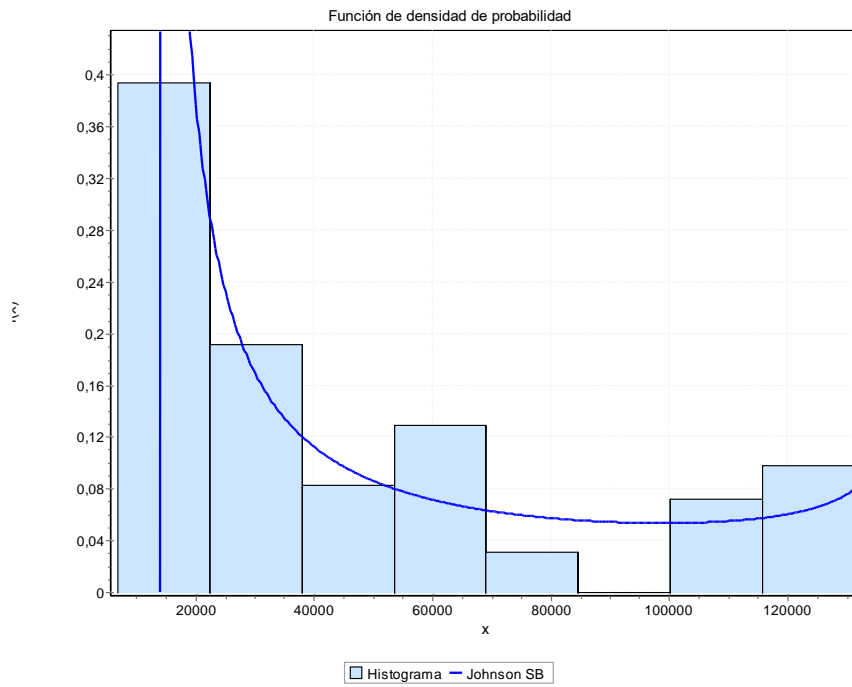
9.1.7.6. Sección homogénea SM

Tabla 68 Resultados de ajuste – sección homogénea SM

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Johnson SB	$\gamma=0,72446$ $\delta=0,38023$ $\lambda=1,2165E+5$ $\xi=14040,0$	<code>scipy.stats.johnsonsb.pdf (x, a (γ), b(δ), loc (λ), scale(ξ))</code> <code>scipy.stats.johnsonsb.pdf (x, 0,72446, 0,38023, 1,2165E+5, 14040,0)</code>

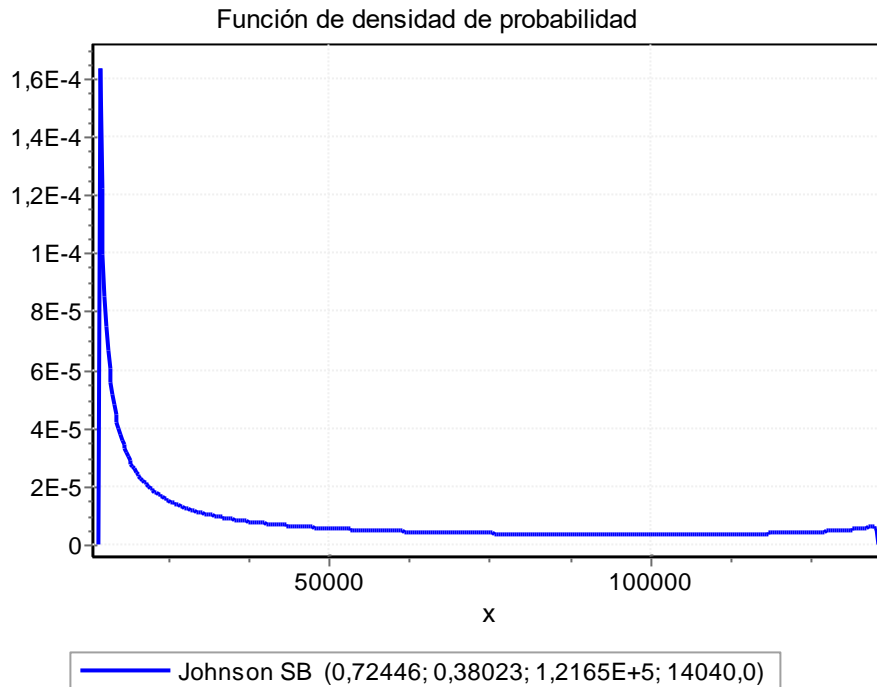
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 19 Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SM



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 20 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SM



Fuente: Software Easyfit

Tabla 69 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SM

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,05817	1	58,494	56	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 70 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SM

Estadísticas descriptivas			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	193	Min	6908,4
Rango	1,2428E+5	5%	12164,0
Media	47268,0	10%	14516,0
Varianza	1,3840E+9	25% (Q1)	17897,0
Desviación estándar	37202,0	50% (Median)	30681,0
Coefficiente de variación	0,78704	75% (Q3)	66839,0
Error estándar	2677,9	90%	1,1564E+5
Oblicuidad	1,0084	95%	1,2159E+5
Excedente de curtosis	-0,34197	Max	1,3119E+5

Fuente: Software Easyfit

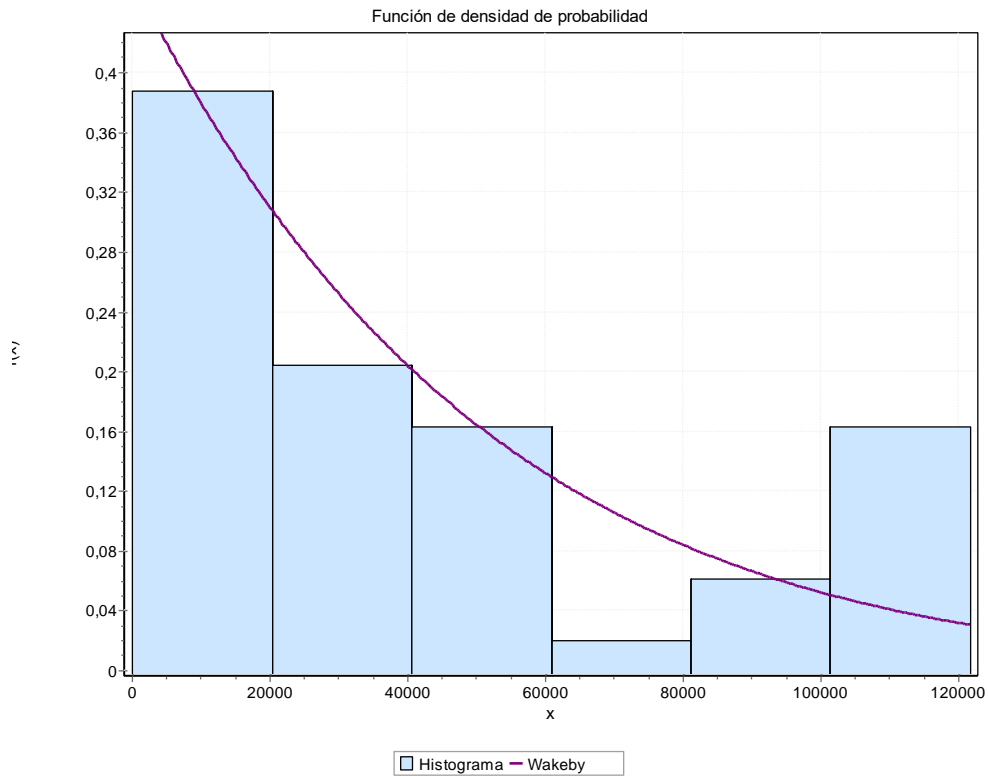
9.1.7.7. Sección homogénea SP-SM

Tabla 71 Resultados de ajuste – sección homogénea SP-SM

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Wakeby	$\alpha=46036,0$ $\beta=0,08658$ $\gamma=0$ $\delta=0$ $\xi=2769,6$	$\text{scipy.stats.wakeby.pdf}(x, a(\gamma), b(\delta), c(\alpha), \text{loc}(\beta), \text{scale}(\xi))$ $\text{scipy.stats.wakeby.pdf}(x, 0, 0, 46036, 0,08658, 2769,6)$

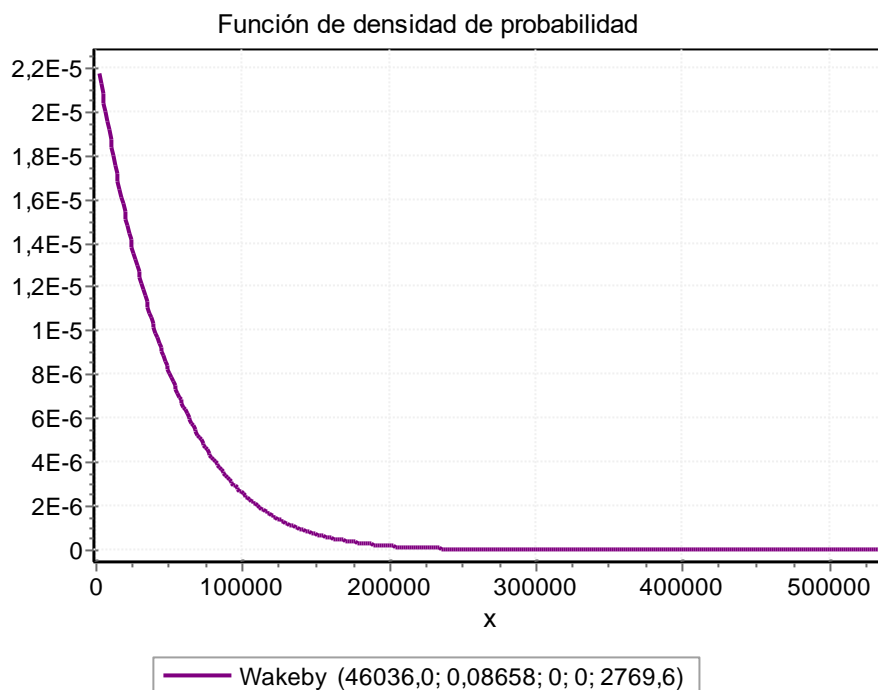
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 21 Histograma FDP Wakeby – sección homogénea SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 22 Función de densidad de probabilidad Wakeby – sección homogénea SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Tabla 72 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SP-SM

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,09129	1	4,641	36	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 73 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SP-SM

Estadísticas descriptivas			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	49	Min	156,42
Rango	1,2145E+5	5%	7624,5
Media	45138,0	10%	10924,0
Varianza	1,4049E+9	25% (Q1)	16692,0
Desviación estándar	37483,0	50% (Median)	29085,0
Coefficiente de variación	0,8304	75% (Q3)	63846,0
Error estándar	5354,7	90%	1,1459E+5
Oblicuidad	0,93877	95%	1,1891E+5
Excedente de curtosis	-0,52764	Max	1,2160E+5

Fuente: Software Easyfit

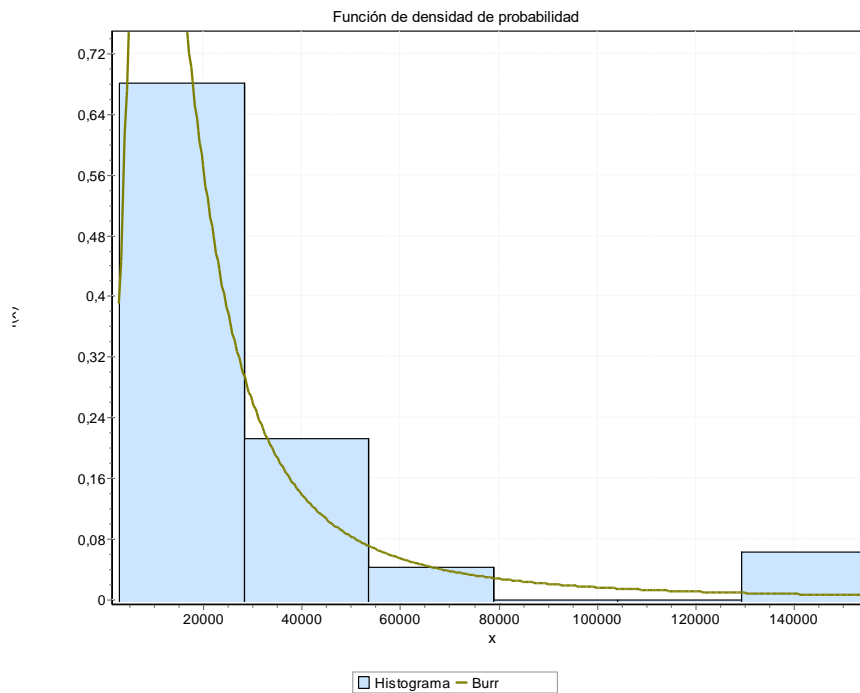
9.1.7.8. Sección homogénea ML

Tabla 74 Resultados de ajuste – sección homogénea ML

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Burr	$\alpha=0$ $\kappa=0,54544$ $\alpha=2,5796$ $\beta=11169,0$	<code>scipy.stats.burr.pdf (x, c (α), d(κ), loc (α), scale(β))</code> <code>scipy.stats.burr.pdf (x, 0, 0,54544, 2,5796, 11169,0)</code>

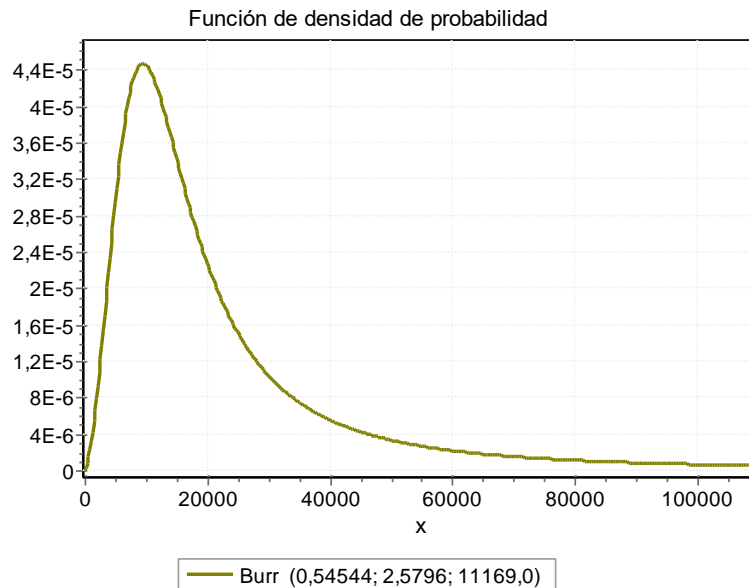
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 23 Histograma FDP Burr – sección homogénea ML



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 24 Función de densidad de probabilidad Burr – sección homogénea ML



Fuente: Software Easyfit

Tabla 75 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea ML

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Burr	0,08052	1	0,30487	1	1,9772	7

Fuente: Software Easyfit

Tabla 76 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea ML

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	47	Min	3059,9
Rango	1,5150E+5	5%	4088,2
Media	28188,0	10%	4803,5
Varianza	1,2502E+9	25% (Q1)	10794,0
Desviación estándar	35358,0	50% (Median)	14714,0
Coefficiente de variación	1,2543	75% (Q3)	30409,0
Error estándar	5157,4	90%	58180,0
Oblicuidad	2,7911	95%	1,4885E+5
Excedente de curtosis	7,6445	Max	1,5456E+5

Fuente: Software Easyfit

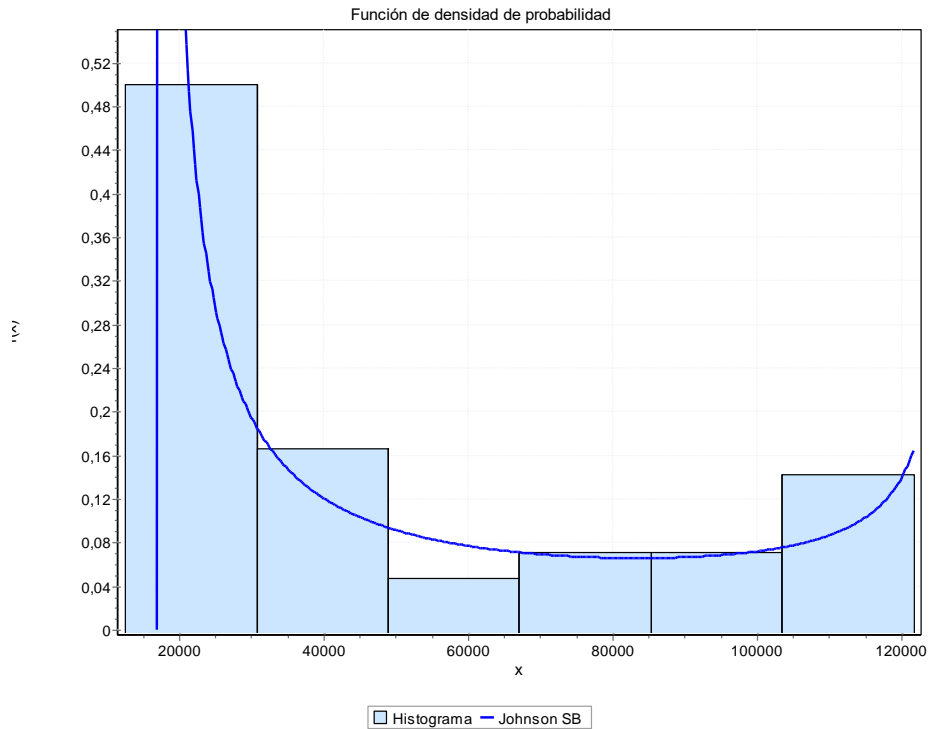
9.1.7.9. Sección homogénea SP

Tabla 77 Resultados de ajuste – sección homogénea SP

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Johnson SB	$\gamma=0,60219$ $\delta=0,30737$ $\lambda=1,0831E+5$ $\xi=17066,0$	<code>scipy.stats.johnsonsb.pdf(x, a(γ), b(δ), loc(λ), scale(ξ))</code> <code>scipy.stats.johnsonsb.pdf(x, 0,60219, 0,30737, 1,0831E+5, 17066,0)</code>

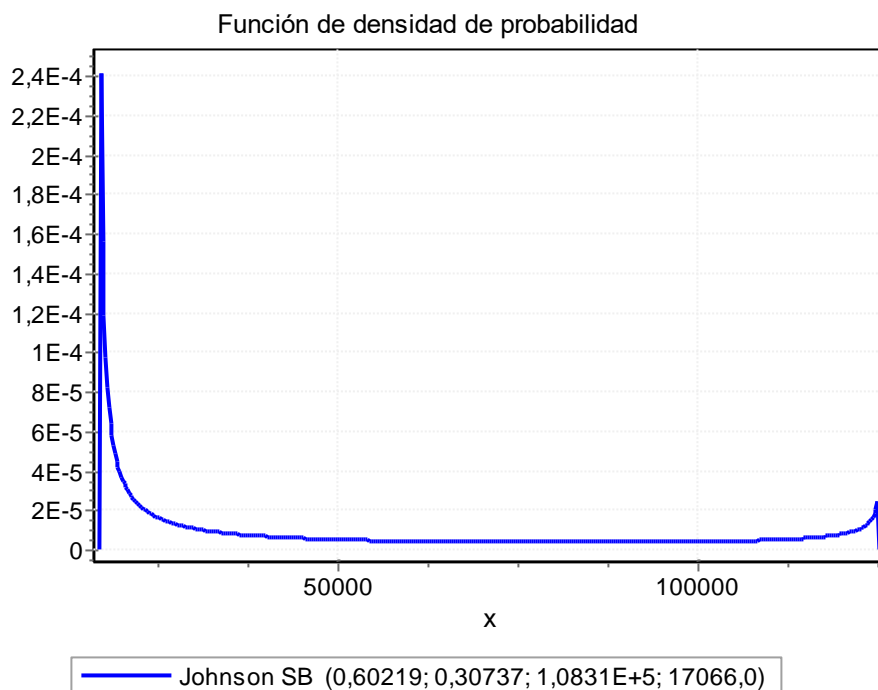
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 25 Histograma FDP Johnson SB – sección homogénea SP



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 26 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – sección homogénea SP



Fuente: Software Easyfit

Tabla 78 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SP

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,08988	1	20,931	55	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 79 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SP

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	42	Min	12607,0
Rango	1,0900E+5	5%	13063,0
Media	49370,0	10%	14609,0
Varianza	1,3573E+9	25% (Q1)	19115,0
Desviación estándar	36841,0	50% (Median)	31788,0
Coeficiente de variación	0,74624	75% (Q3)	82611,0
Error estándar	5684,7	90%	1,1461E+5
Oblicuidad	0,87862	95%	1,2078E+5
Excedente de curtosis	-0,75043	Max	1,2160E+5

Fuente: Software Easyfit

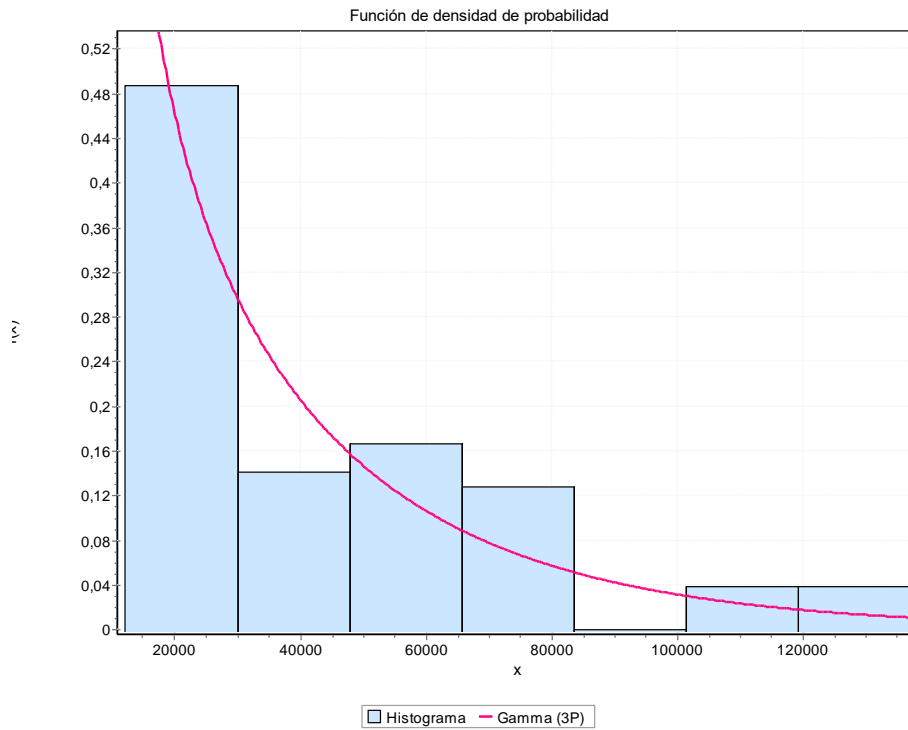
9.1.7.10. Sección homogénea SM-SC

Tabla 80 Resultados de ajuste – sección homogénea SM-SC

Resultados de ajuste		
Distribución	Parámetros	Función
Gamma (3P)	$\alpha=0,79376$ $\beta=36296,0$ $\gamma=12157,0$	scipy.stats.fisk.pdf (x, c (α), loc (γ), scale(β)) scipy.stats.fisk.pdf (x, 0,79376, 12157, 36296)

