



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y  
LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: CORRELACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA  
SUPERFICIE DE PAVIMENTOS CON UN PERFILOMETRO  
LÁSER EN TRAMO YAMBO - AMBATO**

**AUTOR: YACCHIREMA GUERRERO, HUMBERTO PAÚL**

**DIRECTOR: ING. MORALES BYRON**

**SANGOLQUÍ**

**2016**

## CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "CORRELACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS CON UN PERFILOMETRO LÁSER EN TRAMO YAMBO – AMBATO", realizado por el señor HUMBERTO PAÚL YACCHIREMA GUERRERO, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor HUMBERTO PAÚL YACCHIREMA GUERRERO para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de Mayo del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Byron Morales", escrita sobre una línea horizontal.

Ing. Byron Morales

**DIRECTOR**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD****ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN****CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **HUMBERTO PAÚL YACCHIREMA GUERRERO**, con cédula de identidad N° 1719999417, declaro que este trabajo de titulación, **“CORRELACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS CON UN PERFILOMETRO LÁSER EN TRAMO YAMBO – AMBATO”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 10 de Mayo del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Humberto Paúl Yacchirema Guerrero'.

---

Humberto Paúl Yacchirema Guerrero

1719999417

## AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **HUMBERTO PAÚL YACCHIREMA GUERRERO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**CORRELACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS CON UN PERFILOMETRO LÁSER EN TRAMO YAMBO – AMBATO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 10 de Mayo del 2016

---

Humberto Paúl Yacchirema Guerrero

1719999417

## **DEDICATORIA**

A dios, por darme la vida principalmente y porque no me ha dejado caer jamás.

A mis padres, ejemplo de esfuerzo y trabajo que gracias a su cariño, sacrificio, apoyo, me dieron la fuerza y compartieron junto a mí el éxito y el fracaso que implica labrarse una profesión.

A mis hermanos que con su apoyo incondicional han sido pilares fundamentales para el logro de esta meta.

**HUMBERTO PAUL YACCHIREMA GUERRERO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A toda mi familia, por contar cada día con su apoyo, comprensión y por ser un ejemplo para seguir adelante.

A mis grandes amigos, Andrea Herrera y Edison Flores que de alguna u otra manera me brindaron su apoyo para culminar con éxito ésta carrera.

A la Escuela Politécnica del Ejército y a sus profesores por compartir sin egoísmo sus conocimientos y haberme brindado las herramientas necesarias para formarme como profesional.

**HUMBERTO PAUL YACCHIREMA GUERRERO**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| CERTIFICACIÓN .....  | i   |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....                               | ii  |
| AUTORIZACIÓN .....   | iii |
| DEDICATORIA .....  | iv  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | v   |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....                                      | vi  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | ix  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | xi  |
| RESUMEN .....  | xv  |
| ABSTRACT .....   | xvi |
| 1. CAPÍTULO I: .....   | 1   |
| MARCO TEÓRICO .....  | 1   |
| 1.1. INTRODUCCIÓN .....  | 1   |
| 1.1.1. Antecedentes .....                                      | 1   |
| 1.1.2. Área de influencia.....                                 | 2   |
| 1.1.3. Objetivo general del estudio .....                      | 3   |
| 1.1.4. Objetivos específicos del estudio .....                 | 3   |
| 1.1.5. Justificación e importancia .....                       | 4   |
| 1.2. GENERALIDADES.....  | 5   |
| 1.2.1. Definición de Macrotextura.....                         | 8   |
| 1.2.2. Importancia de la Macrotextura en las vías.....         | 8   |
| 1.2.3. Ensayos para Evaluar la Macrotextura del Pavimento..... | 9   |
| 1.2.4. Método volumétrico .....                                | 10  |
| 1.2.5. Determinación del Perfil (Perfilómetro Láser) .....     | 11  |
| 2. CAPÍTULO II: .....  | 13  |

|  |    |
|--|----|
| TRABAJO DE CAMPO .....   | 13 |
| 2.1. ESTUDIO DEL TRAMO A SER EVALUADO.....   | 13 |
| 2.1.1. Selección del tramo .....   | 13 |
| 2.2. MEDICIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA MANCHA DE<br>ARENA .....                         | 15 |
| 2.2.1. Aplicación de la norma ASTM E-965-15.....   | 15 |
| 2.2.2. Ensayo de Mancha de Arena en diferentes superficies de pavimento de la Red<br>Vial del Ecuador..... | 21 |
| 2.3. MEDICIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL PERFILOMETRO LASER<br>INERCIAL MARK III .....                 | 26 |
| 2.3.1. Descripción del equipo Perfilómetro Laser.....  | 26 |
| 2.3.2. Aplicación de la norma ASTM (E 1845-15).....  | 30 |
| 2.3.3. Procedimiento de medición de la macrotextura .....  | 34 |
| 2.4. MEDICIÓN DE LA MICROTEXTURA CON EL EQUIPO MU –METER MK6 .....   | 42 |
| 2.5. INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTADO SUPERFICIAL.....   | 44 |
| 3. CAPÍTULO III: .....   | 45 |
| PROCESAMIENTO DE DATOS .....   | 45 |
| 3.1. DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE LA NORMA ASTM E-965-15 .                                    | 45 |
| 3.1.1. Presentación de resultados (Mancha de Arena).....   | 45 |
| 3.2. DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL PERFILOMETRO<br>INERCIAL MARK III .....                  | 57 |
| 3.2.1. Presentación de resultados (Perfilómetro).....  | 57 |
| 4. CAPÍTULO IV: .....  | 69 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS .....   | 69 |