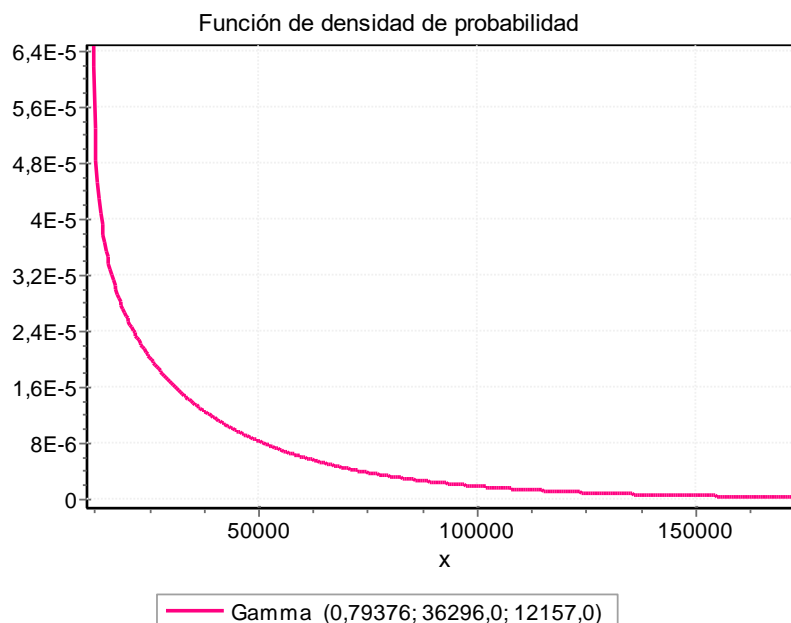
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 27 Histograma FDP Gamma (3P) – sección homogénea SM-SC



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 28 Función de densidad de probabilidad Gamma (3P) – sección homogénea SM-SC



Fuente: Software Easyfit

Tabla 81 Resultados de bondad de ajuste – sección homogénea SM-SC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Gamma (3P)	0,12804	1	3,372	29	6,6064	2

Fuente: Software Easyfit

Tabla 82 Resultados estadística descriptiva – sección homogénea SM-SC

Estadísticas descriptivas			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	78	Min	12157,0
Rango	1,2491E+5	5%	14157,0
Media	43064,0	10%	14932,0
Varianza	1,0072E+9	25% (Q1)	17355,0
Desviación estándar	31737,0	50% (Median)	32956,0
Coefficiente de variación	0,73696	75% (Q3)	58731,0
Error estándar	3593,5	90%	78729,0
Oblicuidad	1,3705	95%	1,1838E+5
Excedente de curtosis	1,5657	Max	1,3707E+5

Fuente: Software Easyfit

9.1.8. Módulo resiliente de la subbase granular

Para determinar los parámetros requeridos (m, δ) para realizar el diseño de la estructura de pavimento por medio del lenguaje de programación PYTHON se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Cov = \frac{\delta}{m}$$

Donde:

Cov = Coeficiente de variación

δ = Desviación estándar

m = media

Conociendo que la media es igual a

$$m = CBR_{min} + 3\delta$$

Por lo tanto

$$Cov = \frac{\delta}{CBR_{min} + 3\delta}$$

Donde:

Cov = Coeficiente de variación

δ = Desviación estándar

CBR_{min} = CBR mínimo de subbase granular según la tabla 320-2 requisitos de los agregados para subbases granulares de las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS (30%)

9.1.8.1. Desviación estándar (δ)

$$\delta = \frac{Cov * CBR_{min}}{1 - 3 Cov}$$

δ = Desviación estándar

Cov = 20% (Table 1 Summary of pavement material COVs from available literature (for the Mechanistic-Empirical pavement design approach – Article: Reliability in pavement design by Paola Dalla and Nick Thom)

CBR_{min} = 300 MPA = 43500 PSI (Especificaciones INVIAS)

$$\delta = \frac{0.20 * 43500 \text{ PSI}}{1 - 3 (0.20)}$$

$$\delta = 21750 \text{ PSI}$$

9.1.8.2. Media (m)

$$m = CBR_{min} + 3\delta$$

m = media

$CBR_{min} = 300 \text{ MPA} = 43500 \text{ PSI}$ (Especificaciones INVIAS)

δ = Desviación estándar (21750 PSI)

$$m = 43500 \text{ PSI} + 3 (21750 \text{ PSI})$$

$$m = 108750 \text{ PSI}$$

9.1.9. Módulo resiliente de la base granular

Para determinar los parámetros requeridos (m, δ) para realizar el diseño de la estructura de pavimento por medio del lenguaje de programación PYTHON se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Cov = \frac{\delta}{m}$$

Donde:

Cov = Coeficiente de variación

δ = Desviación estándar

m = media

Conociendo que la media es igual a

$$m = CBR_{min} + 3\delta$$

Por lo tanto

$$Cov = \frac{\delta}{CBR_{min} + 3\delta}$$

Donde:

Cov = Coeficiente de variación

δ = Desviación estándar

CBR_{min} = CBR mínimo de subbase granular según la tabla 330-2 requisitos de los agregados para bases granulares de las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS (80%)

9.1.9.1. Desviación estándar (δ)

$$\delta = \frac{Cov * CBR_{min}}{1 - 3 Cov}$$

δ = Desviación standard

Cov = 20% (Table 1 Summary of pavement material COVs from available literature (for the Mechanistic-Empirical pavement design approach – Article: Reliability in pavement design by Paola Dalla and Nick Thom)

CBR_{min} = 800 MPA = 116000 PSI (Especificaciones INVIAS)

$$\delta = \frac{0.20 * 116000 PSI}{1 - 3 (0.20)}$$

$$\delta = 58000 PSI$$

9.1.9.2. Media (m)

$$m = CBR_{min} + 3\delta$$

m = media

CBR_{min} = 800 MPA = 116000 PSI (Especificaciones INVIAS)

δ = Desviación estándar (58000 PSI)

$$m = 116000 PSI + 3 (58000 PSI)$$

$$m = 290000 PSI$$

9.2. Diseño estructura de pavimento

Se realizó los cálculos correspondientes para la realización el diseño por medio de un código desarrollado en lenguaje de programación el cual se estructuró con cada variable solicitada para el diseño de los espesores de pavimento según la metodología AASHTO-93, dichas variables se listan a continuación:

- ✓ Periodo de diseño
- ✓ ESAL: Tránsito de diseño
- ✓ So: Desviación estándar
- ✓ Δ IPS: Nivel de Serviciabilidad
- ✓ Coeficientes: estructural y drenaje
- ✓ Valores Media y Desviación Estándar (Módulo resiliente base y subbase)
- ✓ Funciones de densidad de probabilidad (Módulo resiliente subrasante)

Se programó de tal manera que calculara 25000 datos para espesores de carpeta asfáltica, base granular y subbase granular, adicionalmente se condiciono para que en caso tal de que no cumpliera los espesores mínimos descritos en la guía de diseño de estructuras de pavimentos AASTHO 93 (Tabla 6), arrojara como resultado el valor del espesor calculado y el valor mínimo para diseñar según lo señalado anteriormente.

El código fue programado bajo el lenguaje de programación Python (código abierto de fácil legibilidad) y se ejecuta por medio de la aplicación CMD (símbolo del sistema) de Windows 10.

Los resultados obtenidos se describen a continuación.

9.2.1. Espesores de capa por sección homogénea

Una vez se ejecuta el código de programación Python, este arroja 10 archivos de resultados cada uno correspondiente a las secciones homogéneas anteriormente seleccionadas. Los 25000 datos resultantes corresponden a los espesores de carpeta asfáltica, base granular y subbase granular, dichos datos resultantes son analizados nuevamente en el software EasyFit para determinar los valores de la media estadística, los cuales corresponden a cada uno de los espesores de las capas que componen la estructura del pavimento.

En las tablas que se presentan a continuación las cuales relacionan el espesor calculado en pulgadas, teniendo en cuenta los lineamientos descritos en el numeral 9.2 los cuales hacen mención a los espesores mínimos que corresponden a cada capa de la estructura de pavimento dependiendo su ESAL (Transito de diseño) por lo tanto se presenta el valor calculado por el lenguaje de programación Python y a su vez se presenta su espesor mínimo correspondiente.

Este lenguaje de programación Python se programa de tal manera que los valores resultantes por capa los genere en pulgadas, por tal motivo se realiza la conversión a centímetros. Para la optimización de cada una de las capas es necesario tener en cuenta su proceso constructivo en el cual la capa asfáltica se compacta generalmente de centímetro a centímetro, por otro lado, los materiales granulares (base granular y subbase granular) se compactan generalmente en múltiplos de 5 cm.

9.2.1.1 Sección homogénea CH

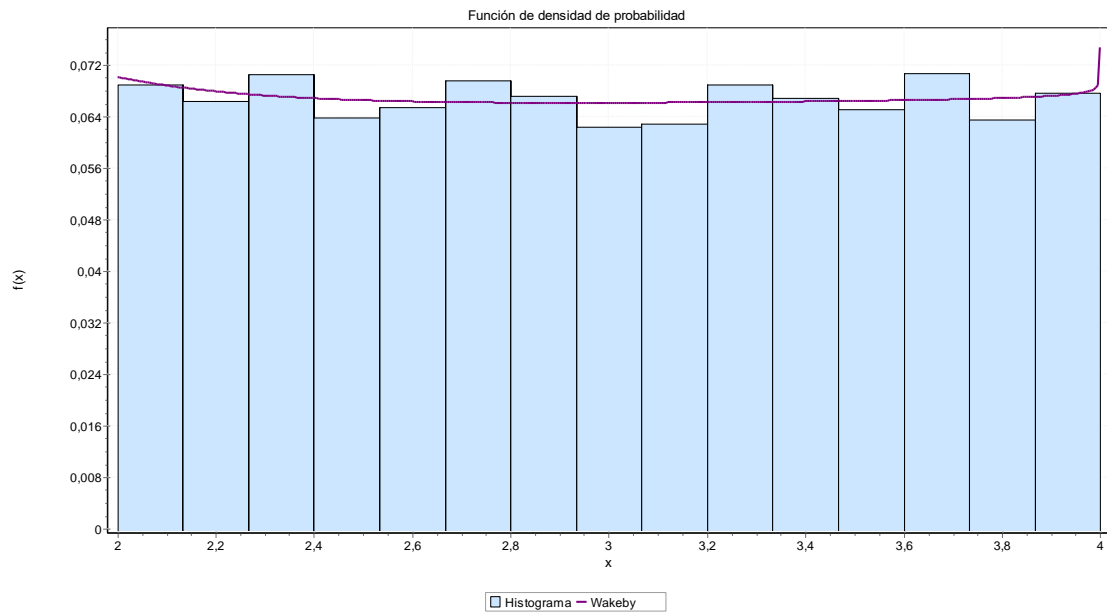
9.2.1.1.1 Carpeta asfáltica

Tabla 83 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CH

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=-0,12564$ $\beta=7,4127$ $\gamma=2,028$
	$\delta=-1,0072$ $\xi=2,0015$

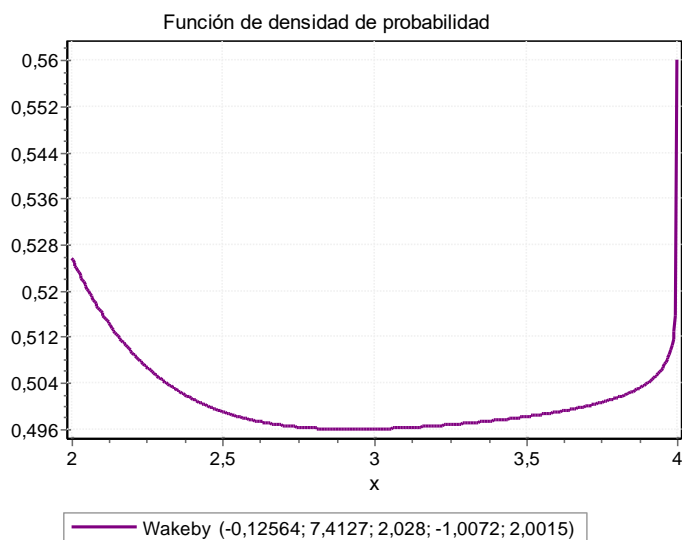
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 29 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CH



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 30 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CH



Fuente: Software EasyFit

Tabla 84 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CH

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,00525	1	255,07	12	N/A	N/A

Fuente: Software Easy Fit

Tabla 85 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica CH

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2
Rango	2	5%	2,1
Media	2,9969	10%	2,19
Varianza	0,33548	25% (Q1)	2,49
Desviación estándar	0,5792	50% (Mediana)	2,99
Coef. de variación	0,19327	75% (Q3)	3,5
Error estándar	0,00366	90%	3,8
Asimetría	0,00385	95%	3,9
Curtosis	-12.083	Max	4

Fuente: Software Easy Fit

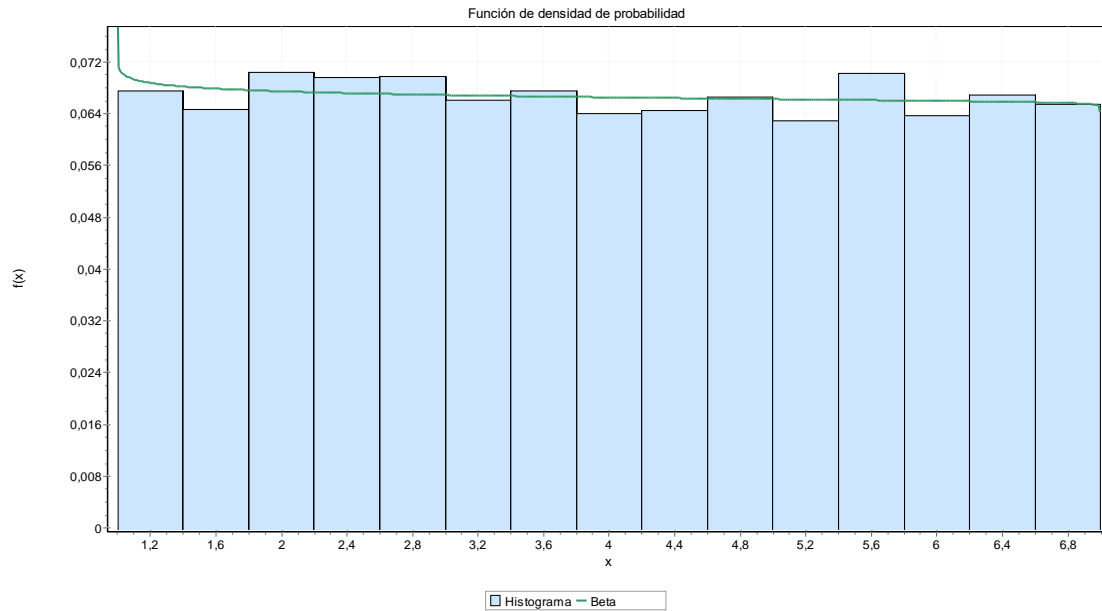
9.2.1.1.2 Base granular

Tabla 86 Resultados de ajuste – Espesor Base granular CH

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Beta	$\alpha_1=0,98829$ $\alpha_2=1,0021$
	$a=1,0$ $b=7,0$

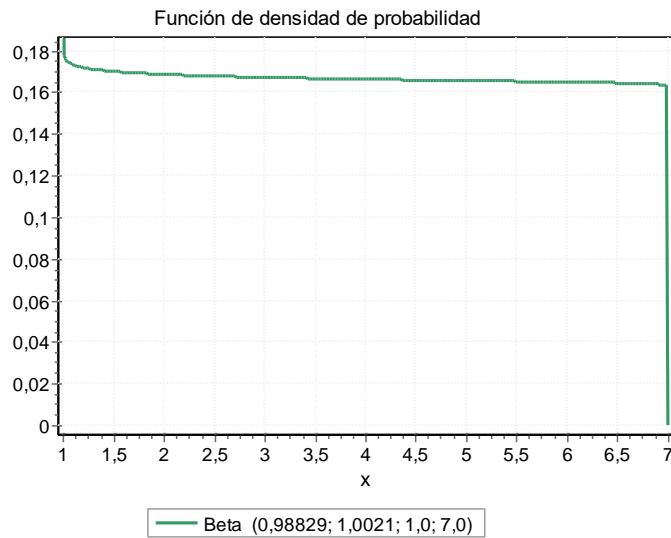
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 31 Histograma FDP Beta – Espesor Base granular CH



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 32 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Base granular CH



Fuente: Software EasyFit

Tabla 87 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular CH

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Beta	0,00481	1	1,1367	1	29,481	4

Fuente: Software Easy Fit

Tabla 88 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular CH

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	1
Rango	6	5%	1,3
Media	3,9793	10%	1,6
Varianza	30,096	25% (Q1)	2,47
Desviación estándar	17,348	50% (Mediana)	3,95
Coef. de variación	0,43596	75% (Q3)	5,49
Error estándar	0,01097	90%	6,41
Asimetría	0,02089	95%	6,69
Curtosis	-12,084	Max	7

Fuente: Software EasyFit

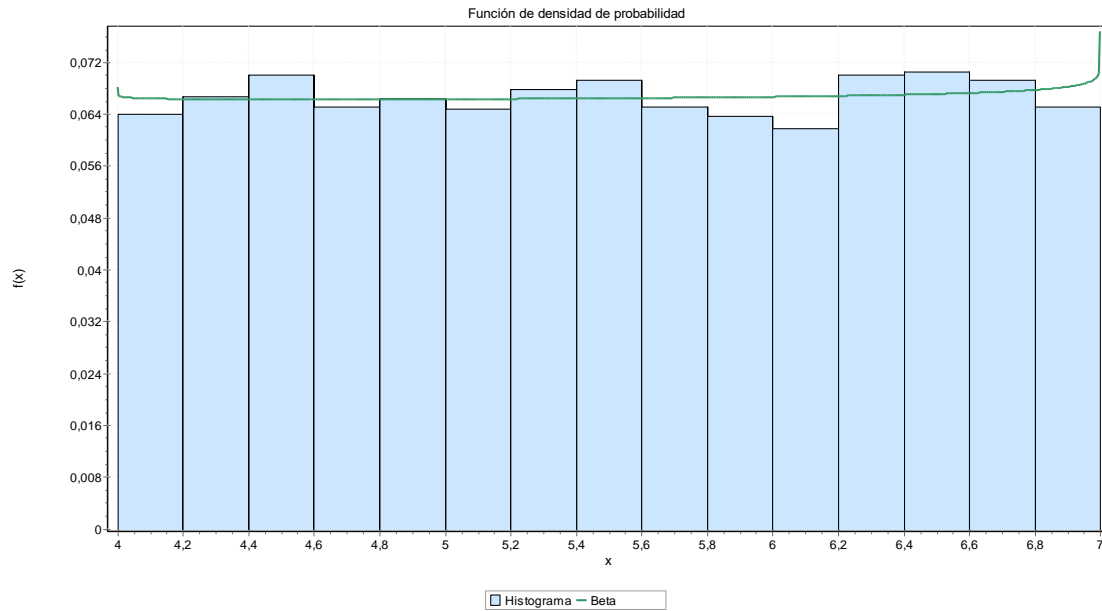
9.2.1.1.3 Subbase granular

Tabla 89 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular CH

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Beta	$\alpha_1=0,99769$ $\alpha_2=0,98979$
	$a=4,0$ $b=7,0$

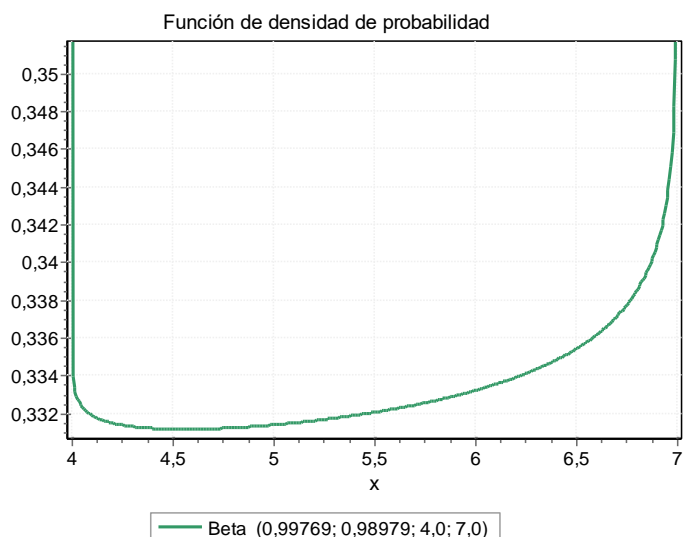
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 33 Histograma FDP Beta – Espesor Subbase granular CH



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 34 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Subbase granular CH



Fuente: Software EasyFit

Tabla 90 Resultados de bondad de ajuste – Subbase granular CH

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Beta	0,00589	1	2,0653	4	14,546	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 91 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular CH

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	4
Rango	3	5%	4,15
Media	5,5059	10%	4,3
Varianza	0,75314	25% (Q1)	4,76
Desviación estándar	0,86783	50% (Mediana)	5,5
Coef. de variación	0,15762	75% (Q3)	6,26
Error estándar	0,00549	90%	6,71
Asimetría	-0,00535	95%	6,85
Curtosis	-1,209	Max	7

Fuente: Software EasyFit

Tabla 92 Espesores de capas Python – Sección homogénea CH

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	3.00	7.62	1.41
Base Granular	3.98	10.11	2.09
Subbase Granular	5.51	14.00	2.20

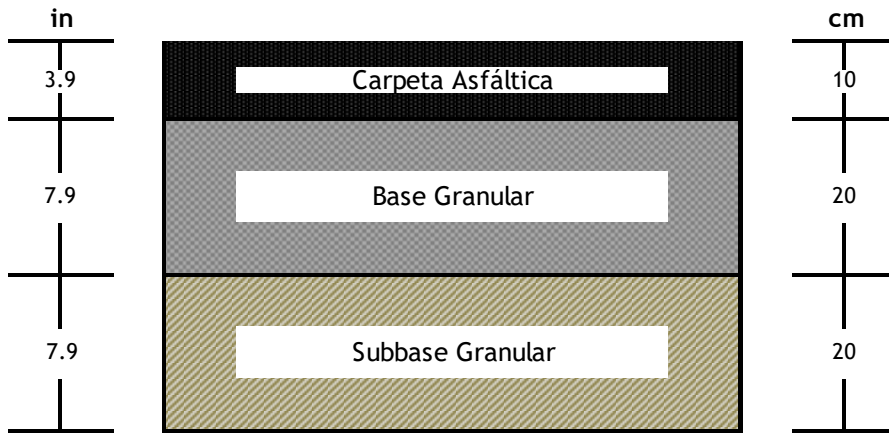
Fuente: Elaboración propia

Tabla 93 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea CH

Capa	Espesor Diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35 Espesores de capas – sección homogénea CH



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.2 Sección homogénea CL

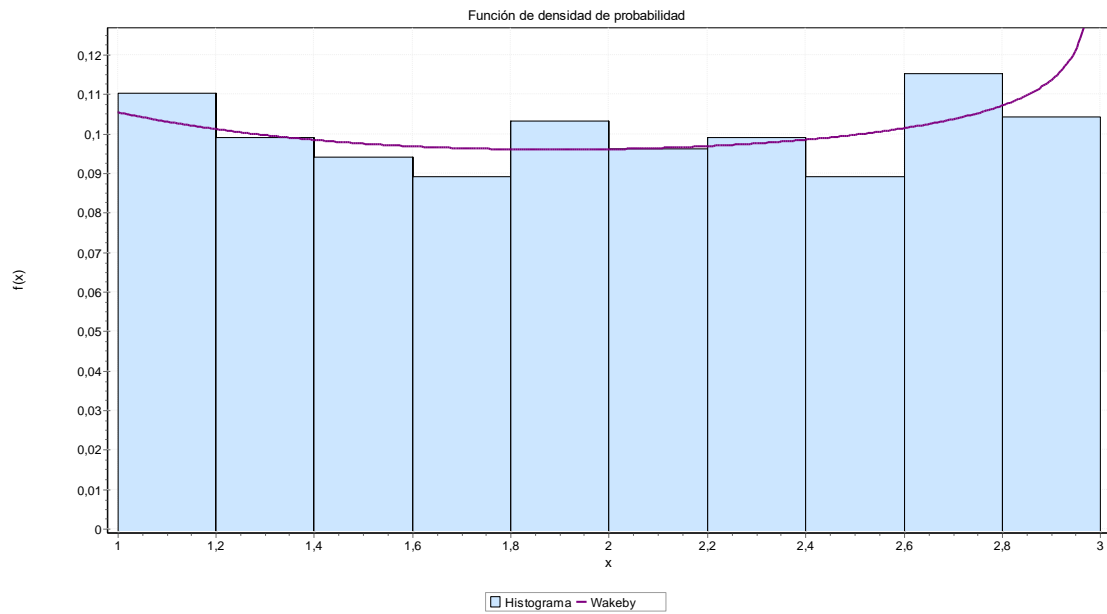
9.2.1.2.1 Carpeta asfáltica

Tabla 94 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CL

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=-0,35515$ $\beta=4,0835$ $\gamma=2,2513$
	$\delta=-1,084$ $\xi=0,99788$