|   |    |
|---|----|
| 4.1. DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN OBTENIDA ENTRE LOS DOS METODOS DE MEDICIÓN ..... | 69 |
| 4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS CORREGIDOS EN EL TRAMO YAMBO – AMBATO .               | 73 |
| 4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL MU – METER MK6.....                               | 78 |
| 4.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL INDICE DE ESTADO.....                             | 80 |
| 4.5. PLAN DE MANTENIMIENTO.....   | 82 |
| 4.5.1. Mantenimiento Periódico .....  | 82 |
| 4.5.2. Mantenimiento Rutinario.....   | 82 |
| 5. CAPÍTULO V: .....  | 84 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 84 |
| 5.1. CONCLUSIONES .....   | 84 |
| 5.2. RECOMENDACIONES .....  | 86 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....   | 87 |
| BIOGRAFÍA.....  | 88 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Ubicación Geográfica de la Ruta E35.....                         | 3  |
| <b>Tabla 2.</b> Mediciones Colibrí - Pintag .....                                | 23 |
| <b>Tabla 3.</b> Mediciones Cuenca – Azogues .....                                | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> Valores y rangos para determinar el Índice de Estado .....       | 44 |
| <b>Tabla 5.</b> Datos de Macrotextura (Km: 0+920 – 0+930)-Colibrí - Pintag ..... | 46 |
| <b>Tabla 6.</b> Datos de Macrotextura (Km: 2+380 – 2+390)-Colibrí – Pintag ..... | 47 |
| <b>Tabla 7.</b> Datos de Macrotextura (Km: 3+115 – 3+125)-Colibrí – Pintag ..... | 48 |
| <b>Tabla 8.</b> Datos de Macrotextura (Km: 3+330 – 3+340)-Colibrí – Pintag ..... | 49 |
| <b>Tabla 9.</b> Datos de Macrotextura (Km: 6+580 – 6+590)-Colibrí – Pintag ..... | 50 |
| <b>Tabla 10.</b> Datos de Macrotextura (Km:2+954 –2+964)-Cuenca- Azogues.....    | 51 |
| <b>Tabla 11.</b> Datos de Macrotextura (Km:6+768-6+778)-Cuenca Azogues .....     | 52 |
| <b>Tabla 12.</b> Datos de Macrotextura (Km:8+575-8+585)-Cuenca Azogues .....     | 53 |
| <b>Tabla 13.</b> Datos de Macrotextura (Km:12+900-12+910)-Cuenca Azogues.....    | 54 |
| <b>Tabla 14.</b> Datos de Macrotextura (Km:17+600-17+610)-Cuenca Azogues.....    | 55 |
| <b>Tabla 15.</b> Resumen Ensayo de mancha de Arena .....                         | 56 |
| <b>Tabla 16.</b> Datos de MPD (Km: 0+920 – 0+930) - Colibrí - Pintag .....       | 58 |
| <b>Tabla 17.</b> Datos de MPD (Km: 2+380 – 2+390) - Colibrí – Pintag .....       | 59 |
| <b>Tabla 18.</b> Datos de MPD (Km: 3+115 – 3+125) - Colibrí – Pintag .....       | 60 |
| <b>Tabla 19.</b> Datos de MPD (Km: 3+330 – 3+340) - Colibrí – Pintag .....       | 61 |
| <b>Tabla 20.</b> Datos de MPD (Km: 6+580 – 6+590) - Colibrí – Pintag .....       | 62 |
| <b>Tabla 21.</b> Datos de MPD (Km: 2+954 – 2+964) – Cuenca – Azogues .....       | 64 |
| <b>Tabla 22.</b> Datos de MPD (Km: 6+768 – 6+778) – Cuenca – Azogues.....        | 65 |
| <b>Tabla 23.</b> Datos de MPD (Km: 8+755 – 8+585) – Cuenca – Azogues .....       | 66 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 24.</b> Datos de MPD (Km: 12+900 – 12+910) – Cuenca – Azogues.....           | 67 |
| <b>Tabla 25.</b> Datos de MPD (Km: 17+600 -17+610) – Cuenca – Azogues.....            | 68 |
| <b>Tabla 26.</b> Ecuaciones de ajuste.....  | 72 |
| <b>Tabla 27.</b> Valores Promedios, Max y Min, Calzada Derecha Carril Externo .....   | 76 |
| <b>Tabla 28.</b> Valores Promedios, Max y Min, Calzada Derecha Carril Interno .....   | 77 |
| <b>Tabla 29.</b> Valores Promedios, Max y Min, Calzada Izquierda Carril Externo ..... | 77 |
| <b>Tabla 30.</b> Valores Promedios, Max y Min, Calzada Izquierda Carril Interno ..... | 77 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación del tramo seleccionado .....  | 2  |
| <b>Figura 2.</b> Perfil superficial de un pavimento con tratamiento superficial .....                              | 6  |
| <b>Figura 3.</b> Intervalos de valores de la textura en términos de la longitud de onda y sus efectos.....         | 7  |
| <b>Figura 4.</b> Descripción gráfica de Macrotextura .....   | 8  |
| <b>Figura 5.</b> Influencia de la macrotextura en la resistencia al deslizamiento con respecto a la velocidad..... | 9  |
| <b>Figura 6.</b> Esquema del ensayo del Círculo de Arena .....   | 11 |
| <b>Figura 7.</b> Definición de la profundidad media de perfil, "Mean Profile Depth" MPD .....                      | 12 |
| <b>Figura 8.</b> Principio de la medición de la profundidad de textura con dispositivo láser. ....                 | 12 |
| <b>Figura 9.</b> Perfil de alturas Yambo - Ambato .....  | 13 |
| <b>Figura 10.</b> Inicio del proyecto Km 94+800 .....  | 14 |
| <b>Figura 11.</b> Final del proyecto Km 105+800 .....  | 14 |
| <b>Figura 12.</b> Texturas de la superficie del pavimento (Yambo-Ambato) .....                                     | 15 |
| <b>Figura 13.</b> Esferas sólidas de vidrio .....  | 16 |
| <b>Figura 14.</b> Recipiente de volumen = 25000 mm <sup>3</sup> .....  | 16 |
| <b>Figura 15.</b> Herramienta esparcidora .....  | 17 |
| <b>Figura 16.</b> Cepillo de cerdas .....  | 17 |
| <b>Figura 17.</b> Regla graduada.....  | 18 |
| <b>Figura 18.</b> Elemento de protección del material .....  | 18 |
| <b>Figura 19.</b> Procesamiento de Ensayo Mancha de Arena .....  | 20 |
| <b>Figura 20.</b> Condición del Pavimento tramo Yambo - Ambato .....   | 21 |
| <b>Figura 21.</b> Sección Típica tramo Colibrí – Pintag .....  | 22 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 22.</b> Mediciones Mancha de Arena Tramo Colibrí - Pintag ..... | 22 |
| <b>Figura 23.</b> Ensayo de Mancha de Arena Tramo Colibrí – Pintag.....   | 23 |
| <b>Figura 24.</b> Sección Típica tramo Cuenca – Azogues .....             | 24 |
| <b>Figura 25.</b> Mediciones Mancha de Arena Tramo Cuenca – Azogues.....  | 24 |
| <b>Figura 26.</b> Ensayo de Mancha de Arena Tramo Cuenca – Azogues.....   | 25 |
| <b>Figura 27.</b> Perfilometro laser Inercial Mark III .....              | 26 |
| <b>Figura 28.</b> Sensor laser .....                                      | 27 |
| <b>Figura 29.</b> Acelerómetro .....                                      | 28 |
| <b>Figura 30.</b> Odómetro .....  | 28 |
| <b>Figura 31.</b> Unidad de procesamiento de datos.....                   | 29 |
| <b>Figura 32.</b> GPS .....   | 29 |
| <b>Figura 33.</b> Computador.....   | 30 |
| <b>Figura 34.</b> Procedimiento de cálculo del MPD.....                   | 33 |
| <b>Figura 35.</b> Pantalla de Calibración (DMI).....                      | 35 |
| <b>Figura 36.</b> Calibración de Acelerómetros.....                       | 36 |
| <b>Figura 37.</b> Barra de calibración .....                              | 36 |
| <b>Figura 38.</b> Pantalla de Calibración de los dispositivos Láser ..... | 37 |
| <b>Figura 39.</b> Nuevo proyecto Dynatest Control.....                    | 38 |
| <b>Figura 40.</b> Nombre del archivo de medición .....                    | 38 |
| <b>Figura 41.</b> Interfaz de Usuario Dynatest Control.....               | 39 |
| <b>Figura 42.</b> Parámetros de inicio de medición.....                   | 40 |
| <b>Figura 43.</b> Creación de eventos .....                               | 40 |
| <b>Figura 44.</b> Configuración establecida para tramo de prueba .....    | 41 |
| <b>Figura 45.</b> Esquema Conceptual de Fuerzas de Fricción y Normal..... | 42 |
| <b>Figura 46.</b> Equipo Mu- Meter.....                                   | 43 |
| <b>Figura 47.</b> Mancha de Arena tramo Colibrí - Pintag .....            | 45 |
| <b>Figura 48.</b> Macrotextura KM 0+920 – 0+93 .....                      | 46 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 49.</b> Macrotextura KM 2+380 – 2+390 .....                        | 47 |
| <b>Figura 50.</b> Macrotextura KM 3+115 – 3+12 .....                         | 48 |
| <b>Figura 51.</b> Macrotextura KM 3+330 – 3+340 .....                        | 49 |
| <b>Figura 52.</b> Macrotextura KM 6+580 – 6+590 .....                        | 50 |
| <b>Figura 53.</b> Mancha de Arena tramo Cuenca - Azogues .....               | 51 |
| <b>Figura 54.</b> Macrotextura KM 2+954 – 2+964 .....                        | 52 |
| <b>Figura 55.</b> Macrotextura KM 6+768 – 6+778 .....                        | 53 |
| <b>Figura 56.</b> Macrotextura KM 8+575 – 8+585 .....                        | 54 |
| <b>Figura 57.</b> Macrotextura KM 12+900 – 12+910 .....                      | 55 |
| <b>Figura 58.</b> Macrotextura KM 17+600 – 17+610 .....                      | 56 |
| <b>Figura 59.</b> Perfilómetro Láser en el Tramo Colibrí - Pintag.....       | 57 |
| <b>Figura 60.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 0+920 – 0+930.....   | 58 |
| <b>Figura 61.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 2+380 – 2+390.....   | 59 |
| <b>Figura 62.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 3+115 – 3+125.....   | 60 |
| <b>Figura 63.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 3+330 – 3+340.....   | 61 |
| <b>Figura 64.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 6+580 – 6+590.....   | 62 |
| <b>Figura 65.</b> Perfilómetro Láser en el Tramo Cuenca - Azogues.....       | 63 |
| <b>Figura 66.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 2+954 – 2+964.....   | 64 |
| <b>Figura 67.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 6+768 – 6+778.....   | 65 |
| <b>Figura 68.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 8+575 – 8+585.....   | 66 |
| <b>Figura 69.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 12+900 – 12+910..... | 67 |
| <b>Figura 70.</b> Profundidad media del Perfil (MPD) KM 17+600 – 17+610..... | 68 |
| <b>Figura 71.</b> Relación de MPD vs MTD.....                                | 70 |
| <b>Figura 72.</b> Ecuación de ajuste lineal .....                            | 70 |
| <b>Figura 73.</b> Ecuación de ajuste exponencial .....                       | 71 |
| <b>Figura 74.</b> Ecuación de ajuste logarítmica.....                        | 71 |
| <b>Figura 75.</b> Ecuación de ajuste polinómica .....                        | 72 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 76.</b> Valores de Macrotextura Calzada Derecha–Carril Externo .....    | 74 |
| <b>Figura 77.</b> Valores de Macrotextura Calzada Derecha – Carril Interno .....  | 75 |
| <b>Figura 78.</b> Valores de Macrotextura Calzada Izquierda–Carril Externo.....   | 75 |
| <b>Figura 79.</b> Valores de Macrotextura Calzada Izquierda–Carril Interno .....  | 76 |
| <b>Figura 80.</b> Valores de Microtextura Calzada Derecha –Carril Externo .....   | 78 |
| <b>Figura 81.</b> Valores de Microtextura Calzada Derecha –Carril Interno .....   | 78 |
| <b>Figura 82.</b> Valores de Microtextura Calzada Izquierda –Carril Externo ..... | 79 |
| <b>Figura 83.</b> Valores de Microtextura Calzada Izquierda –Carril Interno ..... | 79 |
| <b>Figura 84.</b> Índice de estado Calzada Derecha.....                           | 80 |
| <b>Figura 85.</b> Índice de estado Calzada Izquierda .....                        | 81 |