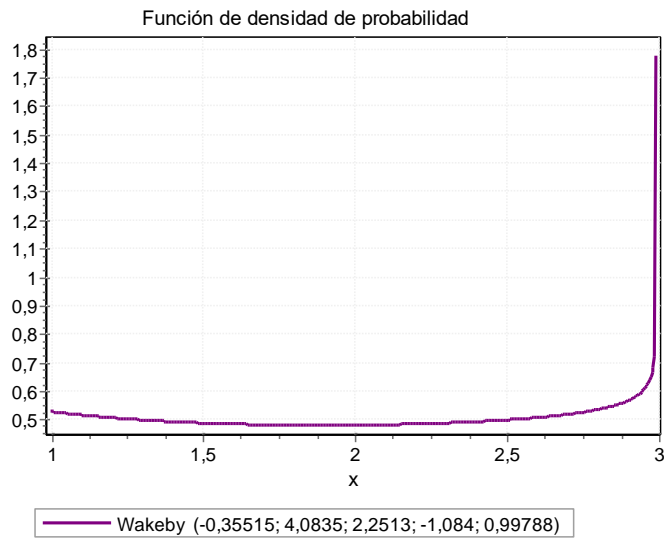
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 36 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CL



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 37 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica CL



Fuente: Software EasyFit

Tabla 95 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica CL

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01415	1	39,425	47	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 96 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica CL

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	1
Rango	2	5%	1,09
Media	2,0083	10%	1,19
Varianza	0,34414	25% (Q1)	1,5
Desviación estándar	0,58663	50% (Mediana)	2,02
Coef. de variación	0,29211	75% (Q3)	2,52
Error estándar	0,01857	90%	2,81
Asimetría	-0,02197	95%	29,005
Curtosis	-12,353	Max	3

Fuente: Software EasyFit

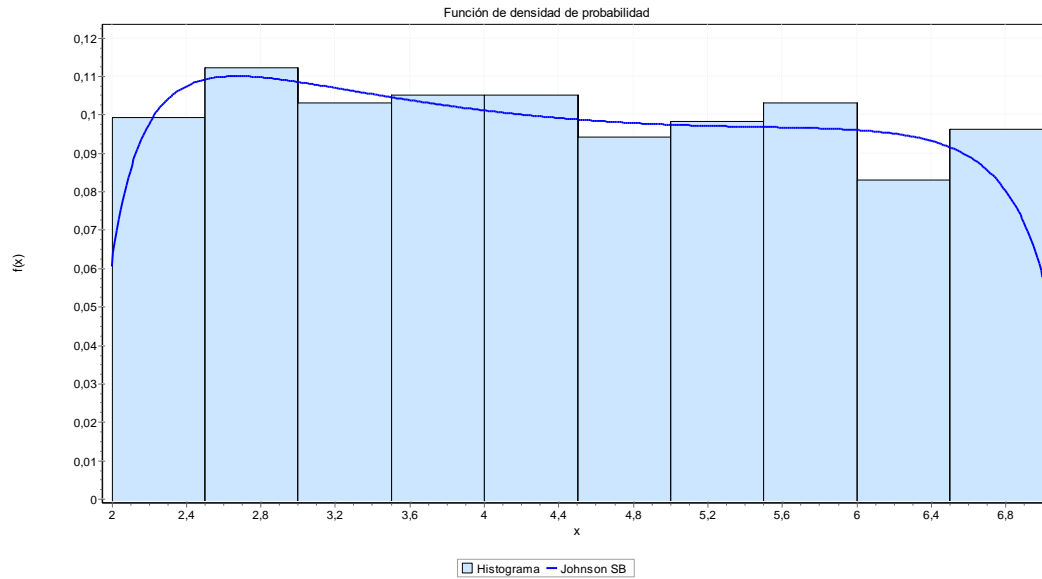
9.2.1.2.2 Base granular

Tabla 97 Resultados de ajuste – Espesor Base granular CL

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=0,0721$ $\delta=0,65533$
	$\lambda=5,2908$ $\xi=1,8886$

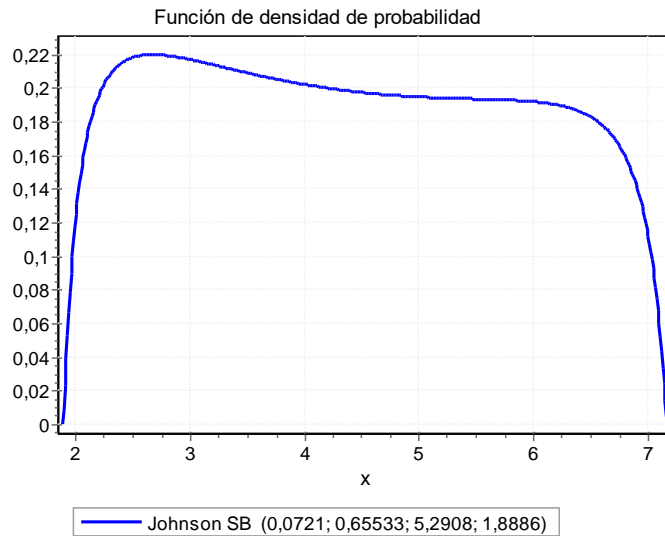
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 38 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular CL



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 39 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular CL



Fuente: Software EasyFit

Tabla 98 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular CL

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,0136	1	0,36613	4	7,0719	3

Fuente: Software EasyFit

Tabla 99 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular CL

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2
Rango	5	5%	2,2
Media	4,4321	10%	2,499
Varianza	20,873	25% (Q1)	3,19
Desviación estándar	14,447	50% (Mediana)	4,34
Coef. de variación	0,32597	75% (Q3)	5,64
Error estándar	0,04573	90%	6,49
Asimetría	0,07309	95%	67,505
Curtosis	-11,832	Max	7

Fuente: Software EasyFit

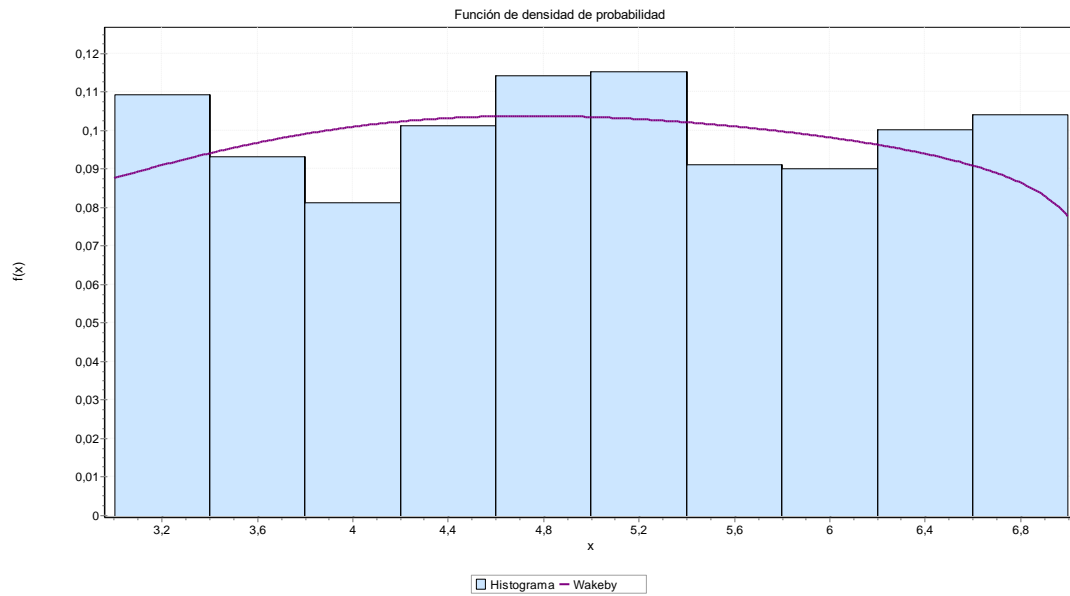
9.2.1.2.3 Subbase granular

Tabla 100 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular CL

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=1,0016 \beta=5,5613 \gamma=3,5949$
	$\delta=-0,91073 \xi=2,9712$

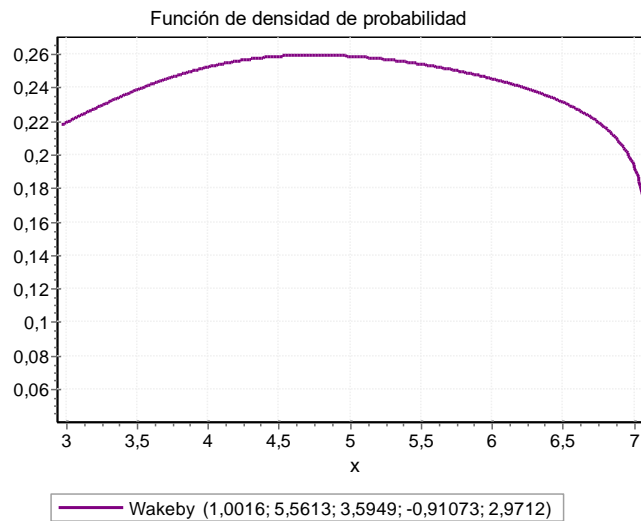
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 40 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular CL



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 41 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular CH



Fuente: Software EasyFit

Tabla 101 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular CH

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01769	1	0,76512	1	12,237	3

Fuente: Software EasyFit

Tabla 102 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular CH

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	4	5%	3,22
Media	5,0053	10%	3,37
Varianza	1,333	25% (Q1)	40,575
Desviación estándar	11,546	50% (Mediana)	5,01
Coef. de variación	0,23067	75% (Q3)	5,99
Error estándar	0,03655	90%	6,64
Asimetría	0,02071	95%	6,86
Curtosis	-11,468	Max	7

Fuente: Software EasyFit

Tabla 103 Espesores de capas Python – Sección homogénea CL

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.00	5.08	1.41
Base Granular	4.43	11.25	2.09
Subbase Granular	5.00	12.70	2.25

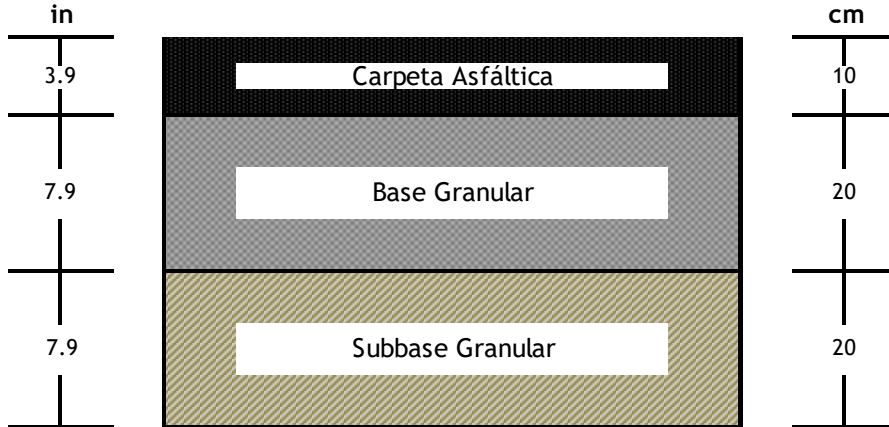
Fuente: Elaboración propia

Tabla 104 Espesores de capas optimizadas – Sección homogénea CL

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.50	10	1.73
Base Granular	6.00	6.00	20	0.99
Subbase Granular	6.00	6.00	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42 Espesores de capas – sección homogénea CL



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.3 Sección homogénea GM-GC

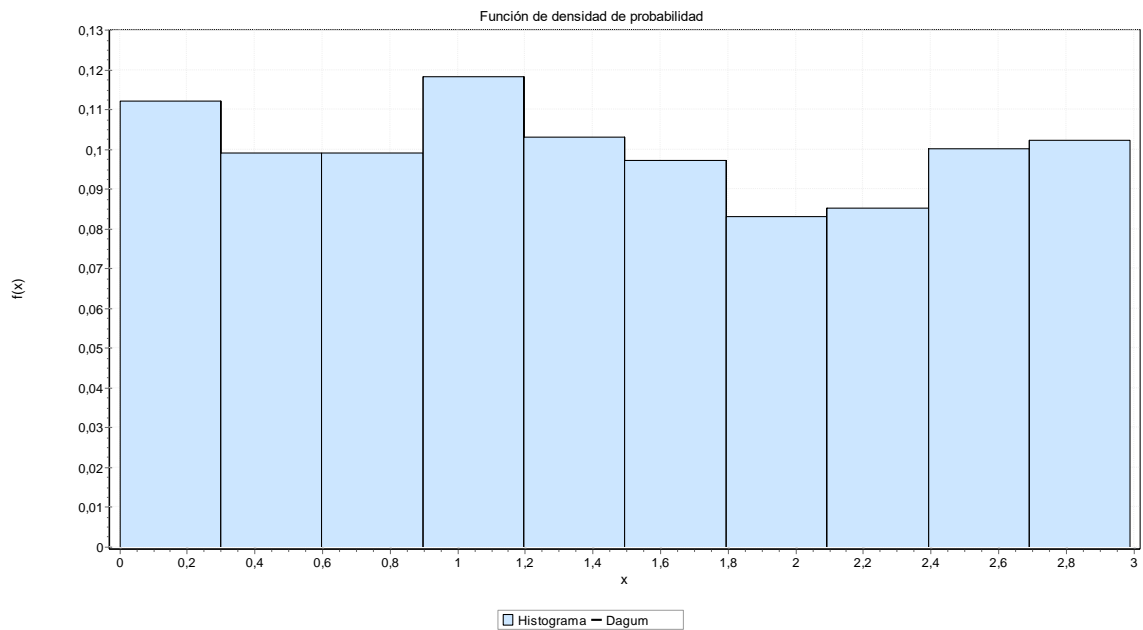
9.2.1.3.1 Carpeta asfáltica

Tabla 105 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GM-GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Dagum	$\kappa=5,4916E-4$ $\alpha=2196,6$
	$\beta=4,1474$ $\gamma=0$

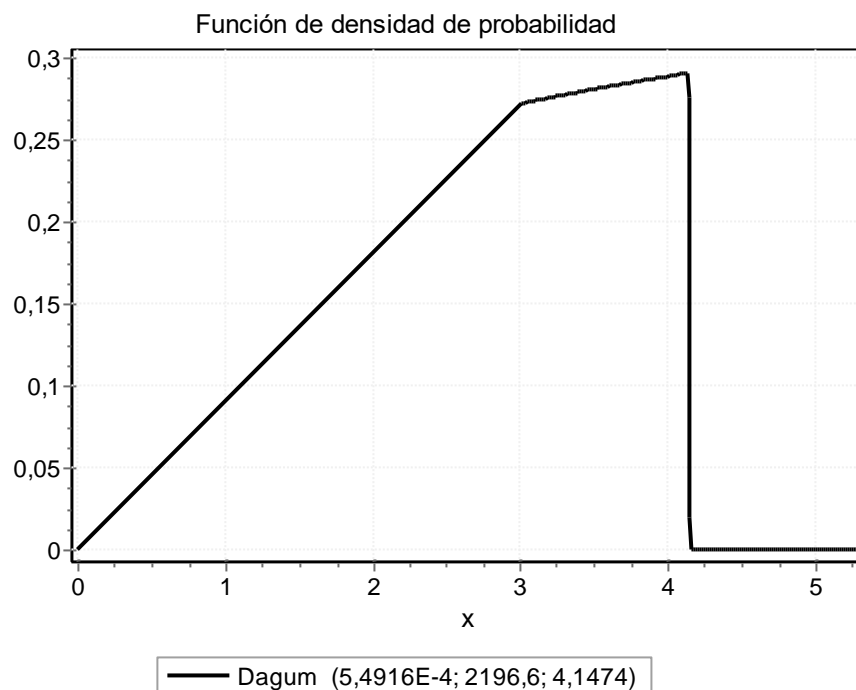
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 43 Histograma FDP Dagum – Espesor carpeta asfáltica GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 44 Función de densidad de probabilidad Dagum– Espesor carpeta asfáltica GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 106 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GM-GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Dagum	0,001	1	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 107 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica GM-GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	0
Rango	2,99	5%	0,14
Media	1,4536	10%	0,26
Varianza	0,76753	25% (Q1)	0,7175
Desviación estándar	0,87609	50% (Mediana)	1,4
Coef. de variación	0,60269	75% (Q3)	2,21
Error estándar	0,02773	90%	2,7
Asimetría	0,09466	95%	2,84
Curtosis	-12,068	Max	2,99

Fuente: Software Easy Fit

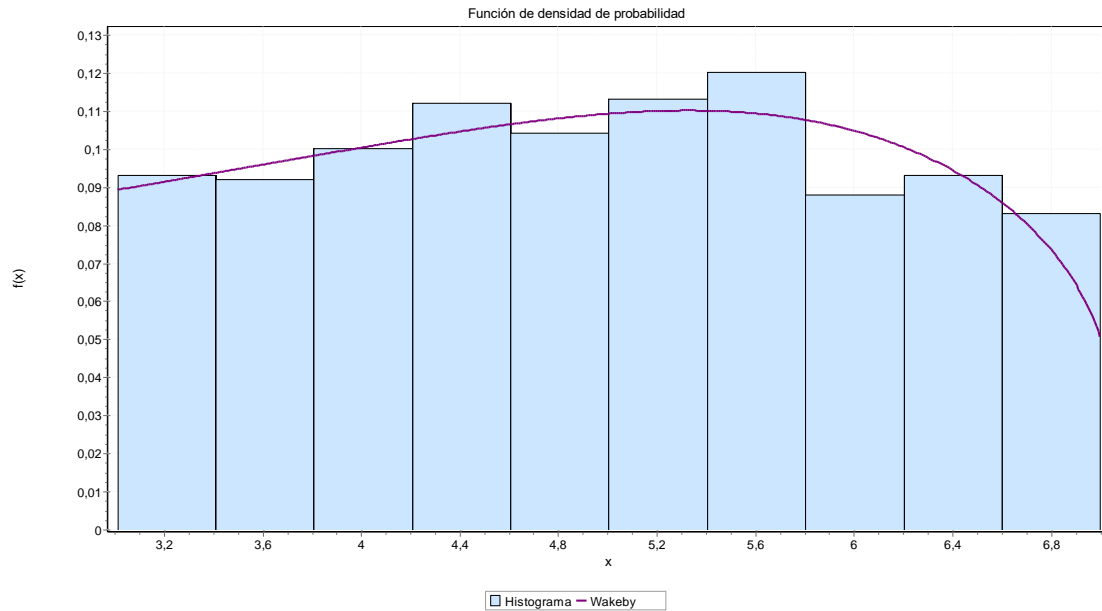
9.2.1.3.2 Base granular

Tabla 108 Resultados de ajuste – Espesor Base granular GM-GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=1,8948 \beta=2,5928 \gamma=2,5787$
	$\delta=-0,77063 \xi=3,0008$

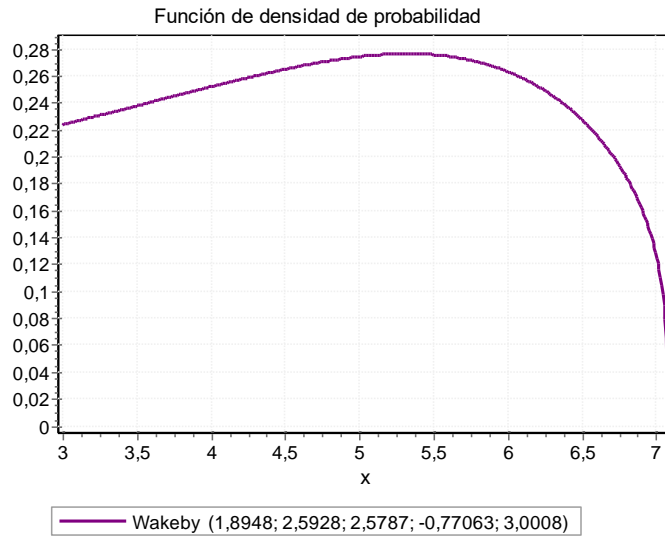
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 45 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 46 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Base granular GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 109 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular GM-GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01576	1	0,21002	1	1,8401	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 110 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular GM-GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3,01
Rango	3,99	5%	3,219
Media	4,9845	10%	3,44
Varianza	12,306	25% (Q1)	4,025
Desviación estándar	11,093	50% (Mediana)	4,99
Coef. de variación	0,22255	75% (Q3)	58,725
Error estándar	0,03511	90%	6,53
Asimetría	-0,00287	95%	67,405
Curtosis	-11,123	Max	7

Fuente: Software EasyFit

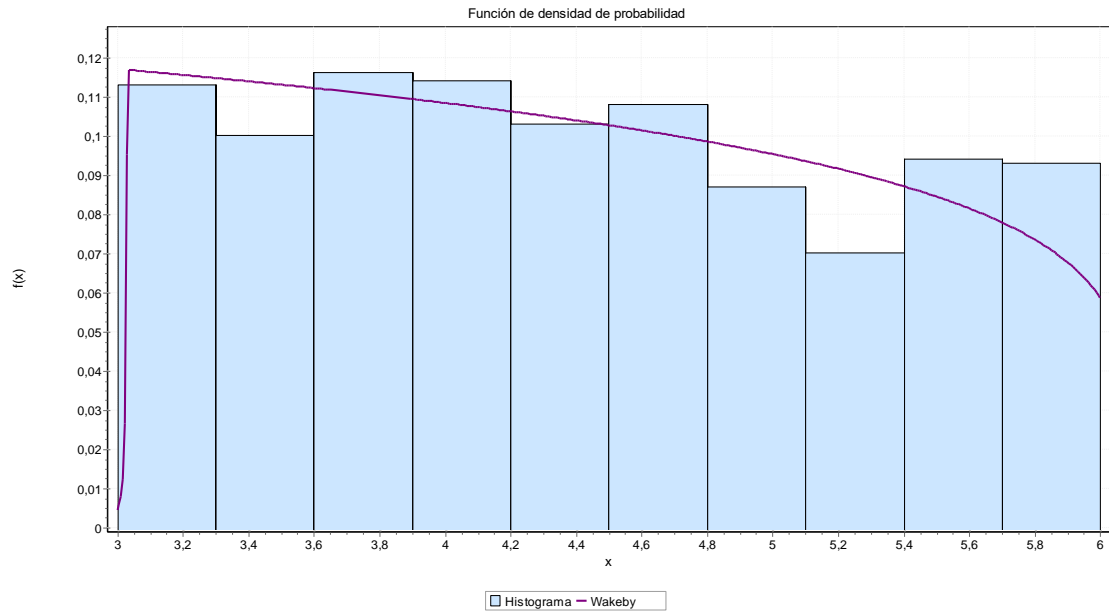
9.2.1.3.3 Subbase granular

Tabla 111 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular GM-GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=7568,8$ $\beta=2505,8$ $\gamma=2,5656$
	$\delta=-0,83514$ $\xi=0$