## RESUMEN

La textura de pavimentos está cobrando importancia en el ámbito internacional como elemento adicional para describir la condición funcional de las vías. De acuerdo diversos estudios y experiencias se han podido constatar una influencia significativa de la macrotextura en los resultados de fricción y distancia de frenado en presencia de agua, así como también en la emisión de ruido por la interacción de las ruedas y el pavimento. El criterio de confort está relacionado con la regularidad superficial determinada por la puesta en obra de la capa de rodadura. Las irregularidades superficiales longitudinales en la capa de rodadura, dependiendo de la magnitud, hacen que la conducción sea incomoda. En las últimas décadas, se han integrado al medio, equipos de medición laser que pueden registrar datos en forma continua y así obtener información más detallada de la textura en los pavimentos. Es importante tener un guía de medición con equipos laser que correlacionen las mediciones realizadas con métodos normados.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **CORRELACIÓN**
- **PAVIMENTOS**
- **MACROTEXTURA**
- **MANTENIMIENTO**
- **PERFILÓMETRO**



## **ABSTRACT**

The texture of flooring is gaining importance in the international arena as an additional element to describe the functional condition of the roads. According to various studies and experiences it has noted a significant influence on the results Macrotexture friction and braking distance in the presence of water, as well as noise emissions by the interaction of the wheels and the pavement. The comfort criterion is related to the specific surface regularity by the laying of the surface layer. The longitudinal surface irregularities in the surface layer, depending on the size, make driving is uncomfortable. In recent decades, they have joined the middle, laser measurement equipment that can record data continuously and get more detailed information texture on pavements. It is important to have a guide with laser measuring equipment correlating measurements made with normed methods.

### **KEYWORDS:**

- **CORRELATION**
- **PAVEMENT**
- **MACROTEXTURE**
- **MAINTENANCE**
- **PROFILOMETER**

## **1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1.1. Antecedentes**

Las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), en la sección 405 “Capas de rodadura”, detalla las condiciones que se deben evaluar para la recepción de pavimentos. Independientemente de los requisitos de calidad que deben haber cumplido en las etapas de construcción, con respecto a materiales y procesos. Para la recepción de pavimentos se deberán cumplir con criterios de confort y seguridad evaluados sobre la superficie terminada del mismo. (MOP - 001 F, 2002)

El criterio de confort está relacionado con la regularidad superficial determinada por la puesta en obra de la capa de rodadura. Las irregularidades superficiales longitudinales en la capa de rodadura, dependiendo de la magnitud, hacen que la conducción sea incómoda, además de esta depende el desgaste de neumáticos y del vehículo en general.

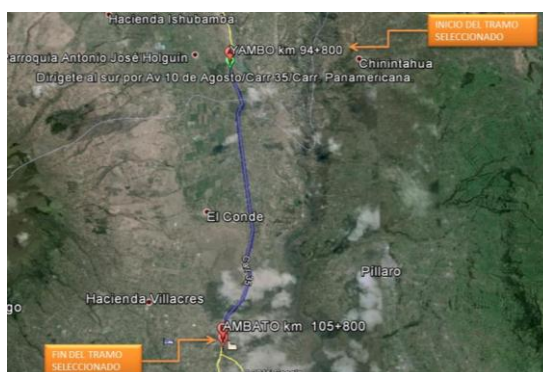
Para evaluar la seguridad en la vía, se deben realizar mediciones de micro textura y macro textura en la capa de rodadura, ya que la evaluación de la textura en pavimentos asegura un determinado coeficiente de rozamiento longitudinal y macrotextura, asegurando así un correcto agarre entre la superficie del pavimento y los neumáticos de los vehículos en baja, media y alta velocidad. Además, asegura una correcta evacuación del agua en caso de lluvia.

El Ecuador tiene una Red Vial Estatal de aproximadamente 9736,91 kilómetros de longitud, los cuales 7051 kilómetros son de carpeta asfáltica, con el 70% de la Red Vial Estatal. Con los datos antes mencionados, es muy importante tener un nivel de servicio óptimo en las carreteras ya que se asegurarían el confort y la seguridad de los usuarios. (MTO, 2013)

Generalmente la evaluación de la textura en la capa de rodadura, se lo ha realizado con equipos manuales y automáticos, no se tiene una norma local para establecer una relación entre estos dos. PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., en su afán de brindar siempre una alta confiabilidad de los resultados en las mediciones de la macrotextura, ha decidido apoyar al Sr. Humberto Paúl Yacchirema Guerrero, egresado de la Carrera de Ing. Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a realizar el estudio de “CORRELACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS CON UN PERFILOMETRO LÁSER EN TRAMO YAMBO - AMBATO”

### 1.1.2. Área de influencia

Para la realización del estudio, se ha seleccionado un tramo la ruta E35 de acuerdo a la nomenclatura propuesta por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas “MTO”, ubicada entre las provincias de Cotopaxi y Tungurahua (Ver Figura 1), con una longitud de 11 kilómetros.



**Figura 1. Ubicación del tramo seleccionado**

En la siguiente tabla se muestra las coordenadas de inicio y fin del tramo seleccionado.

**Tabla 1.**  
**Ubicación Geográfica de la Ruta E35**

|             |             |                |        |                    | POSICIÓN GPS |             |
|-------------|-------------|----------------|--------|--------------------|--------------|-------------|
| <i>RUTA</i> | <i>TIPO</i> | <i>ABCSISA</i> |        | <i>DESCRIPCION</i> | <i>X</i>     | <i>Y</i>    |
| <b>E35</b>  | Arterial    | 94+800         | Inicio | Yambo              | -1.10088162  | -78.5927801 |
|             | Arterial    | 105+800        | Fin    | Ambato             | -1.19589667  | -78.5938541 |

### 1.1.3. Objetivo general del estudio

Establecer una correlación entre los valores de macrotextura en superficies de pavimentos flexibles a través del ensayo de la mancha de arena y el uso de un perfilómetro láser INERCIAL MARK III – DYNATEST, para proponer un plan de mantenimiento que mejore las condiciones del pavimento en el tramo Yambo – Ambato.