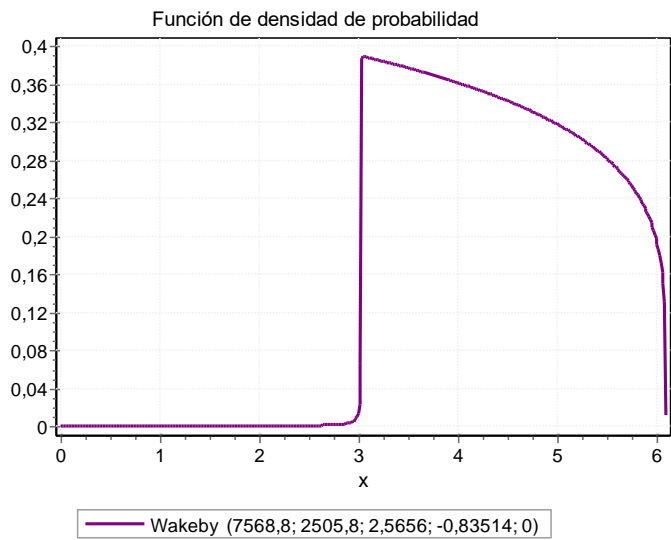
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 47 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 48 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular GM-GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 112 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular GM-GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,02025	1	154,14	56	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 113 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular GM-GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	3	5%	3,13
Media	4,4174	10%	3,26
Varianza	0,735	25% (Q1)	3,71
Desviación estándar	0,85732	50% (Mediana)	4,35
Coef. de variación	0,19408	75% (Q3)	5,15
Error estándar	0,02714	90%	5,661
Asimetría	0,14423	95%	5,83
Curtosis	-11,274	Max	6

Fuente: Software EasyFit

Tabla 114 Espesores de capas Python – Sección homogénea GM-GC

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	1.45	3.68	1.41
Base Granular	4.98	12.65	2.09
Subbase Granular	4.42	11.23	2.06

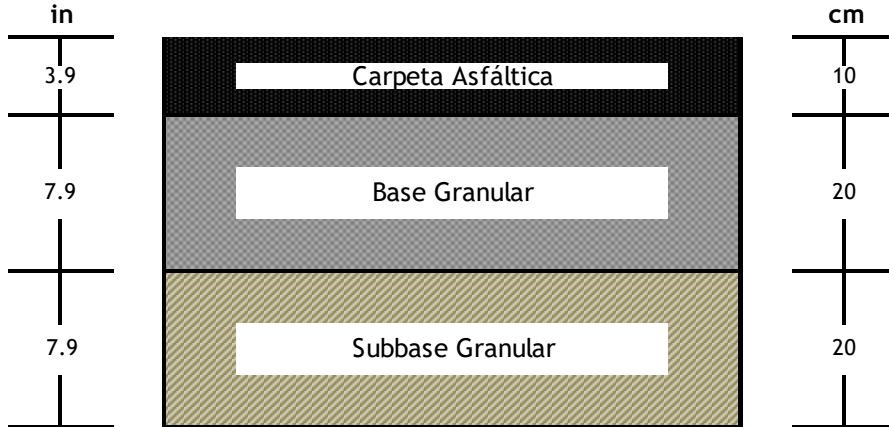
Fuente: Elaboración propia

Tabla 115 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea GM-GC

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 49 Espesores de capas – sección homogénea GM-GC



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.4 Sección homogénea SC

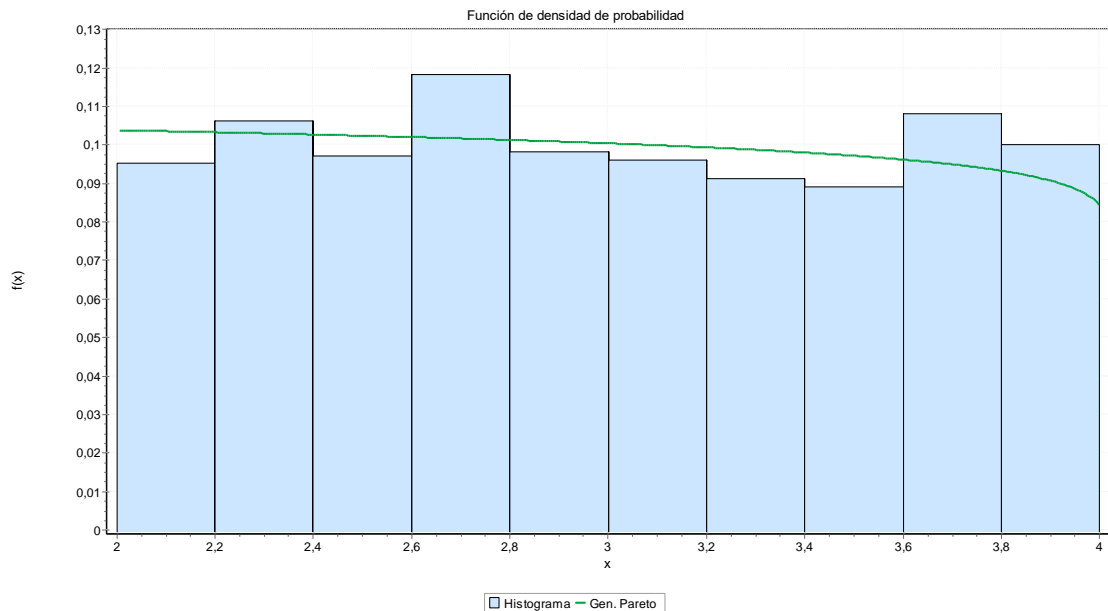
9.2.1.4.1 Carpeta asfáltica

Tabla 116 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Gen. Pareto	$k=-0,95312$ $\sigma=1,9289$ $\mu=2,0071$

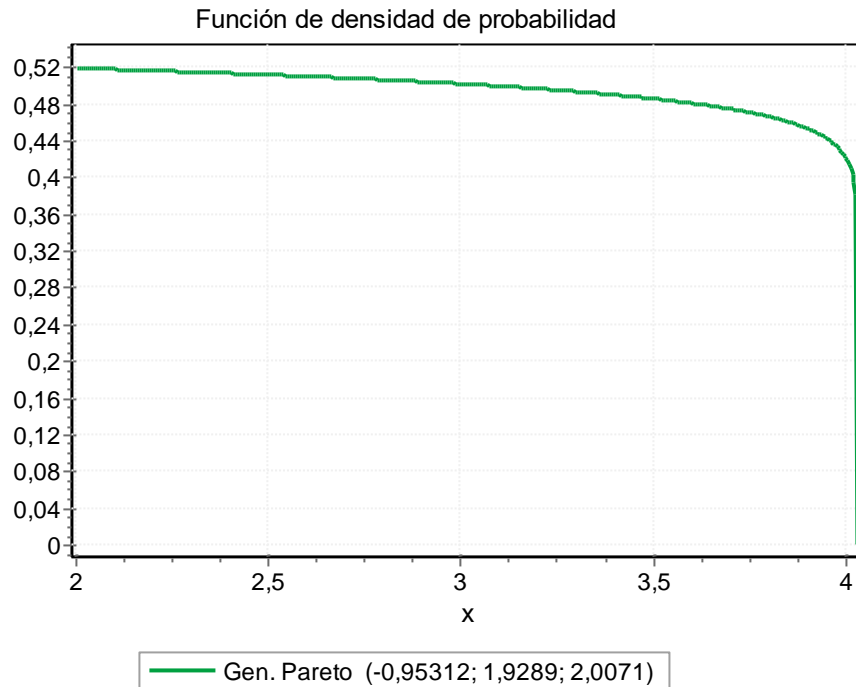
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 50 Histograma FDP Gen. Pareto – Espesor carpeta asfáltica SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 51 Función de densidad de probabilidad Gen. Pareto – Espesor carpeta asfáltica SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 117 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Gen. Pareto	0,01665	1	8,4514	8	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 118 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2
Rango	2	5%	2,09
Media	2,9947	10%	2,209
Varianza	0,3354	25% (Q1)	2,49
Desviación estándar	0,57913	50% (Mediana)	2,975
Coef. de variación	0,19339	75% (Q3)	3,5
Error estándar	0,01833	90%	3,811
Asimetría	0,0409	95%	3,9
Curtosis	-12,036	Max	4

Fuente: Software Easy Fit

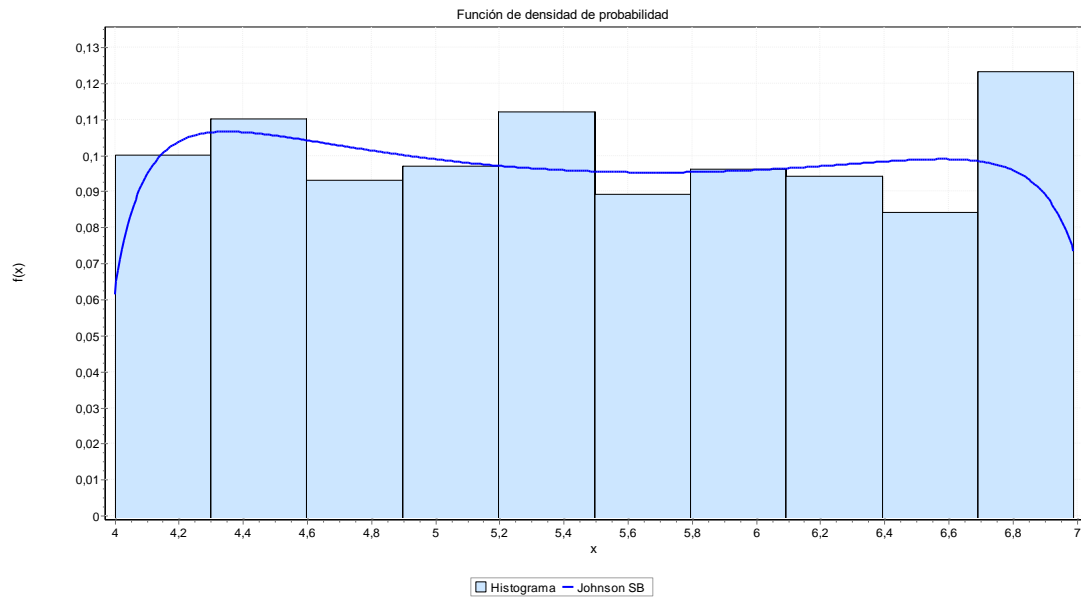
9.2.1.4.2 Base granular

Tabla 119 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=0,03315$ $\delta=0,63252$
	$\lambda=3,161$ $\xi=3,9409$

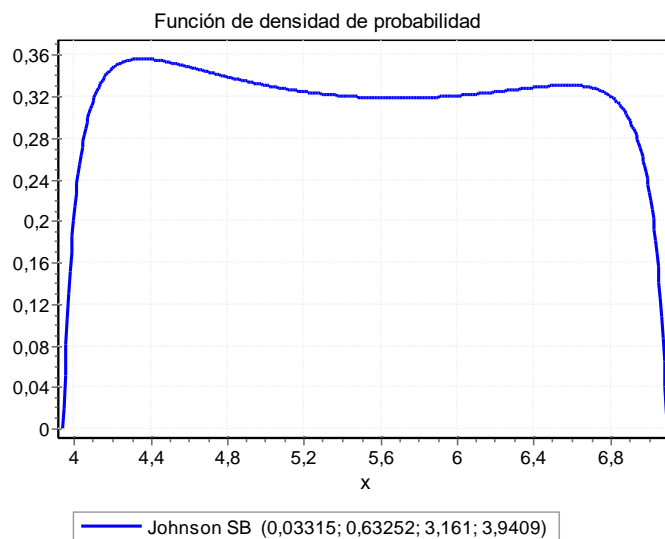
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 52 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 53 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 120 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01872	1	0,65549	1	4,3668	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 121 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	4
Rango	2,99	5%	4,13
Media	5,4928	10%	4,289
Varianza	0,77625	25% (Q1)	47,175
Desviación estándar	0,88105	50% (Mediana)	5,46
Coef. de variación	0,1604	75% (Q3)	6,29
Error estándar	0,02789	90%	6,76
Asimetría	0,03439	95%	6,87
Curtosis	-12,142	Max	6,99

Fuente: Software EasyFit

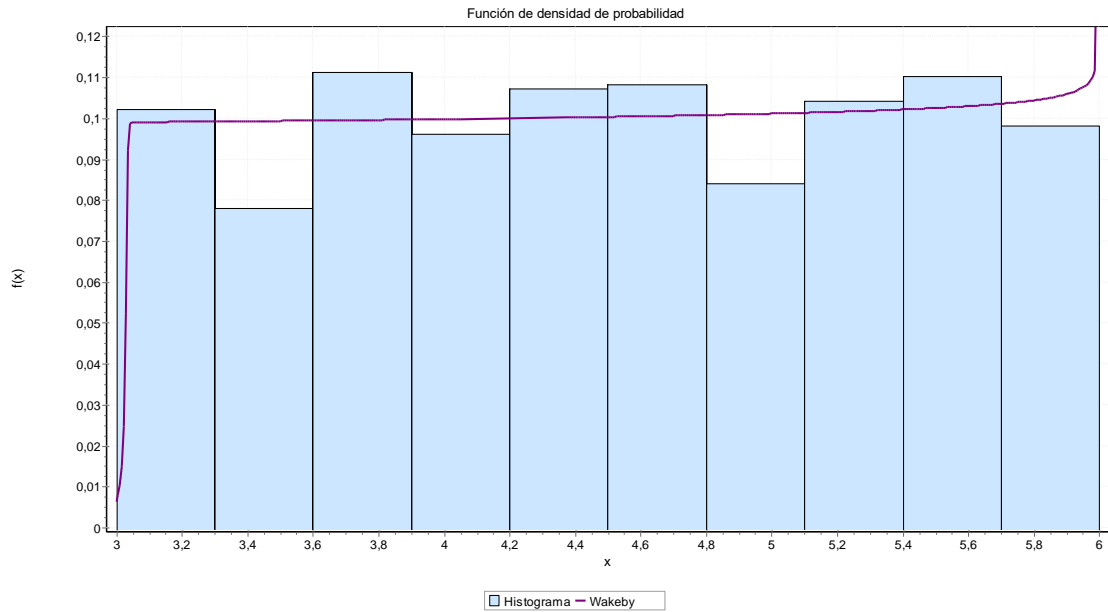
9.2.1.4.3 Subbase granular

Tabla 122 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=5055,2 \beta=1675,1 \gamma=3,0312$
	$\delta=-1,0196 \xi=0$

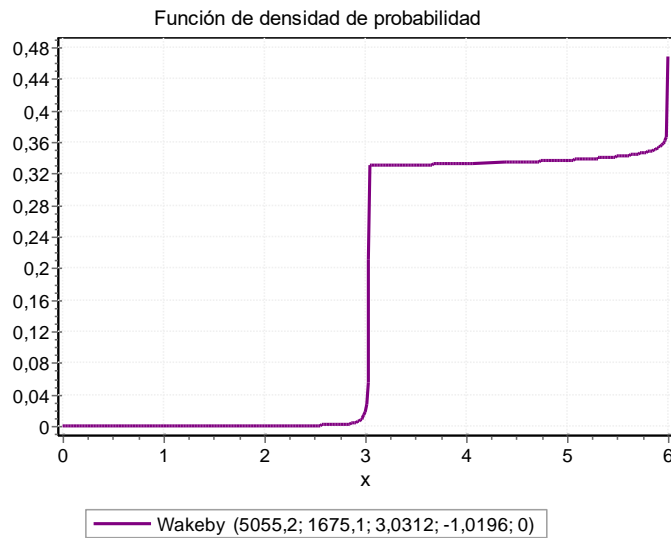
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 54 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 55 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 123 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01437	1	156,73	56	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 124 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	3	5%	3,14
Media	4,517	10%	3,3
Varianza	0,74619	25% (Q1)	3,76
Desviación estándar	0,86382	50% (Mediana)	4,51
Coef. de variación	0,19124	75% (Q3)	5,28
Error estándar	0,02734	90%	5,69
Asimetría	-0,02967	95%	58,405
Curtosis	-11,855	Max	6

Fuente: Software EasyFit

Tabla 125 Espesores de capas Python – Sección homogénea SC

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.99	7.59	1.41
Base Granular	5.49	13.94	2.09
Subbase Granular	4.51	11.46	2.25

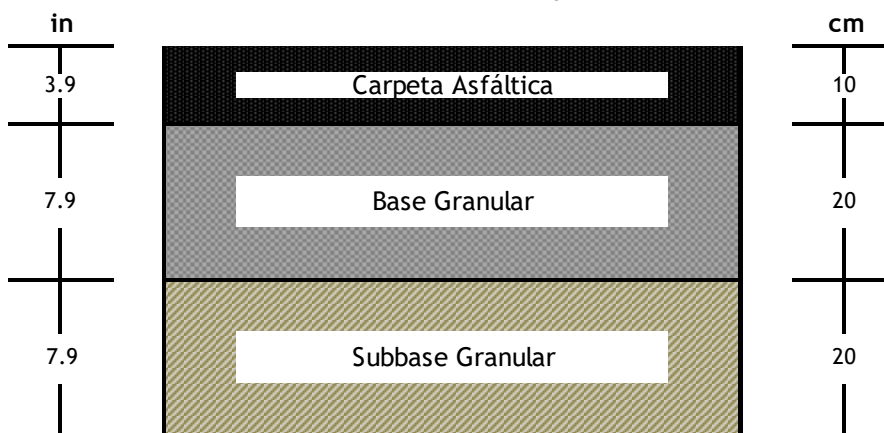
Fuente: Elaboración propia

Tabla 126 Espesores de capas optimizado – Sección homogénea SC

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 56 Espesores de capas – sección homogénea SC



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.5 Sección homogénea GC

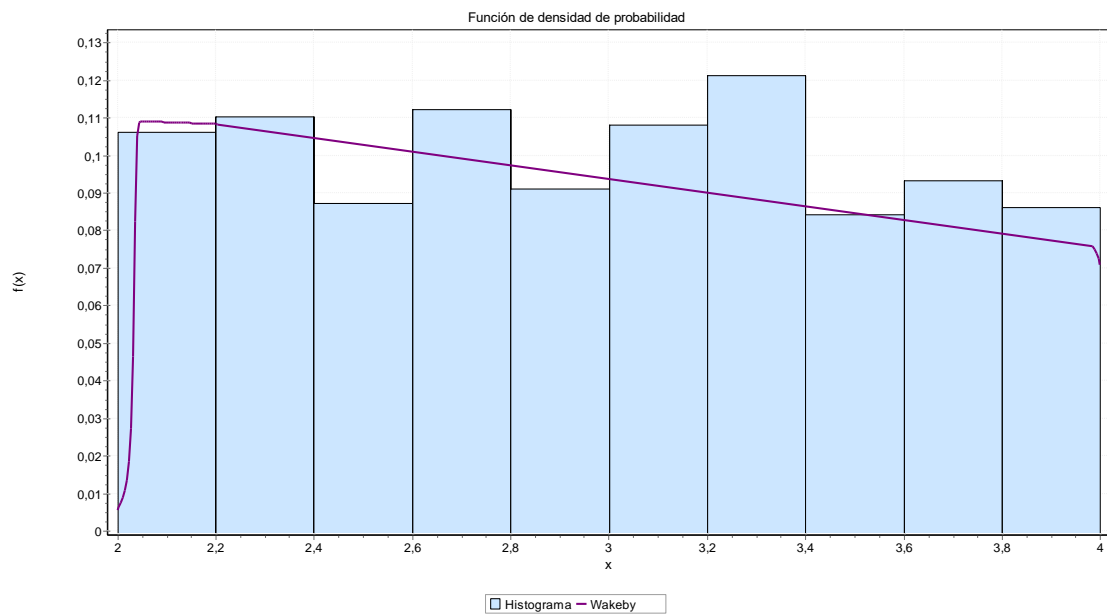
9.2.1.5.1 Carpeta asfáltica

Tabla 127 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=2268,1$ $\beta=1121,1$ $\gamma=1,8325$
	$\delta=-0,92109$ $\xi=0$

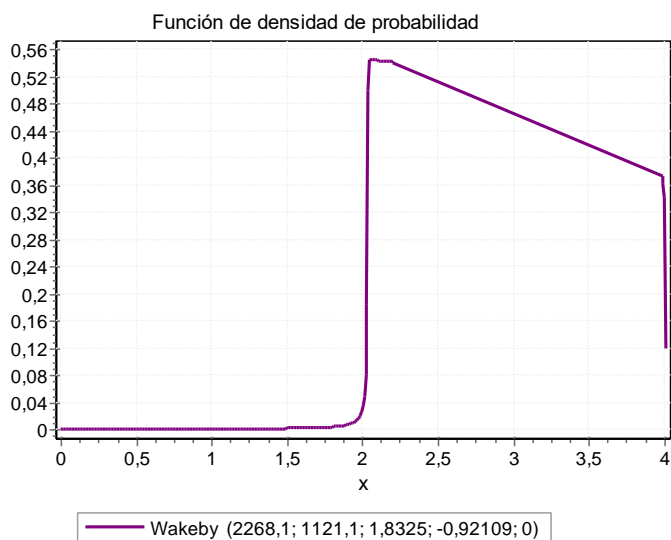
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 57 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 58 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 128 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01546	1	22,897	43	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 129 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2
Rango	2	5%	2,11
Media	2,9752	10%	2,19
Varianza	0,32348	25% (Q1)	24,875
Desviación estándar	0,56876	50% (Mediana)	2,995
Coef. de variación	0,19117	75% (Q3)	3,45
Error estándar	0,018	90%	3,771
Asimetría	0,05308	95%	3,91
Curtosis	-11.456	Max	4

Fuente: Software Easy Fit

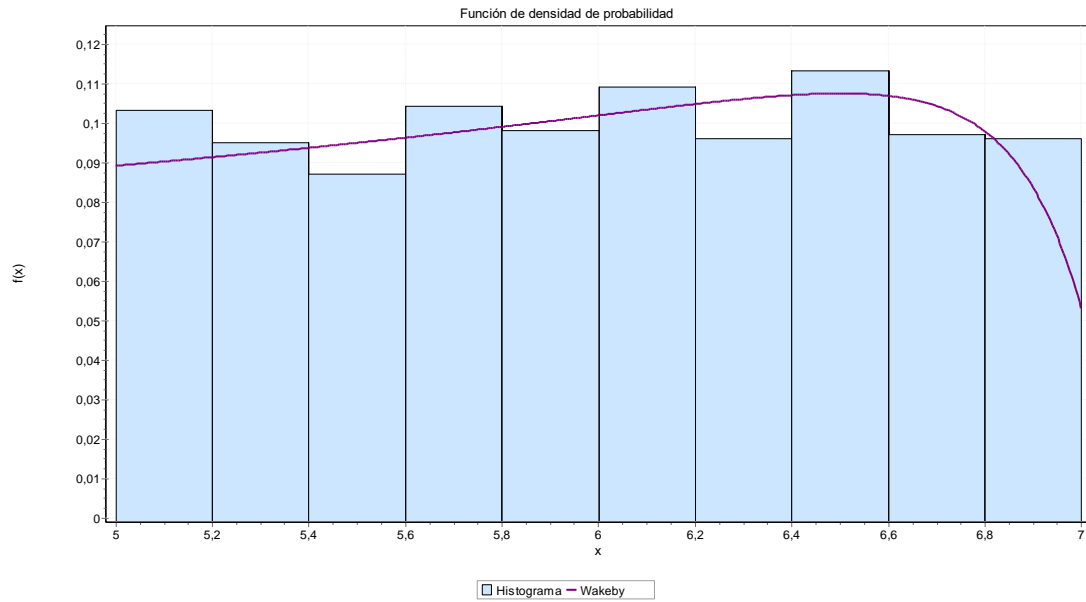
9.2.1.5.2 Base granular

Tabla 130 Resultados de ajuste – Espesor Base granular GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=1,6932 \beta=1,4835 \gamma=0,55751$
	$\delta=-0,58184 \xi=4,9741$

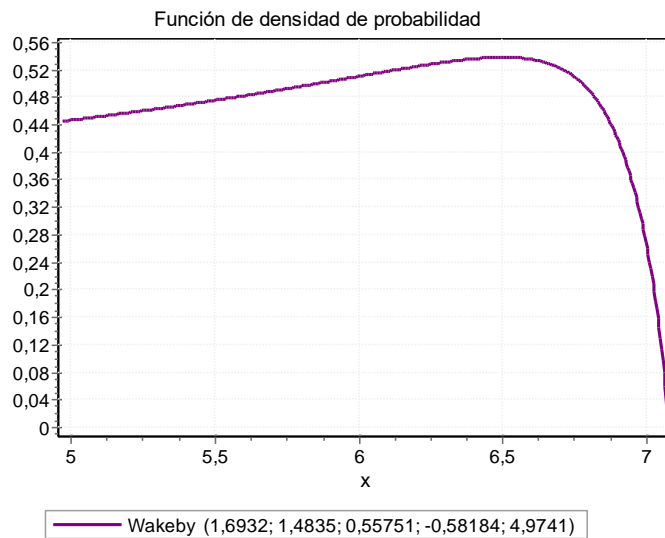
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 59 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 60 Função de densidade de probabilidade Wakeby – Espesor Base granular GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 131 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular GC

Distribución	q					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01348	1	0,44557	1	6,9606	2

Fuente: Software EasyFit

Tabla 132 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	5
Rango	2	5%	5,09
Media	6,0038	10%	5,19
Varianza	0,3311	25% (Q1)	55,375
Desviación estándar	0,57542	50% (Mediana)	6,04
Coef. de variación	0,09577	75% (Q3)	6,5
Error estándar	0,01821	90%	6,8
Asimetría	-0,05522	95%	69,005
Curtosis	-11,558	Max	7

Fuente: Software EasyFit

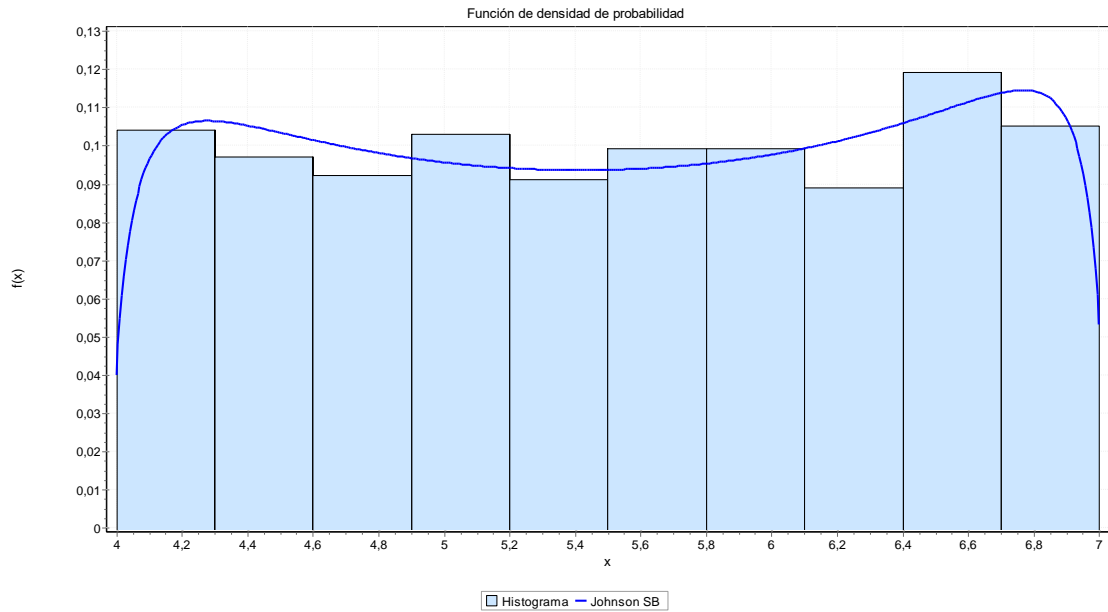
9.2.1.5.3 Subbase granular

Tabla 133 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular GC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=-0,02654$ $\delta=0,59637$
	$\lambda=3,0472$ $\xi=3,9785$

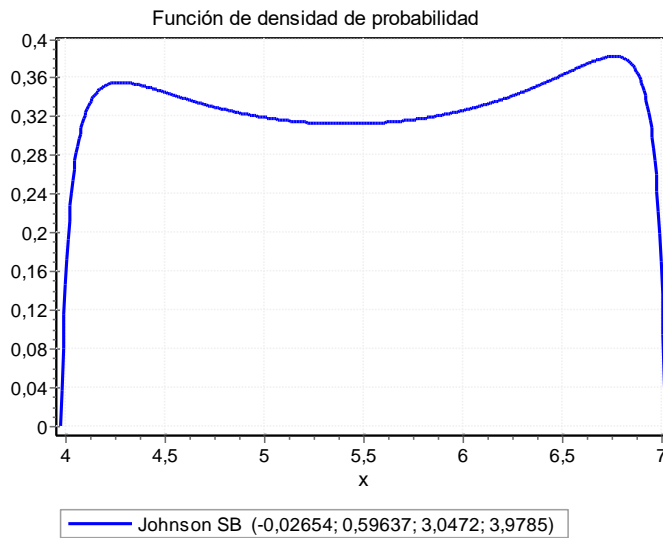
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 61 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular GC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 62 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Subbase granular GC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 134 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular GC

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01309	1	0,19401	1	3,9462	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 135 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular GC

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	4
Rango	3	5%	4,17
Media	5,5248	10%	4,29
Varianza	0,76873	25% (Q1)	4,74
Desviación estándar	0,87677	50% (Mediana)	5,535
Coef. de variación	0,1587	75% (Q3)	6,31
Error estándar	0,02775	90%	6,7
Asimetría	-0,02854	95%	68,605
Curtosis	-12.561	Max	7

Fuente: Software EasyFit

Tabla 136 Espesores de capas – Sección homogénea GC

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.98	7.57	1.41
Base Granular	6.00	15.24	2.09
Subbase Granular	5.52	14.02	2.15

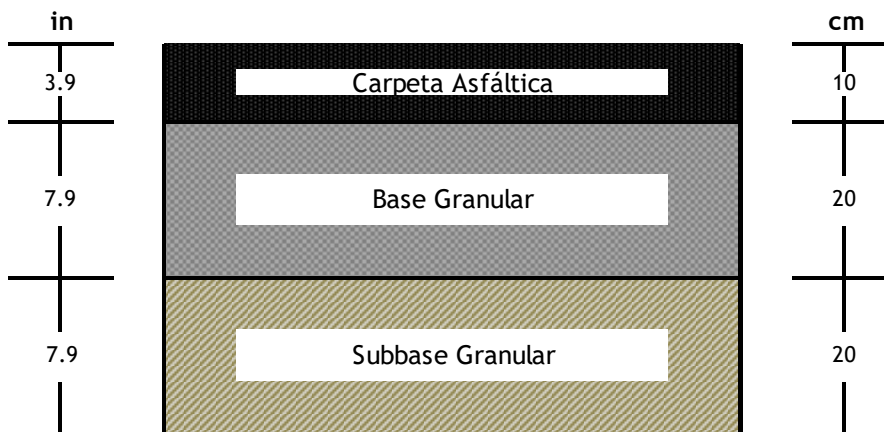
Fuente: Elaboración propia

Tabla 137 Espesores de capas – Sección homogénea GC

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.41
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 63 Espesores de capas – sección homogénea GC



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.6 Sección homogénea SM

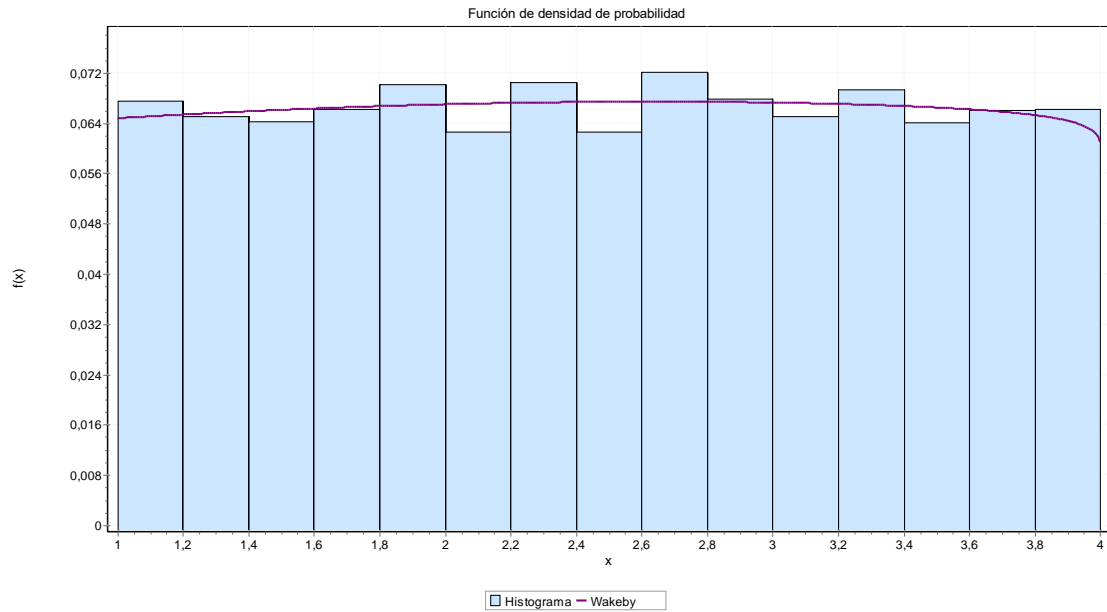
9.2.1.6.1 Carpeta asfáltica

Tabla 138 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=0,1914$ $\beta=3,7095$ $\gamma=2,8983$
	$\delta=-0,97931$ $\xi=0,99764$

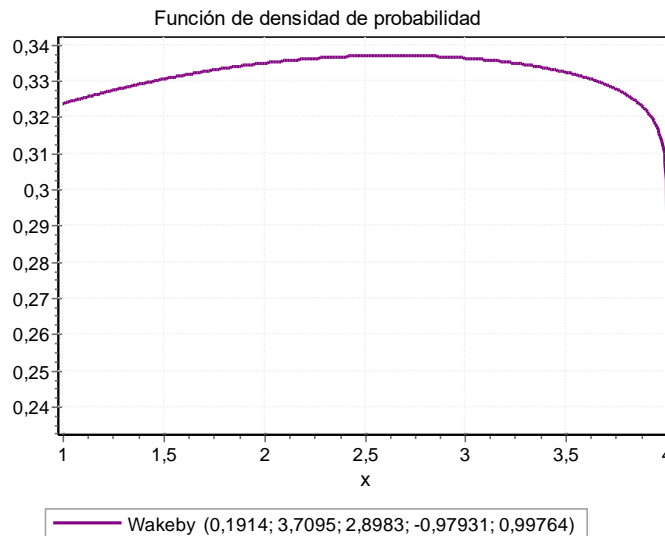
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 64 Histograma FDP Wakeby – Espesor carpeta asfáltica SM



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 65 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor carpeta asfáltica SM



Fuente: Software EasyFit

Tabla 139 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,00488	1	0,78714	1	14,514	3

Fuente: Software EasyFit

Tabla 140 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	1
Rango	3	5%	1,15
Media	2,5026	10%	1,31
Varianza	0,74582	25% (Q1)	1,76
Desviación estándar	0,86361	50% (Mediana)	2,51
Coef. de variación	0,34509	75% (Q3)	3,24
Error estándar	0,00546	90%	3,7
Asimetría	-0,0022	95%	3,85
Curtosis	-1,1887	Max	4

Fuente: Software EasyFit

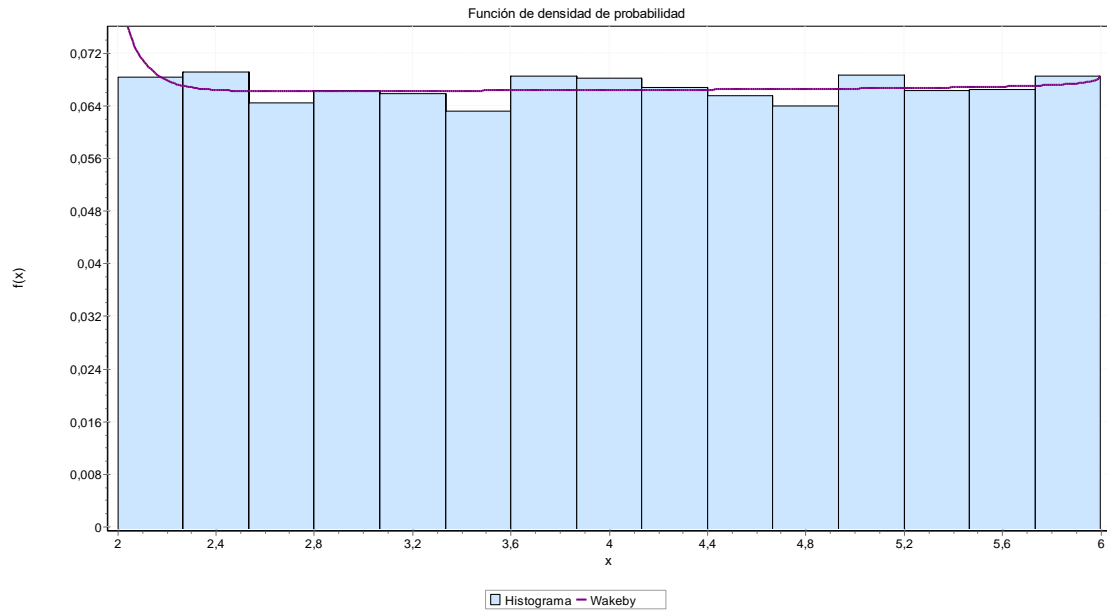
9.2.1.6.2 Base granular

Tabla 141 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=-0,77316$ $\beta=38,64$ $\gamma=4,0362$
	$\delta=-1,005$ $\xi=2,0072$

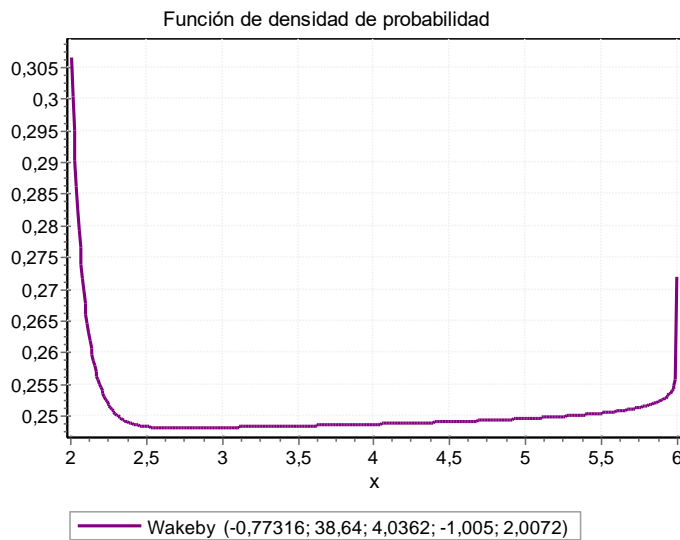
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 66 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular SM



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 67 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Base granular SM



Fuente: Software EasyFit

Tabla 142 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,00433	1	215,31	11	N/A	N/A

Fuente: Software EasyFit

Tabla 143 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2,0001
Rango	3,9996	5%	2,1971
Media	4,0008	10%	2,3912
Varianza	1,3443	25% (Q1)	2,9924
Desviación estándar	1,1594	50% (Mediana)	4,0026
Coef. de variación	0,2898	75% (Q3)	5,0125
Error estándar	0,00733	90%	5,6107
Asimetría	-0,00212	95%	5,805
Curtosis	-1,2039	Max	5,9998

Fuente: Software EasyFit

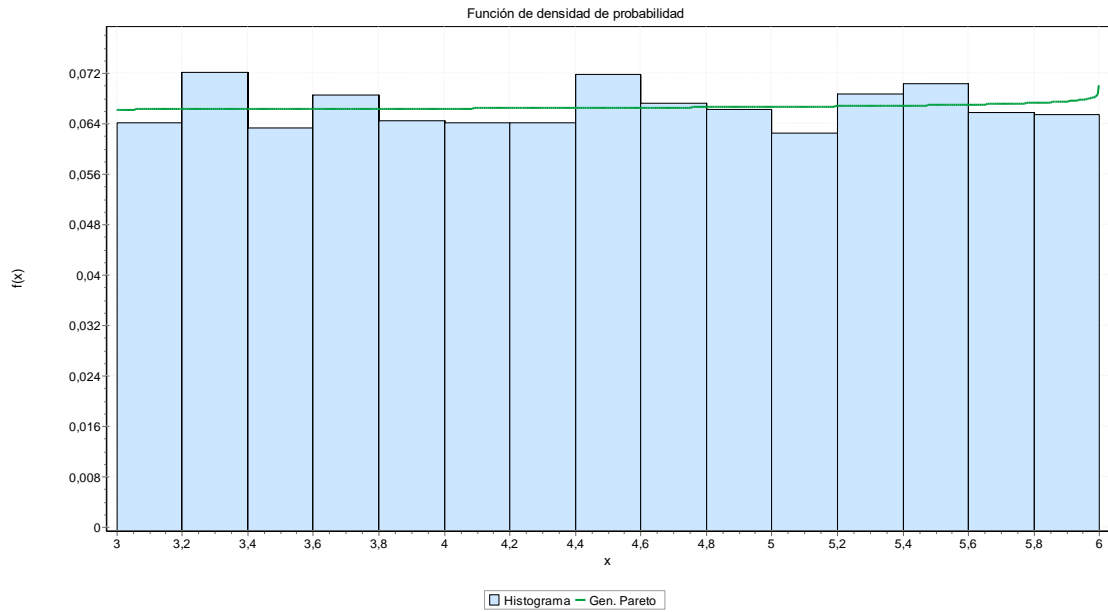
9.2.1.6.3 Subbase granular

Tabla 144 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Gen. Pareto	$k=-1,0057$ $\sigma=3,0201$ $\mu=2,9973$

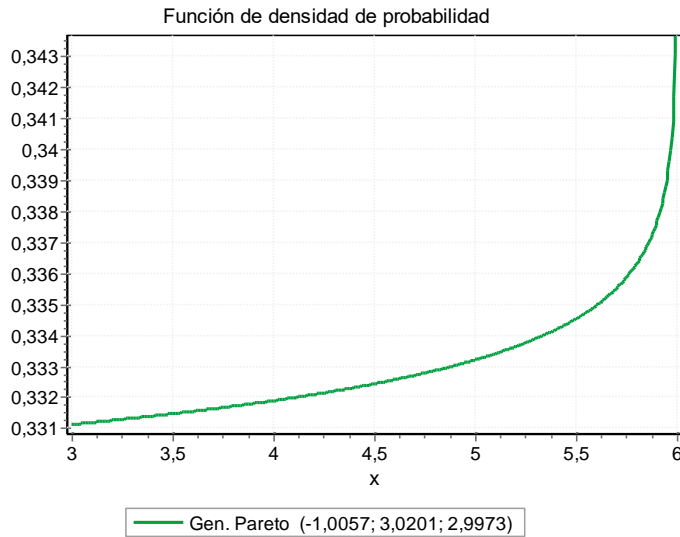
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 68 Histograma FDP Wakeby – Espesor Subbase granular SM



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 69 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Subbase granular SM



Fuente: Software EasyFit

Tabla 145 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Gen. Pareto	0,00471	1	0,71275	1	11,703	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 146 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	3	5%	3,15
Media	4,503	10%	3,3
Varianza	0,75284	25% (Q1)	3,75
Desviación estándar	0,86767	50% (Mediana)	4,51
Coef. de variación	0,19269	75% (Q3)	5,25
Error estándar	0,00549	90%	5,7
Asimetría	-0,00496	95%	5,85
Curtosis	-1,2025	Max	6

Fuente: Software EasyFit

Tabla 147 Espesores de capas Python – Sección homogénea SM

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.50	6.35	1.41
Base Granular	4.00	10.16	2.09
Subbase Granular	4.50	11.43	2.02

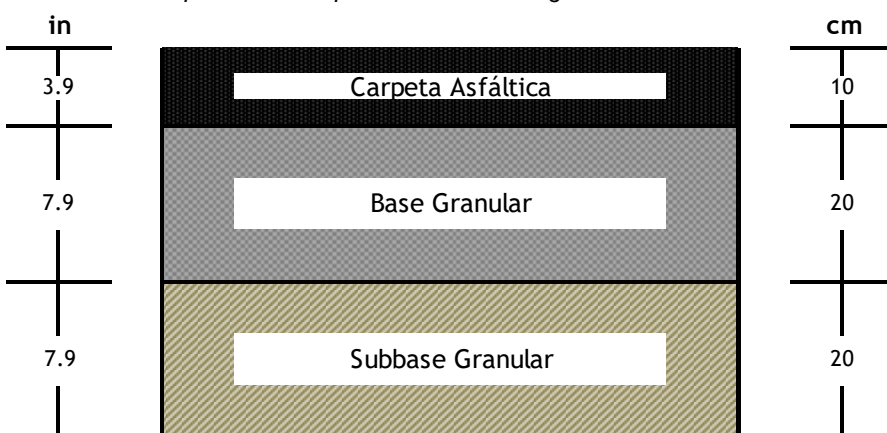
Fuente: Elaboración propia

Tabla 148 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea SM

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 70 Espesores de capas – sección homogénea SM



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.7 Sección homogénea SP-SM

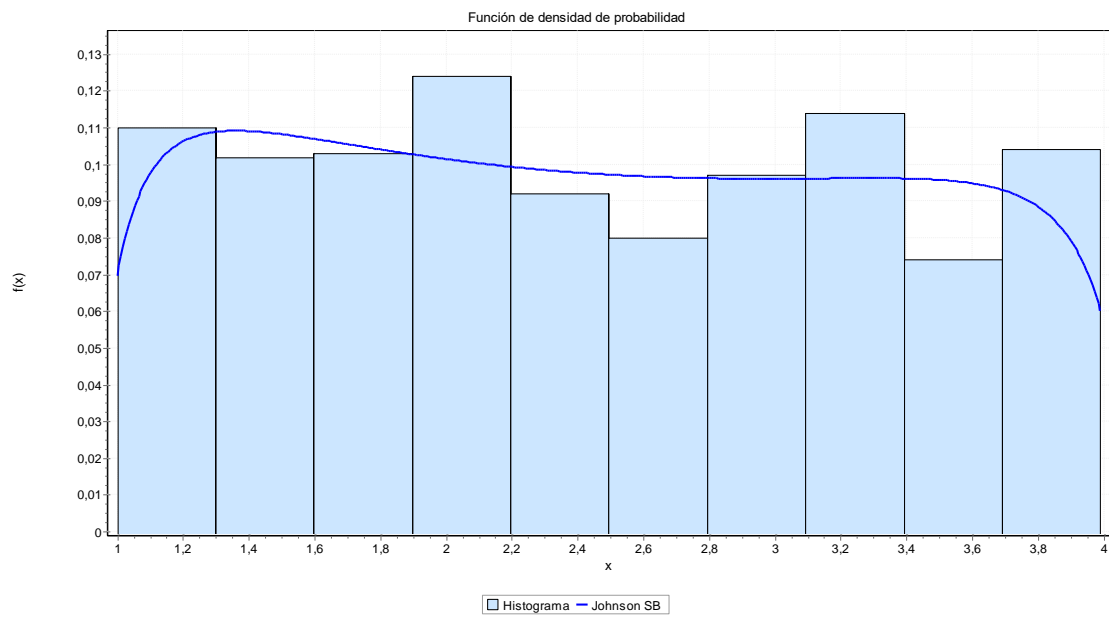
9.2.1.7.1. Carpeta asfáltica

Tabla 149 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=0,06336 \delta=0,64652$
	$\lambda=3,1701 \xi=0,92169$

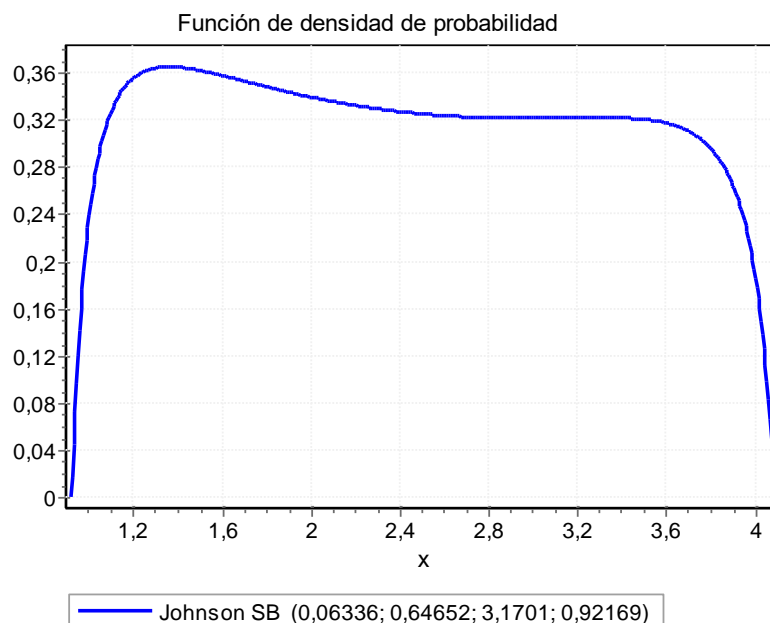
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 71 Histograma FDP Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 72 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Tabla 150 Bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,0177	1	0.57192	3	12.141	3

Fuente: Software Easyfit

Tabla 151 Estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	1
Rango	2,99	5%	1,09
Media	2,4527	10%	1,27
Varianza	0,76113	25% (Q1)	1,72
Desviación estándar	0,87243	50% (Mediana)	2,405
Coef. de variación	0,35571	75% (Q3)	3,2175
Error estándar	0,02759	90%	3,71
Asimetría	0,0648	95%	3,84
Curtosis	-1,1945	Max	3,99

Fuente: Software Easyfit

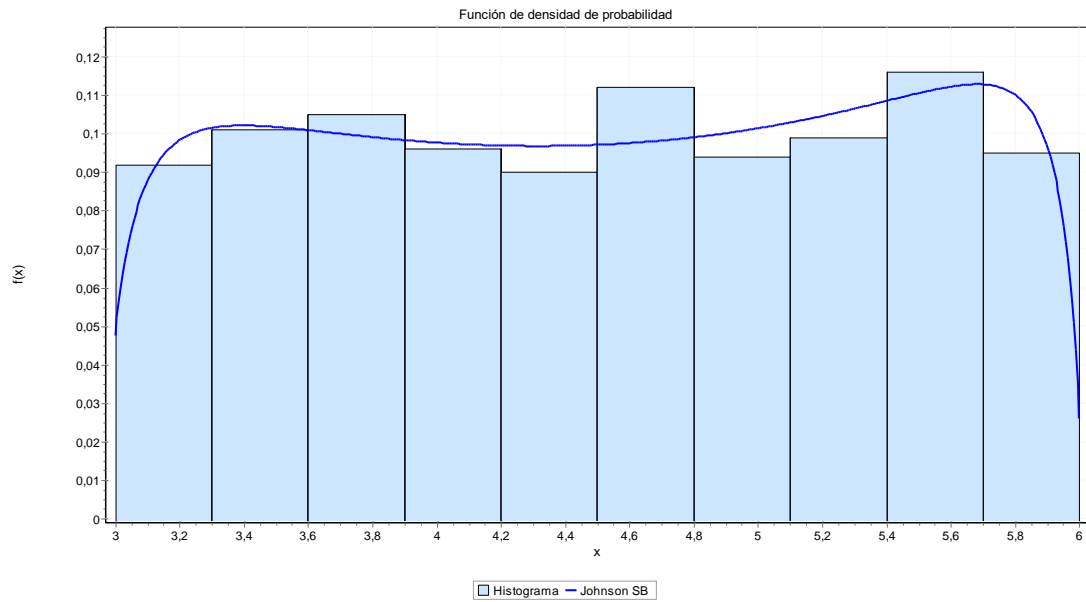
9.2.1.7.2. Base granular

Tabla 152 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SP-SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=-0,04123$ $\delta=0,62005$
	$\lambda=3,057$ $\xi=2,9585$

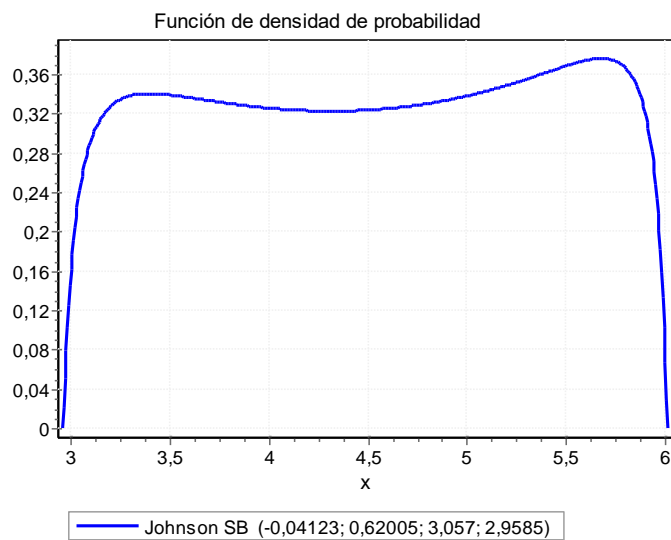
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 73 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 74 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Tabla 153 Bondad de ajuste – Espesor Base granular SP-SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0.01253	1	0.14279	1	40.815	1

Fuente: Software Easyfit

Tabla 154 Estadística descriptiva – Espesor Base granular SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	3	5%	3,16
Media	4,5217	10%	3,331
Varianza	0,74179	25% (Q1)	3,79
Desviación estándar	0,86127	50% (Mediana)	4,55
Coef. de variación	0,19048	75% (Q3)	5,31
Error estándar	0,02724	90%	5,689
Asimetría	-0,0433	95%	5,83
Curtosis	-1,2275	Max	6

Fuente: Software Easyfit

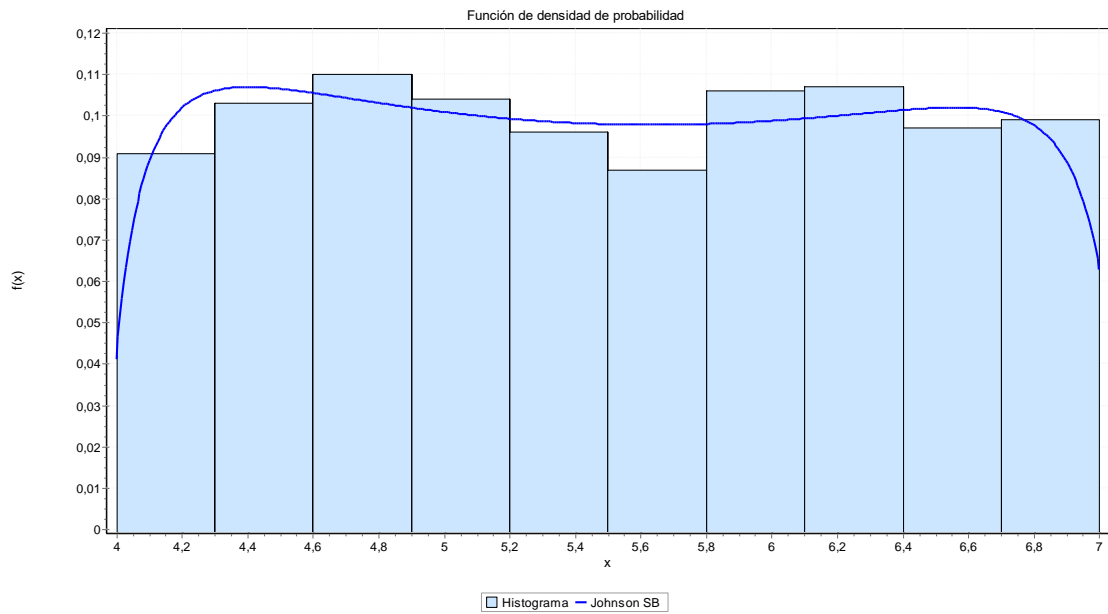
9.2.1.7.3. Subbase granular

Tabla 155 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=0,02171 \delta=0,63655$
	$\lambda=3,1135 \xi=3,9642$

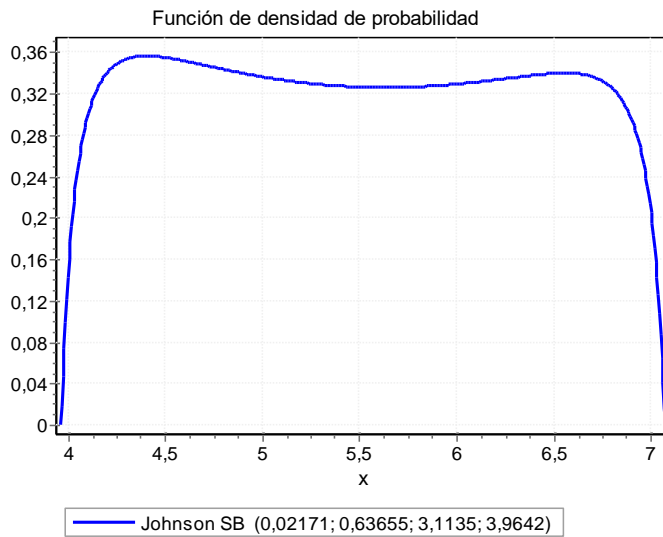
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 75 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 76 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Subbase granular SP-SM



Fuente: Software Easyfit

Tabla 156 Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,0214	1	0,35594	2	5,2395	1

Fuente: Software Easyfit

Tabla 157 Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	4
Rango	3	5%	4,17
Media	5,5026	10%	4,33
Varianza	0,748	25% (Q1)	4,77
Desviación estándar	0,86487	50% (Mediana)	5,48
Coef. de variación	0,15717	75% (Q3)	6,25
Error estándar	0,02735	90%	6,69
Asimetría	0,02242	95%	6,86
Curtosis	-1,2105	Max	7

Fuente: Software Easyfit

Tabla 158 Espesores de capas – Sección homogénea SP-SM

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.45	6.22	1.41
Base Granular	4.52	11.48	2.09
Subbase Granular	5.50	13.97	2.06

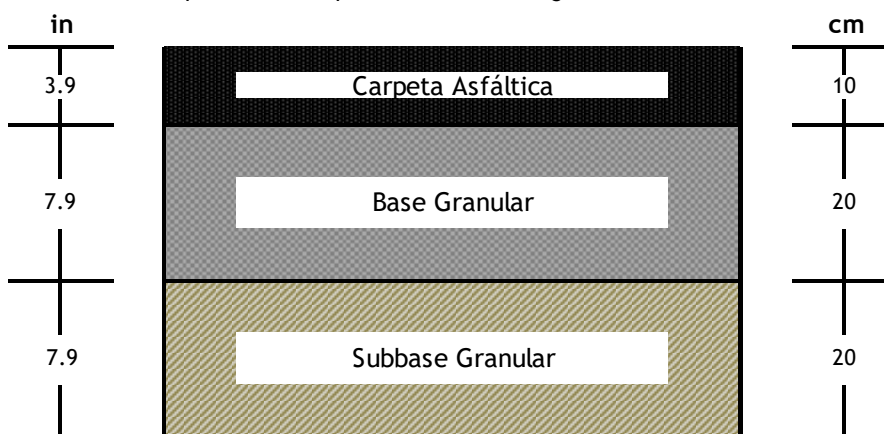
Fuente: Elaboración propia

Tabla 159 Espesores de capas – Sección homogénea SP-SM

Capa	Espesor Diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 77 Espesores de capas – sección homogénea SP-SM



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.8 Sección homogénea ML

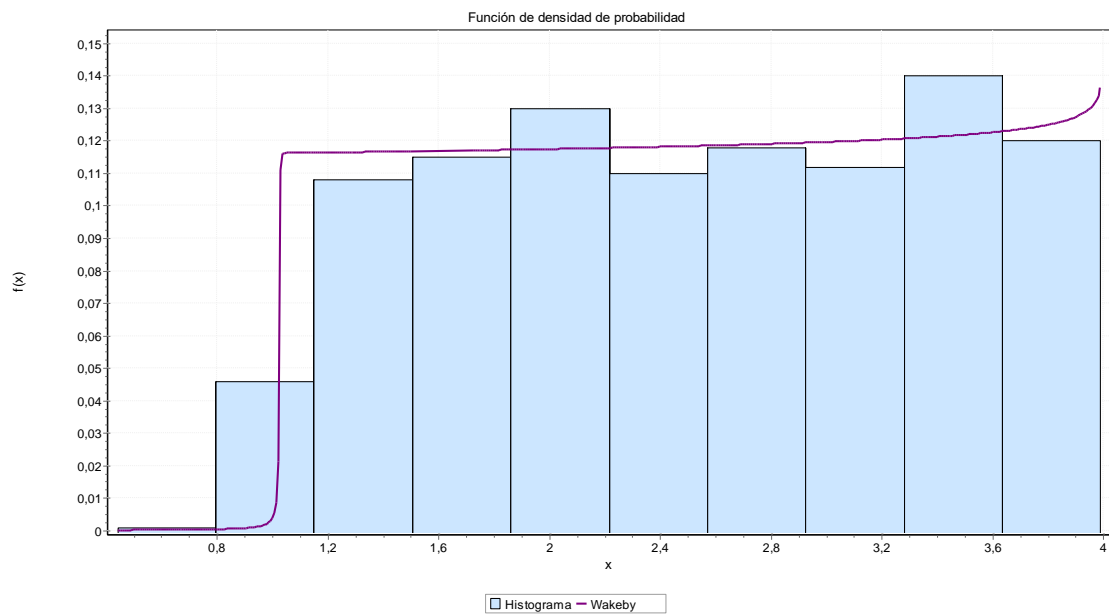
9.2.1.8.1. Carpeta asfáltica

Tabla 160 Resultados de ajuste – Espesor carpeta asfáltica ML

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=3917,1$ $\beta=3835,7$ $\gamma=3,0574$
	$\delta=-1,0274$ $\xi=0$

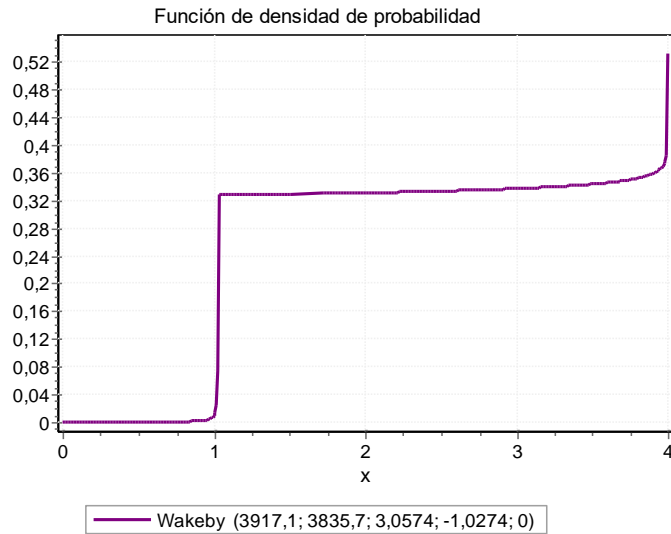
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 78 Histograma FDP Wakeby – Espesor Base granular ML



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 79 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica ML



Fuente: Software Easyfit

Tabla 161 Bondad de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica ML

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01893	1	158,12	53	N/A	N/A

Fuente: Software Easyfit

Tabla 162 Estadística descriptiva – Espesor Carpeta asfáltica ML

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	0,44
Rango	3,55	5%	1,1605
Media	2,529	10%	1,34
Varianza	0,74534	25% (Q1)	1,79
Desviación estándar	0,86333	50% (Mediana)	2,535
Coef. de variación	0,34137	75% (Q3)	3,32
Error estándar	0,0273	90%	3,7
Asimetría	-0,0278	95%	3,8595
Curtosis	-1,1933	Max	3,99

Fuente: Software Easyfit

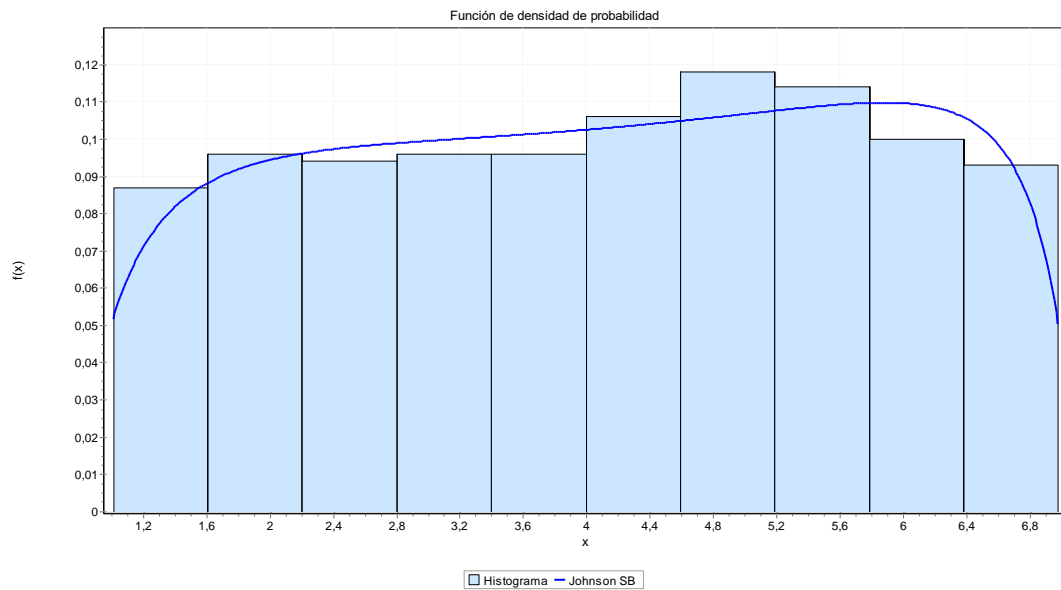
9.2.1.8.2. Base granular

Tabla 163 Resultados de ajuste – Espesor Base granular ML

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=-0,07759$ $\delta=0,68405$
	$\lambda=6,3544$ $\xi=0,76595$

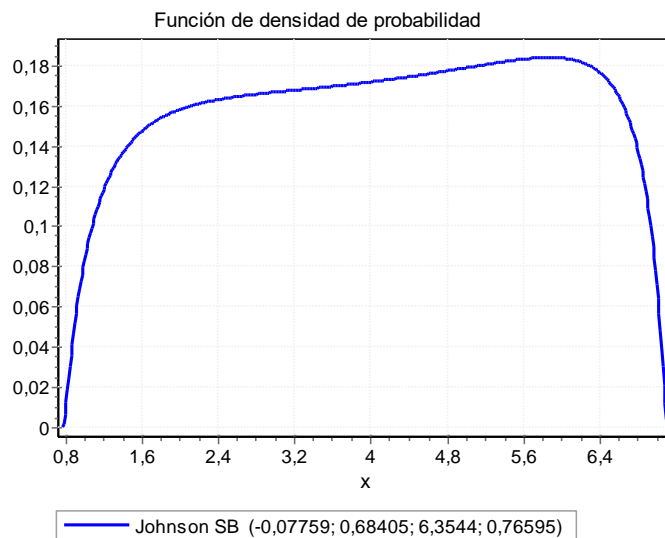
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 80 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular ML



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 81 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular ML



Fuente: Software Easyfit

Tabla 164 Bondad de ajuste – Espesor Base granular ML

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01503	1	0,53883	1	4,0795	1

Fuente: Software Easyfit

Tabla 165 Estadística descriptiva – Espesor Base granular ML

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	1,01
Rango	5,97	5%	1,341
Media	4,072	10%	1,682
Varianza	2,8659	25% (Q1)	2,5825
Desviación estándar	1,6929	50% (Mediana)	4,17
Coef. de variación	0,41574	75% (Q3)	5,4775
Error estándar	0,05353	90%	6,34
Asimetría	-0,07639	95%	6,7095
Curtosis	-1,151	Max	6,98

Fuente: Software Easyfit

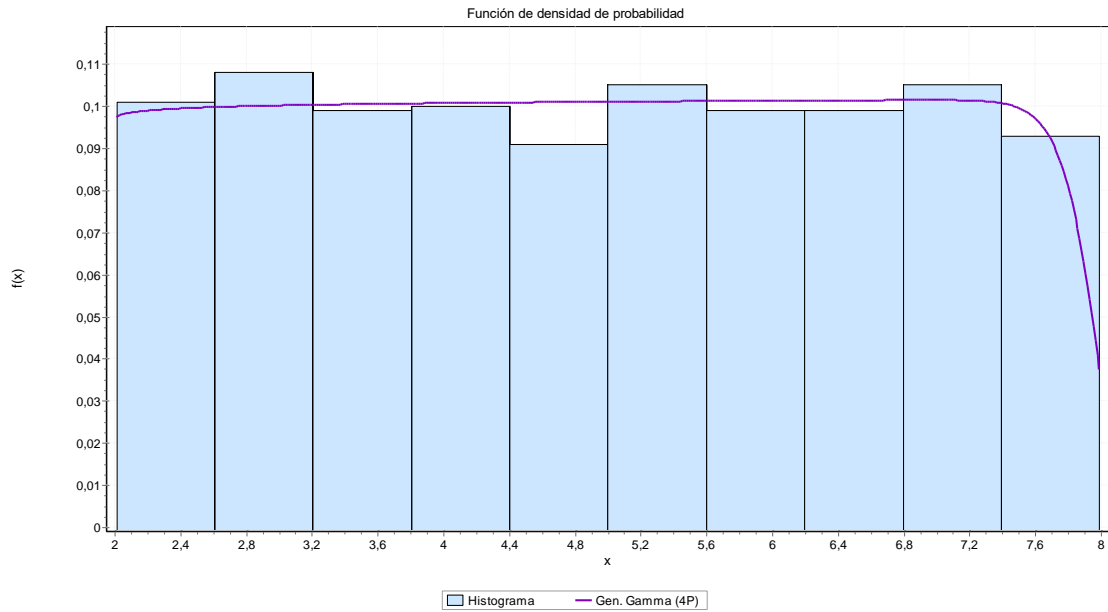
9.2.1.8.3. Subbase granular

Tabla 166 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular ML

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Gen. Gamma (4P)	$\kappa=46,117 \alpha=0,02186$
	$\beta=6,0104 \gamma=1,9798$

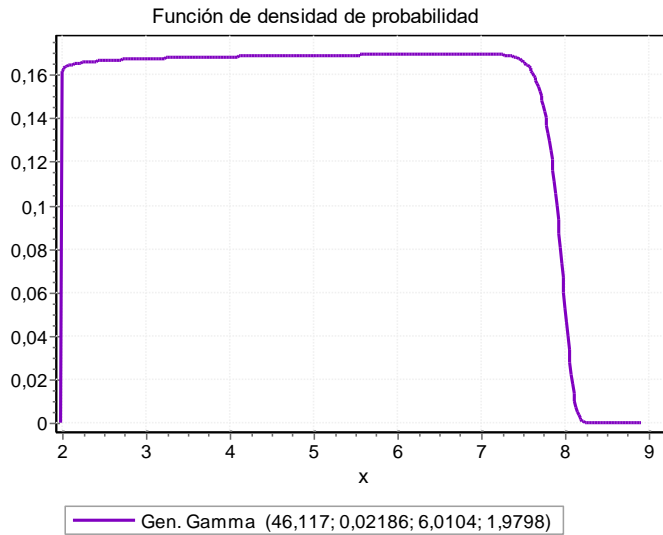
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 82 Histograma FDP Gen. Gamma (4P) – Espesor Subbase granular ML



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 83 Función de densidad de probabilidad Gen. Gamma (4P) – Espesor Subbase granular ML



Fuente: Software Easyfit

Tabla 167 Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular ML

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Gen. Gamma (4P)	0,01226	1	0,20701	3	2,9872	4

Fuente: Software Easyfit

Tabla 168 Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular ML

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2,01
Rango	5,98	5%	2,32
Media	4,9698	10%	2,591
Varianza	2,969	25% (Q1)	3,47
Desviación estándar	1,7231	50% (Mediana)	5,01
Coef. de variación	0,34671	75% (Q3)	6,48
Error estándar	0,05449	90%	7,35
Asimetría	0,0048	95%	7,67
Curtosis	-1,2118	Max	7,99

Fuente: Software Easyfit

Tabla 169 Espesores de capas Python – Sección homogénea ML

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	2.53	6.43	1.41
Base Granular	2.87	7.29	2,09
Subbase Granular	4.97	12.62	2.46

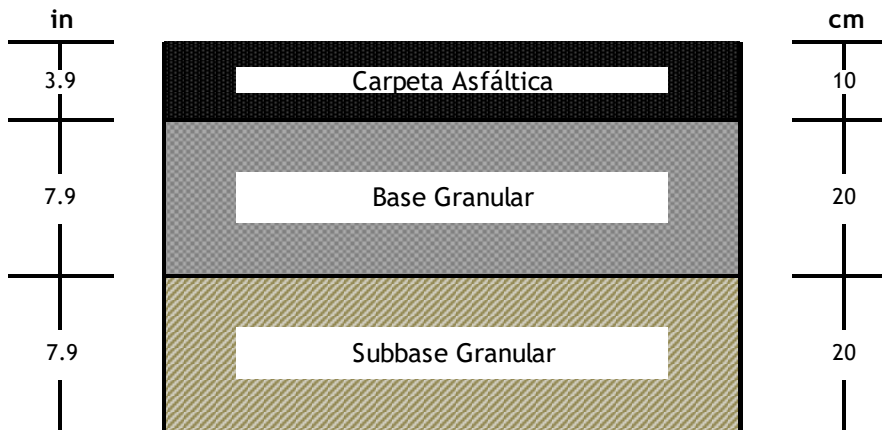
Fuente: Elaboración propia

Tabla 170 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea ML

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 84 Espesores de capas – sección homogénea ML



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.9 Sección homogénea SP

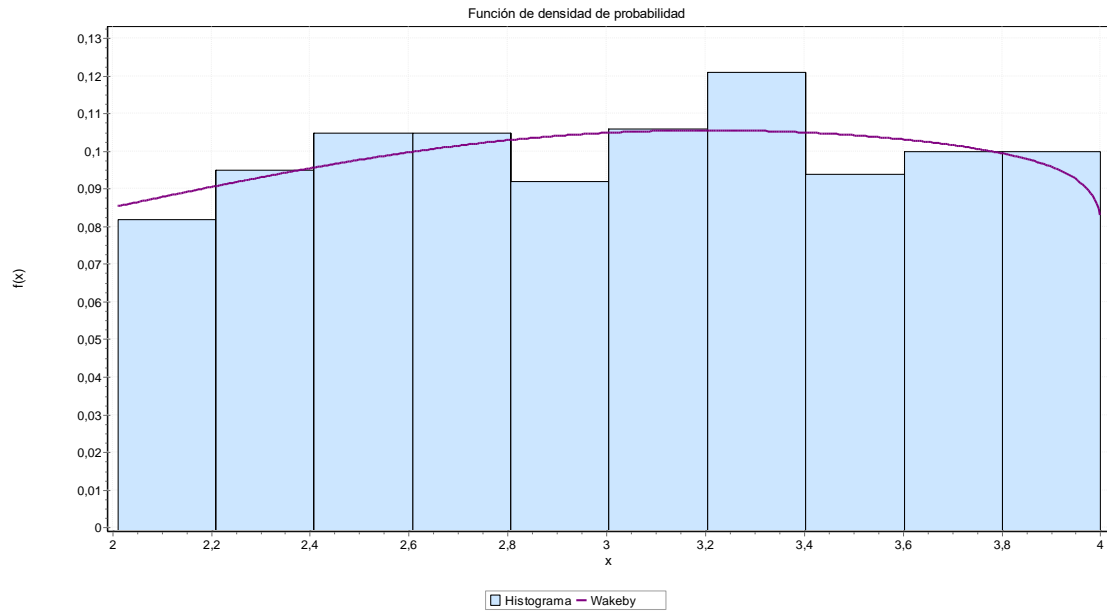
9.2.1.9.1. Carpeta asfáltica

Tabla 171 Resultados de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SP

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Wakeby	$\alpha=0,56572$ $\beta=4,2562$ $\gamma=1,769$
	$\delta=-0,94679$ $\xi=2,0069$

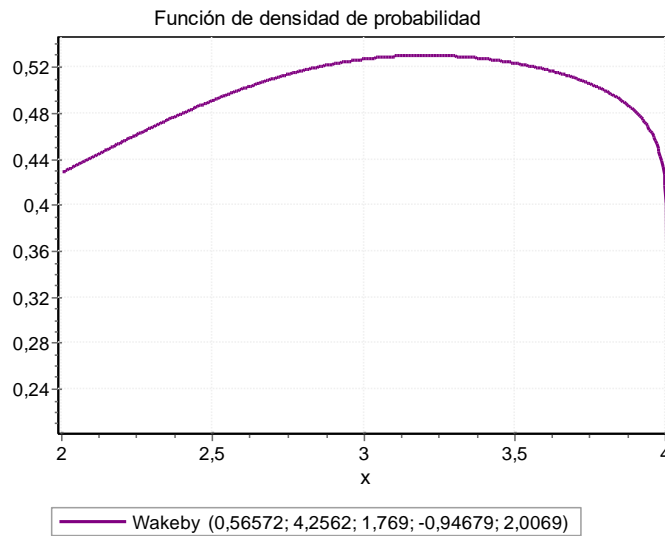
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 85 Histograma FDP Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica SP



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 86 Función de densidad de probabilidad Wakeby – Espesor Carpeta asfáltica SP



Fuente: Software Easyfit

Tabla 172 Bondad de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SP

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Wakeby	0,01563	1	0,29425	1	6,7985	3

Fuente: Software Easyfit

Tabla 173 Estadística descriptiva – Espesor Carpeta asfáltica SP

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	2,01
Rango	1,99	5%	2,1305
Media	3,0232	10%	2,231
Varianza	0,31786	25% (Q1)	2,55
Desviación estándar	0,56379	50% (Mediana)	3,04
Coef. de variación	0,18649	75% (Q3)	3,4975
Error estándar	0,01783	90%	3,809
Asimetría	-0,03876	95%	3,91
Curtosis	-1,1528	Max	4

Fuente: Software Easyfit

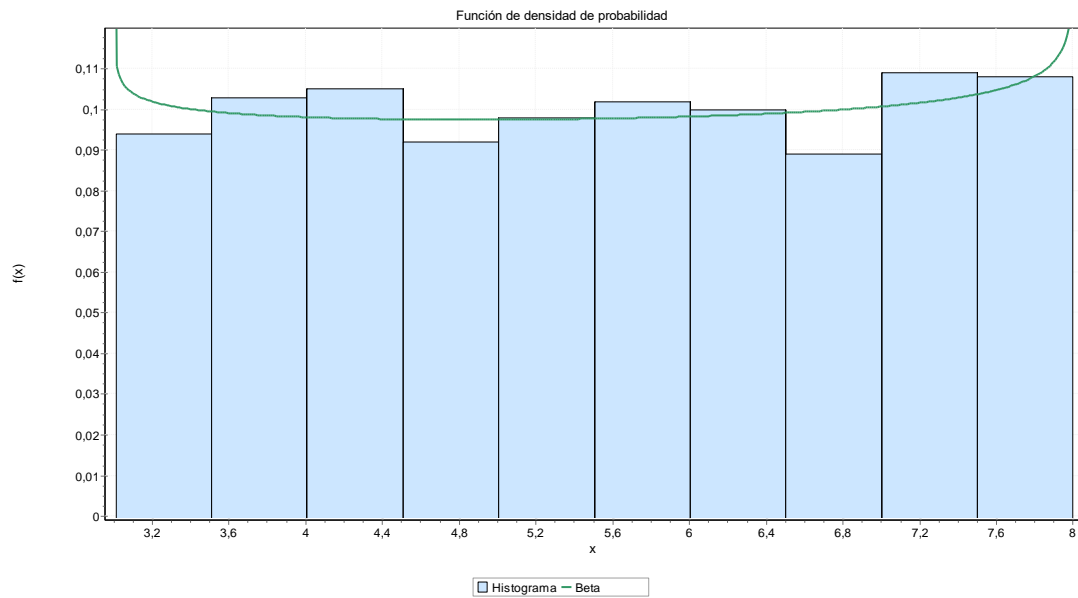
9.2.1.9.2. Base granular

Tabla 174 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SP

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Beta	$\alpha_1=0,97142$ $\alpha_2=0,95256$
	$a=3,01$ $b=8,0$

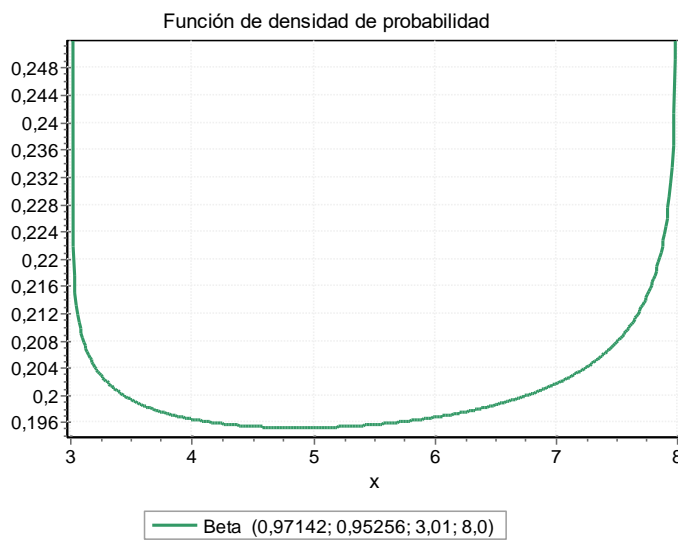
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 87 Histograma FDP Beta – Espesor Base granular SP



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 88 Función de densidad de probabilidad Beta – Espesor Base granular SP



Fuente: Software Easyfit

Tabla 175 Bondad de ajuste – Espesor Base granular SP

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Beta	0,01195	1	0,28381	3	2,9201	4

Fuente: Software Easyfit

Tabla 176 Estadística descriptiva – Espesor Base granular SP

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3,01
Rango	4,99	5%	3,2305
Media	5,5295	10%	3,521
Varianza	2,1288	25% (Q1)	4,245
Desviación estándar	1,459	50% (Mediana)	5,53
Coef. de variación	0,26387	75% (Q3)	6,86
Error estándar	0,04614	90%	7,54
Asimetría	-0,00663	95%	7,76
Curtosis	-1,2188	Max	8

Fuente: Software Easyfit

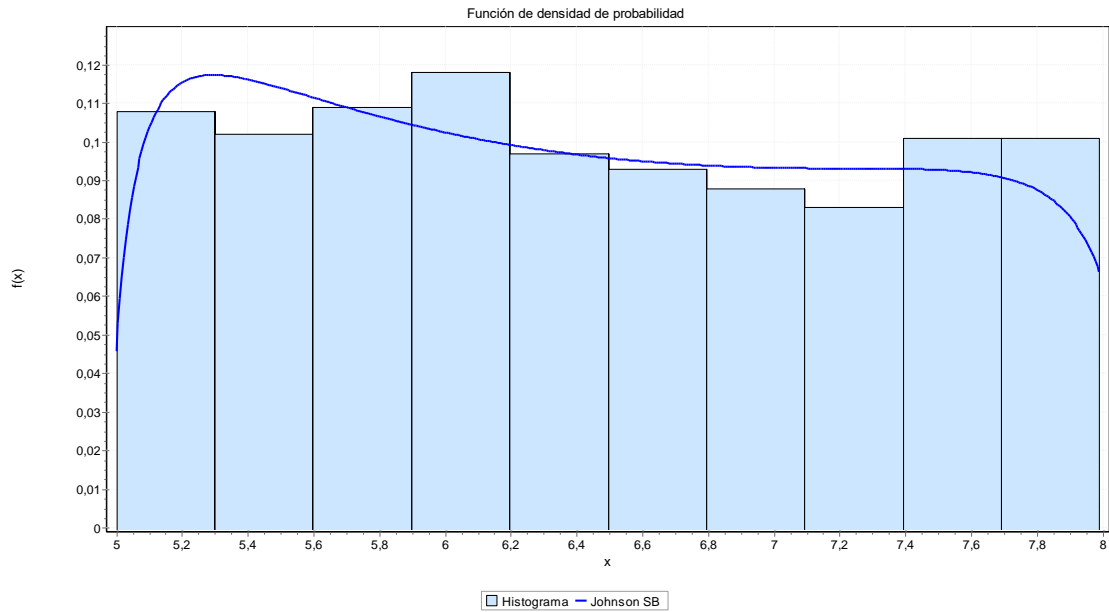
9.2.1.9.3. Subbase granular

Tabla 177 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SP

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=0,10495$ $\delta=0,63084$
	$\lambda=3,1393$ $\xi=4,9711$

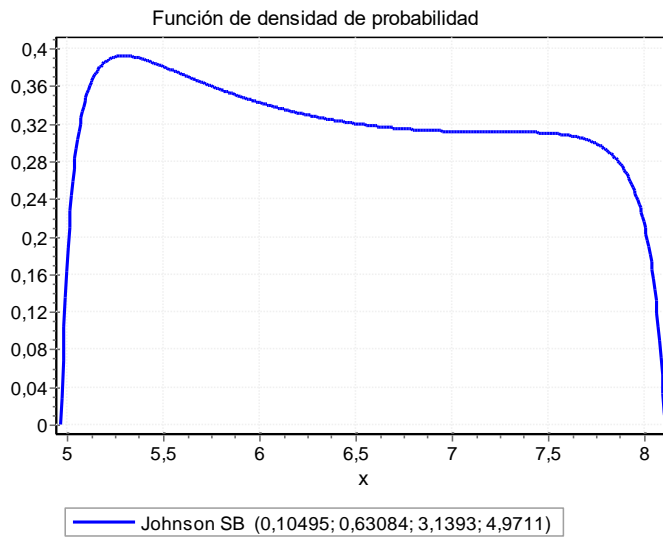
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 89 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Subbase granular SP



Fuente: Software Easyfit

Ilustración 90 Función de densidad de probabilidad Johnson SP – Espesor Subbase granular SP



Fuente: Software Easyfit

Tabla 178 Bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01924	1	0,72784	1	6,6202	1

Fuente: Software Easyfit

Tabla 179 Estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	5
Rango	2,99	5%	5,13
Media	5,451	10%	5,261
Varianza	0,76478	25% (Q1)	5,71
Desviación estándar	0,87452	50% (Mediana)	6,38
Coef. de variación	0,13556	75% (Q3)	7,1975
Error estándar	0,02765	90%	7,7
Asimetría	0,1091	95%	7,8495
Curtosis	-1,2024	Max	7,99

Fuente: Software Easyfit

Tabla 180 Espesores de capas Python – Sección homogénea SP

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	3.02	7.67	1.41
Base Granular	5.53	14.05	2.09
Subbase Granular	5.45	13.84	1.99

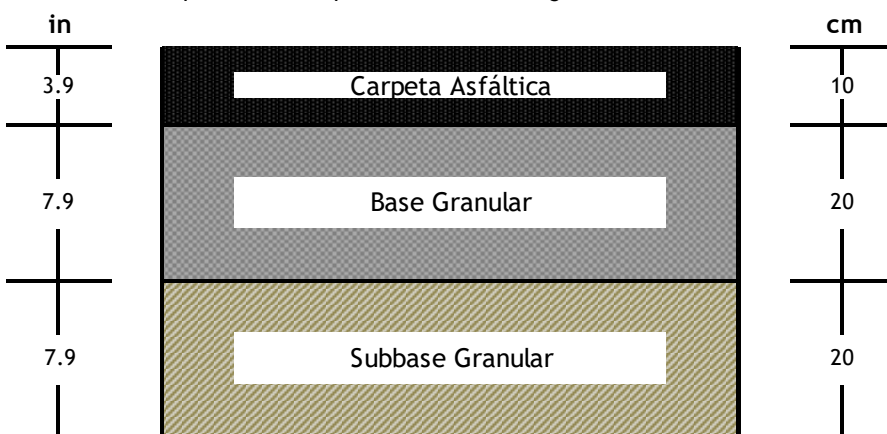
Fuente: Elaboración propia

Tabla 181 Espesores de capas optimizado– Sección homogénea SP

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	4.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 91 Espesores de capas – sección homogénea SP



Fuente: Elaboración propia

9.2.1.10 Sección homogénea SM-SC

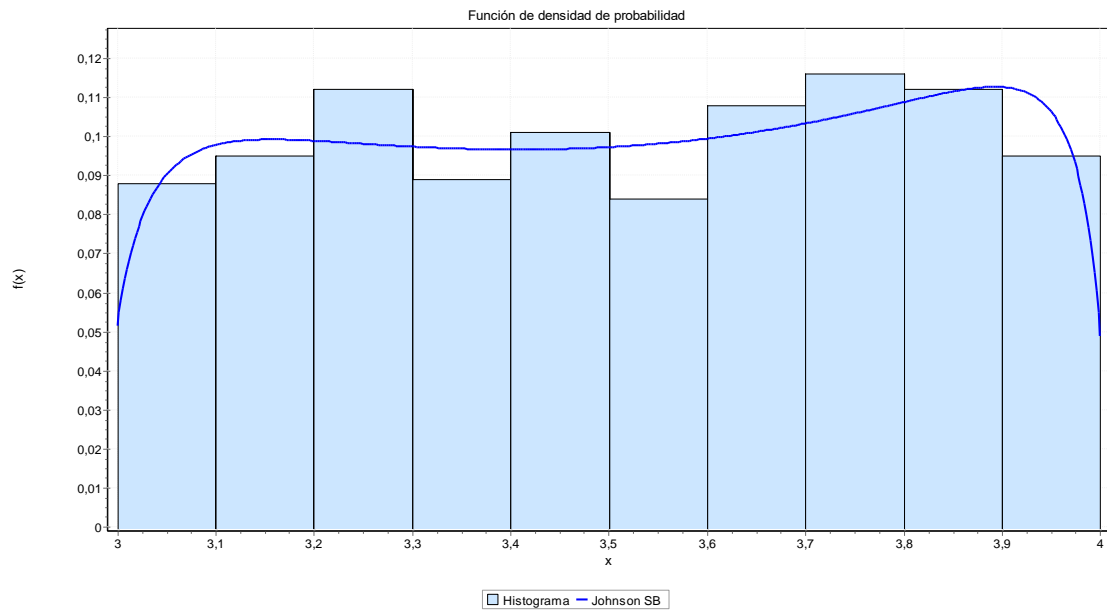
9.2.1.10.1. Carpeta asfáltica

Tabla 182 Resultados de ajuste – Espesor Carpeta asfáltica SM-SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=-0,05545$ $\delta=0,62823$
	$\lambda=1,0304$ $\xi=2,9811$

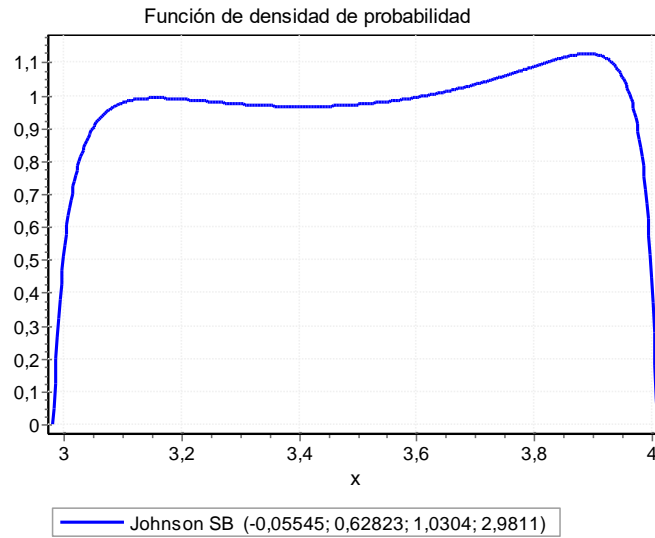
Fuente: Software Easyfit

Ilustración 92 Histograma FDP Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 93 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor carpeta asfáltica SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 183 Resultados de bondad de ajuste – Espesor carpeta asfáltica SP-SM

Distribución	Resumen Bondad de ajuste					
	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01496	1	0,26827	1	3,2603	2

Fuente: Software EasyFit

Tabla 184 Resultados estadística descriptiva – Espesor carpeta asfáltica SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3
Rango	1	5%	3,06
Media	3,412	10%	3,11
Varianza	0,08304	25% (Q1)	3,26
Desviación estándar	0,28816	50% (Mediana)	3,51
Coef. de variación	0,08205	75% (Q3)	3,77
Error estándar	0,00911	90%	3,9
Asimetría	-0,05777	95%	3,95
Curtosis	-1,2163	Max	4

Fuente: Software EasyFit

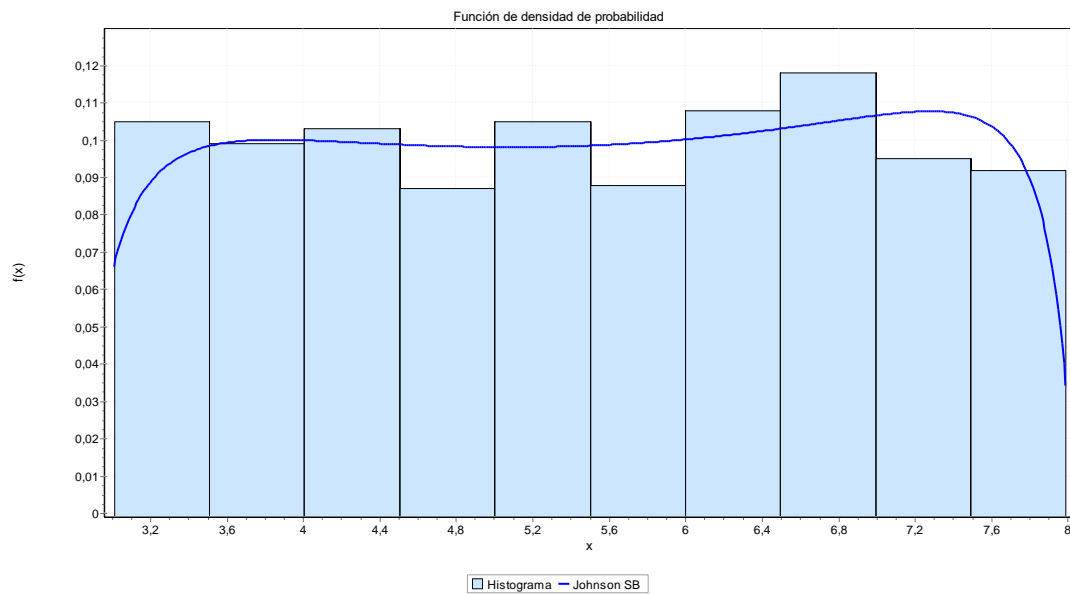
9.2.1.10.2. Base granular

Tabla 185 Resultados de ajuste – Espesor Base granular SM-SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Johnson SB	$\gamma=-0,03566$ $\delta=0,64344$
	$\lambda=5,1971$ $\xi=2,844$

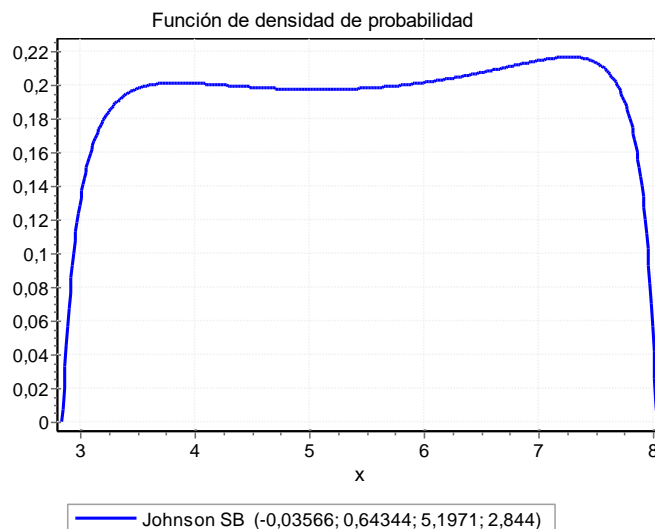
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 94 Histograma FDP Johnson SB – Espesor Base granular SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 95 Función de densidad de probabilidad Johnson SB – Espesor Base granular SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 186 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Base granular SP-SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Johnson SB	0,01363	1	0,30531	2	5,11	1

Fuente: Software EasyFit

Tabla 187 Resultados estadística descriptiva – Espesor Base granular SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	3,01
Rango	4,98	5%	3,2305
Media	5,4926	10%	3,49
Varianza	2,0588	25% (Q1)	4,25
Desviación estándar	1,4349	50% (Mediana)	5,53
Coef. de variación	0,26124	75% (Q3)	6,74
Error estándar	0,04537	90%	7,44
Asimetría	-0,03658	95%	7,7095
Curtosis	-1,2017	Max	7,99

Fuente: Software EasyFit

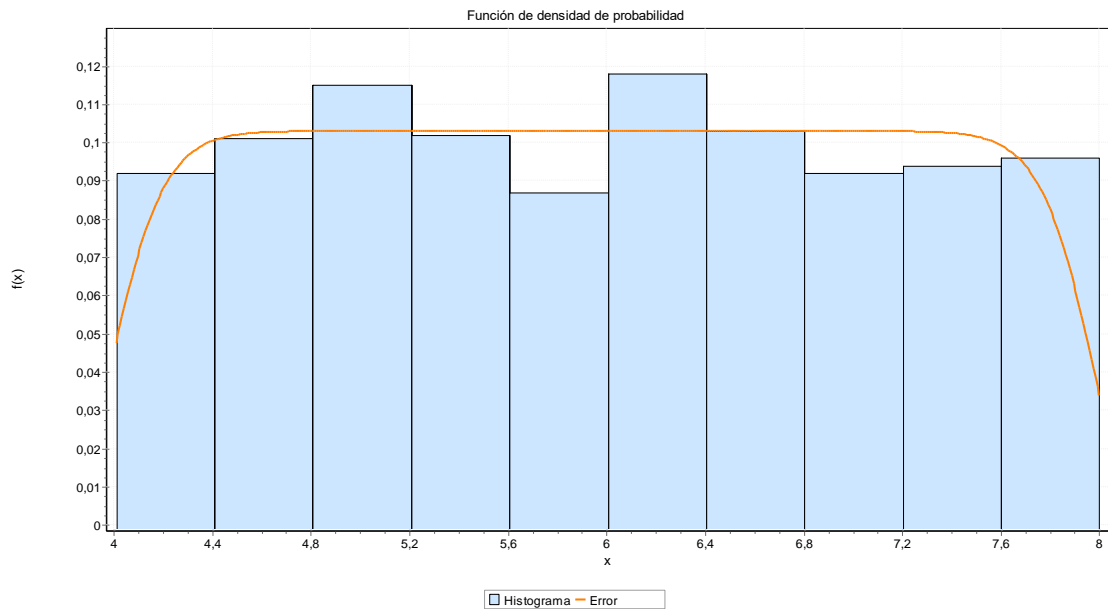
9.2.1.10.3. Subbase granular

Tabla 188 Resultados de ajuste – Espesor Subbase granular SM-SC

Resultados de ajuste	
Distribución	Parámetros
Error	$\kappa=15,49$ $\sigma=1,1291$ $\mu=5,9815$

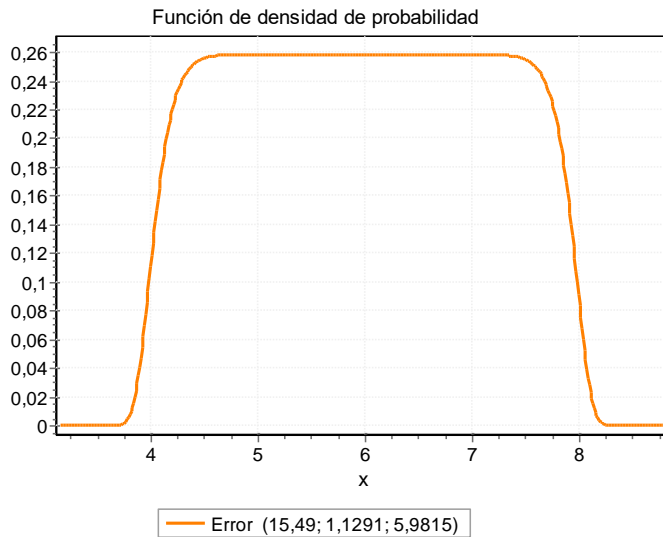
Fuente: Software EasyFit

Ilustración 96 Histograma FDP Error – Espesor Subbase granular SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Ilustración 97 Función de densidad de probabilidad Error – Espesor Subbase granular SM-SC



Fuente: Software EasyFit

Tabla 189 Resultados de bondad de ajuste – Espesor Subbase granular SP-SM

Resumen Bondad de ajuste						
Distribución	Kolmogorov - Smirnov		Anderson - Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Error	0,01581	1	0,49488	3	10,556	4

Fuente: Software EasyFit

Tabla 190 Resultados estadística descriptiva – Espesor Subbase granular SP-SM

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	25000	Min	4,01
Rango	3,99	5%	4,25
Media	5,9815	10%	4,451
Varianza	1,275	25% (Q1)	5,0125
Desviación estándar	1,1291	50% (Mediana)	6,02
Coef. de variación	0,18877	75% (Q3)	6,91
Error estándar	0,03571	90%	7,579
Asimetría	0,04581	95%	7,78
Curtosis	-1,1611	Max	8

Fuente: Software EasyFit

Tabla 191 Espesores de capas Python – Sección homogénea SM-SC

Capa	Espesor calculado (in)	Espesor calculado (cm)	SN calculado
Carpeta Asfáltica	3.41	8.66	1.41
Base Granular	5.49	13.94	2.09
Subbase Granular	5.98	15.19	2.10

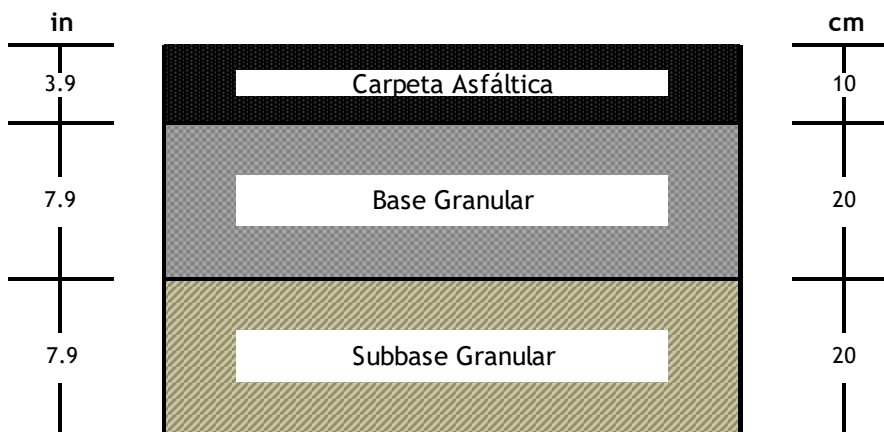
Fuente: Elaboración propia

Tabla 192 Espesores de capas optimizados – Sección homogénea SM-SC

Capa	Espesor diseño (in)	Espesor optimizado (in)	Espesor optimizado (cm)	SN optimizado
Carpeta Asfáltica	3.50	3.94	10	1.73
Base Granular	6.00	7.87	20	0.99
Subbase Granular	6.00	7.87	20	0.78
TOTAL				3.50

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 98 Espesores de capas – sección homogénea SM-SC



Fuente: Elaboración propia

9.2.2. Espesores de diseño consolidados

Tabla 193 Espesores de diseño consolidados

Sección homogénea	Espesor capa asfáltica (cm)	Espesor base (cm)	Espesor subbase (cm)
CH	10	20	20
CL	10	20	20
SM-SC GM-GC	10	20	20
SC	10	20	20
GC	10	20	20
SM	10	20	20
GM-GC	10	20	20
SP-SM	10	20	20
ML	10	20	20
SP	10	20	20

Fuente: Elaboración propia

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1. Comparación Diseño Consorcio Vs. Diseño propio

10.1.1. Variables de diseño

Tabla 194 Variables Diseño Consorcio Vs. Diseño propio

Variables	Diseño Consorcio	Diseño propio
ESAL	2.826.516	2.826.516
Confiabilidad	90%	90%
Zr	1.282	1.282
So	0.45 (estructura nueva)	0.45 (estructura nueva)
Po	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)
Pf	2.2 (Índice de serviciabilidad final)	2.2 (Índice de serviciabilidad final)
Δ IPS	2.0 (Índice de serviciabilidad)	2.0 (Índice de serviciabilidad)

Fuente: Elaboración propia

10.1.2. Módulo Resiliente de la subrasante

Tabla 195 Modulo Resiliente de la subrasante Diseño Consorcio Vs. Diseño propio

Diseño Consorcio		Diseño propio	
Sección homogénea	MR (psi)	Sección homogénea	MR (psi)
1	1479.22	CH	38089
2	6116.02	CL	35941
3	1479.22	SM-SC	43064
4	7068.98	SC	35639
5	7182.77	GC	40302
6	5490.19	SM	47268
7	8690.44	GM-GC	44978
8	4878.59	SP-SM	45138
9	5589.76	ML	28188
10	9046.02	SP	49370
11	6528.49		
12	8718.88		
13	6073.35		
14	7196.99		

Fuente: Elaboración propia

10.1.3. Número estructural (SN)

Tabla 196 Número estructural Diseño Consorcio Vs. Diseño propio

Diseño Consorcio		Diseño propio		
Sección homogénea	SN	Sección homogénea	SN cal	SN op
1	1.90	CH	2.20	3.50
2	3.10	CL	2.25	3.50
3	3.00	SM-SC	2.10	3.50
4	4.00	SC	2.26	3.50
5	3.80	GC	2.15	3.50
6	4.40	SM	2.02	3.50

Diseño Consorcio		Diseño propio		
Sección homogénea	SN	Sección homogénea	SN cal	SN op
7	3.80	GM-GC	2.06	3.50
8	4.60	SP-SM	2.06	3.50
9	4.40	ML	2.46	3.50
10	3.70	SP	1.99	3.50
11	4.10			
12	3.70			
13	4.20			
14	4.00			

Fuente: Elaboración propia

10.1.4. Estructura de pavimento

Tabla 197 Espesores de diseño estructura de pavimento – Consorcio Diseños Rovira

Estructura de pavimento					
Tramo	Abscisa inicio	Abscisa fin	Carpeta asfáltica (cm)	Base Granular (cm)	Subbase Granular (cm)
1	K00+050	K02+550	12	25	35
2	K02+550	K06+050	12	20	35
3	K06+050	K07+150	12	25	35
4	K07+150	K09+750	12	20	25
5	K09+750	K10+750	12	20	25
6	K10+750	K12+250	12	20	25
7	K12+250	K12+750	12	20	30
8	K12+750	K14+750	12	20	25
9	K14+750	K15+250	12	20	25
10	K15+250	K16+750	12	20	30
11	K16+750	K17+250	12	20	25
12	K17+250	K17+750	12	20	30
13	K17+750	K19+000	12	20	25
14	K19+000	K19+310	12	20	25

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Tabla 198 Espesores de diseño estructura de pavimento - Diseño propio

Sección	Abscisa inicio	Abscisa fin	Carpeta asfáltica (cm)	Base Granular (cm)	Subbase Granular (cm)
CH	K00+050.000	K00+550.000	10	20	20
	K18+000.000	K18+500.000			
CL	K00+550.000	K01+550.000	10	20	20
	K02+050.000	K02+550.000			
	K03+000.000	K03+500.000			
	K05+000.000	K05+500.000			
	K05+500.000	K06+000.000			
	K06+500.000	K07+000.000			
	K07+000.000	K07+500.000			
	K07+500.000	K08+000.000			
	K09+500.000	K10+000.000			
	K10+000.000	K10+500.000			
	K15+000.000	K15+500.000			
	K19+307.151	K19+310.000			

Sección	Abscisa inicio	Abscisa fin	Carpeta asfáltica (cm)	Base Granular (cm)	Subbase Granular (cm)
SM-SC	K01+550.000	K02+050.000	10	20	20
	K06+000.000	K06+500.000			
SC	K02+550.000	K03+000.000	10	20	20
	K04+000.000	K04+500.000			
	K08+500.000	K09+000.000			
	K10+500.000	K11+000.000			
	K11+000.000	K11+500.000			
	K14+000.000	K14+500.000			
GC	K18+500.000	K19+000.000	10	20	20
	K03+500.000	K04+000.000			
	K09+000.000	K09+500.000			
	K15+500.000	K16+000.000			
	K16+000.000	K16+500.000			
	K16+500.000	K17+000.000			
SM	K17+000.000	K17+500.000	10	20	20
	K17+500.000	K18+000.000			
	K04+500.000	K05+000.000			
	K13+000.000	K13+500.000			
	K13+500.000	K14+000.000			
GM-GC	K14+500.000	K15+000.000	10	20	20
	K19+000.000	K19+307.151			
SP-SM	K08+000.000	K08+500.000	10	20	20
ML	K11+500.000	K12+000.000	10	20	20
SP	K12+000.000	K12+500.000	10	20	20
	K12+500.000	K13+000.000	10	20	20

10.2. Similitudes y diferencias

10.2.1. Similitudes

Los parámetros de diseño estipulados por la guía de diseño de estructura de pavimento AASTHO 93 tales como: periodo de diseño (10 años), tránsito de diseño (ESAL), desviación estándar (So), nivel de serviciabilidad inicial (Po), nivel de serviciabilidad final (Pf), índice de serviciabilidad (Δ IPS), coeficiente estructural y coeficiente de drenaje, se toman del diseño propuesto por el Consorcio de Diseños Rovira, por tal motivo los dos diseños presentan la misma información para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

10.2.2. Diferencias

10.2.2.1 California Bearing Ratio (CBR)

Los valores de CBR del diseño del Consorcio Diseños Rovira se tomaron a partir de los resultados de los ensayos de CBR realizados por el Consorcio Diseños Rovira (único valor por muestra), por otro lado, los valores de CBR del diseño propio propuesto se obtuvieron a partir de correlaciones matemáticas las cuales se

calculan en función de los límites de Atterberg, granulometría, ensayos de PDC realizado por el Consorcio Diseño Rovira (264 datos de CBR para todas las muestras de las cuales 9 valores de CBR corresponden a cada una de las muestras)

10.2.2.2 Módulo resiliente subrasante

Los valores de MR del diseño del Consorcio Diseños Rovira se tomaron a partir del resultado de la combinación y estimación de los valores obtenidos mediante la exploración geotécnica y de los valores de módulo resiliente obtenidos a partir de la deflectometría empleando la metodología AASHTO 93 (único valor por sección homogénea), por otro lado, los valores de MR de la subrasante del diseño propio propuesto se obtuvieron a partir de correlaciones matemáticas las cuales se calculan en función de los valores de CBR obtenidos también por medio de correlaciones matemáticas (1614 datos de MR para todas las secciones homogéneas de las cuales 10 corresponden a cada una de las secciones homogéneas)

10.2.2.3 Número estructural

Los valores referentes al número estructural de la subrasante, obtenidos por el Consorcio diseños Rovira difieren del diseño propio propuesto debido a lo comentado en el numeral anterior (10.2.2.2) los módulos resilientes son diferentes.

10.2.2.4 Secciones Homogéneas

La selección de las secciones homogéneas del Consorcio Diseño Rovira presenta un total de 14 secciones homogéneas distribuidas de manera continua a lo largo de los 19.5 km del tramo de estudio de la vía Rovira – Ibagué, por otro lado, la selección de las secciones homogéneas del diseño propio propuesto presenta un total de 10 secciones homogéneas distribuidas de manera discontinua a lo largo de los 19.5 km del tramo de estudio de la vía Rovira – Ibagué (Tabla 52).

10.2.2.5 Espesores por capa de la estructura de pavimento

Los espesores por capa del Consorcio Diseño Rovira presentan un único espesor en todas las secciones homogéneas (14) correspondientes a la carpeta asfáltica (12 cm), por otro lado, presentan diferentes valores que varían en todas las secciones homogéneas correspondientes a la base granular (20 - 25 cm), de igual manera, presentan diferentes valores que varían en todas las secciones homogéneas correspondientes a la Subbase granular (25 - 35 cm).

Los espesores por capa del diseño propio propuesto Rovira presentan un único espesor en todas las secciones homogéneas (10) correspondientes a la carpeta asfáltica (10 cm), por otro lado, presentan un único espesor en todas las secciones

homogéneas correspondientes a la base granular (20 cm), de igual manera, presentan un único espesor en todas las secciones homogéneas correspondientes a la subbase granular (20 cm).

10.3. Confiabilidad de la estructura de pavimento

Con el fin de determinar la capacidad de respuesta del diseño propio propuesto se determina un grado de confiabilidad promedio para cada una de las capas que componen la estructura de pavimento con respecto al diseño elaborado por el Consorcio Diseño Rovira, los cuales se describen a continuación.

10.3.1. Grado de confiabilidad Carpeta Asfáltica

Para determinar el grado de confiabilidad promedio de la carpeta asfáltica a lo largo de todo el tramo de estudio (K00+050 – K19+500) se calcula un espesor promedio de carpeta asfáltica diseño Consorcio Diseños Rovira, de igual manera se calcula un espesor promedio de carpeta asfáltica diseño propio propuesto, los cuales se operan aplicando la siguiente ecuación.

$$G_c = \frac{\text{Espesor propio}}{\text{Espesor Consorcio}} \times 100$$

Donde:

G_c : Grado de confiabilidad

Espesor propio: Promedio de espesores diseño propio (10 cm)

Espesor Consorcio: Promedio de espesores diseño Consorcio (12 cm)

$$G_c = \frac{10 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} \times 100$$

$$G_c = 83.13 \%$$

10.3.2. Grado de confiabilidad Base granular

Para determinar el grado de confiabilidad promedio de la carpeta asfáltica a lo largo de todo el tramo de estudio (K00+050 – K19+500) se calcula un espesor promedio de base granular diseño Consorcio Diseños Rovira, de igual manera se calcula un espesor promedio de base granular diseño propio propuesto, los cuales se operan aplicando la siguiente ecuación.

$$G_c = \frac{\text{Espesor propio}}{\text{Espesor Consorcio}} \times 100$$

Donde:

Gc: Grado de confiabilidad

Espesor propio: Promedio de espesores diseño propio (20 cm)

Espesor Consorcio: Promedio de espesores diseño Consorcio (21 cm)

$$Gc = \frac{20 \text{ cm}}{21 \text{ cm}} \times 100$$

$$Gc = 95.24 \%$$

10.3.3. Grado de confiabilidad Subbase granular

Para determinar el grado de confiabilidad promedio de la carpeta asfáltica a lo largo de todo el tramo de estudio (K00+050 – K19+500) se calcula un espesor promedio de subbase granular diseño Consorcio Diseños Rovira, de igual manera se calcula un espesor promedio de subbase granular diseño propio propuesto, los cuales se operan aplicando la siguiente ecuación.

$$Gc = \frac{\text{Espesor propio}}{\text{Espesor Consorcio}} \times 100$$

Donde:

Gc: Grado de confiabilidad

Espesor propio: Promedio de espesores diseño propio (20 cm)

Espesor Consorcio: Promedio de espesores diseño Consorcio (28 cm)

$$Gc = \frac{20 \text{ cm}}{28 \text{ cm}} \times 100$$

$$Gc = 71.43 \%$$

11. CONCLUSIONES

Las diferencias entre el número de secciones homogéneas seleccionadas por el Consorcio Diseños Rovira (14) y el número de secciones homogéneas seleccionadas por diseño propio propuesto (10) implican una variación en la capacidad de respuesta (resistencia) a las cargas generadas por el tránsito de diseño (ESAL: 2'826.516) en cada una de las secciones diferentes (4), lo cual genera un diseño adicional por parte del Consorcio Diseños Rovira teniendo en cuenta las características de dichas secciones, mientras que en el diseño propio propuesto dichos diseños adicionales no se contemplan dado que estas cuatro secciones hacen parte de las secciones homogéneas ya seleccionadas.

La variación de los espesores de la estructura de pavimento presentadas por el Consorcio de Diseños Rovira y el diseño propio propuesto se debe a los valores de módulo resiliente de la base granular (116000 psi) y subbase (43500 psi) granular asumidos por este grupo de trabajo se obtuvieron a las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS (Capítulo 3, Artículo 320 y 330) son valores muy grandes lo que indica una alta resistencia por lo tanto un espesor de capa delgada es suficiente para resistir las cargas generadas por el tránsito de diseño (ESAL: 2'826.516).

La confiabilidad para los espesores de la carpeta asfáltica diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan en promedio un 83.13% de probabilidad que funcionen adecuadamente, con respecto a los espesores de la carpeta asfáltica propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

La confiabilidad para los espesores de la base granular diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan en promedio un 95.24% de probabilidad que funcionen adecuadamente, con respecto a los espesores de la base granular propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

La confiabilidad para los espesores de la subbase granular diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan en promedio un 71.43% de probabilidad que funcionen adecuadamente, con respecto a los espesores de la subbase granular propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

Los espesores de la Carpeta Asfáltica diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan una variación promedio de 2 cm, con respecto a los espesores de la Carpeta Asfáltica propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

Los espesores de la Base granular diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan una variación promedio de 1 cm, con respecto a los espesores de la Base granular propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

Los espesores de la Subbase granular diseñados por este grupo de trabajo en todas las secciones homogéneas presentan una variación promedio de 8 cm, con respecto a los espesores de la Subbase granular propuesta por el Consorcio Diseño Rovira.

BIBLIOGRAFÍA

- Adama Dione, M. F. (2014). Implementation of Resilient Modulos - CBR relationship in Mechanistic-Empirical (M. -E) Pavement Design. <http://publication.lecture.org>.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO - Guide for design of pavement structures*. Washington D.C.
- Buch, H. B. (2003). *Reliability-based pavement design model accounting for inherent variability of design parameters*. Washington D.C.
- Consortio Diseños Rovira. (2017). *Informe de estudio de tránsito*. Bogotá D.C.
- Consortio Diseños Rovira. (2017). *Informe de resultados ensayos de laboratorio*. Bogotá D.C.
- Consortio Diseños Rovira. (2018). *Informe de diseño estructura de pavimento en el tramo desde el sector Carmen de Bulira (K07+150) hasta el sector El Totumo (K19+500)*. Bogotá D.C.
- Consortio Diseños Rovira. (2018). *Informe de diseño estructura de pavimento en el tramo desde el sector El Boquerón (K00+050) hasta el sector Carmen de Bulira (K07+150)*. Bogotá D.C.
- Corredor, G. (2010). Experimento vial de la ASSHO.
- Fonseca, A. M. (2008). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- González, R. S. (2003). Confiabilidad en el diseño estructural de pavimentos. *Tesis de grado*. Bogotá D.C.
- INVIAS. (1998). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Popayán, Cauca: Ministerio de transporte - Republica de Colombia.
- INVIAS. (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. Bogotá D.C: Ministerio de transporte - Republica de Colombia.
- INVIAS. (2012). Capítulo 3 - Afirmados, subbases y bases. Artículo 320 - Subbase granular. En *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C.
- INVIAS. (2012). Capítulo 3 - Afirmados, subbases y bases. Artículo 330 - Base granular. En *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C.
- Mario Aberto Rodríguez Moreno, T. E. (2017). *Including reliability in the AASHTO-93 flexible pavement design method integrating pavement deterioration models*. Medellín (Colombia), Concepción (Chile), Santiago (Chile).
- Paola Dalla Valle, N. T. (2016). Monograph - Reliability in Pavement Design.
- Paola Dalla Valle, N. T. (2016). Reliability in Pavement Design.
- Sabogal, F. S. (23 de Diciembre de 2016). *Slideshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-sanchez-sabogal>

Sandy Jazmín Pard Herreño, S. X. (2019). Ecuaciones constitutivas de módulo resiliente de materiales tratados con asfalto espumado. *Escuela colombiana de ingeniería*.

William Araujo, G. R. (2016). Correlation equations of CBR whit index properties os soil in the city of Piura. <http://www.reserachgate.net/publication/307090310>.