### 1.1.4. Objetivos específicos del estudio

- Determinar la macrotextura del tramo seleccionado mediante el ensayo de la mancha de arena y el uso de un perfilómetro láser INERCIAL MARK III – DYNATEST.
- Analizar los resultados obtenidos en el tramo seleccionado.
- Correlacionar los resultados obtenidos para obtener una relación entre las dos técnicas de evaluación (Ensayo de mancha de arena y Perfilómetro Laser).
- Evaluar y proponer un plan de mantenimiento de acuerdo al resultado de los valores de macrotextura obtenidos en la correlación.

### 1.1.5. Justificación e importancia

El Plan Estratégico de Movilidad (PEM), formula una propuesta para un sistema de transportación integral, conectado, completo y multimodal, el cual se implementará hasta el año 2037. En la estructura del PEM, uno de los puntos importantes a desarrollar son las carreteras, en el cual los objetivos principales son:

- Desarrollo de las redes viales: estatal jerarquizada y resto de redes.
- Actuaciones en medio urbano.
- Seguridad Vial; Acondicionamientos; Reposición, Conservación y Gestión.

En este contexto, es menester mencionar que la Red Vial Estatal (RVE) sirve directamente a todas las áreas urbanas de más de 50.000 habitantes y al 71 % de los residentes en ciudades con población entre 5.000 y 50.000, es decir, el 82 % de la población del país. Además de aportar directamente a la producción nacional.

Por otro lado, las principales magnitudes que se manejan en el PEM para el componente de carreteras son las siguientes:

De los 13.500 km de Red Vial Estatal total que se implementarán en el PEM, se subdividen en:

- 2.300 km de Red (interurbana) de Alta Capacidad
- 550 km de Red (urbana y periurbana) de Alta Capacidad
- 6.000 km de Red de Mediana Capacidad (2.250 + 3.750)
- 3.100 km de Conectores Regionales Complementarios
- 1.550 km de Caminos Básicos de Integración Territorial

De estos datos se puede evidenciar que mantener las vías en óptimas condiciones es primordial para tener un sistema de transporte ideal.

Además, se justifica la importancia de mantener los pavimentos con un nivel de servicio adecuado para la transportación, esto quiere decir que se asegura el confort y la seguridad de los usuarios.

Los daños más evidentes en los pavimentos, se observa en la capa de rodadura y por eso es necesario un estudio de la textura del mismo.

Para la realización de una evaluación de la textura en pavimentos, existen varios métodos que difieren en las herramientas y tiempo utilizados.

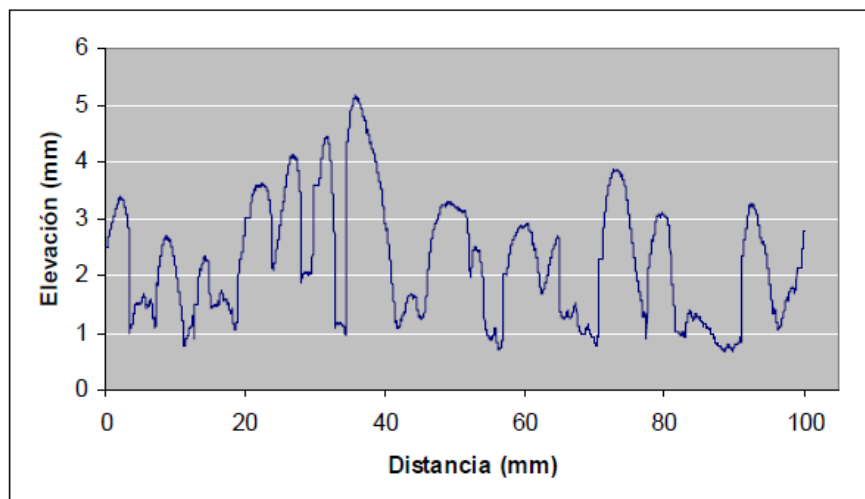
Uno de los métodos utilizados para la determinación de la macrotextura en carpetas asfálticas es el método volumétrico denominado “mancha de Arena”, el cual es un método puntual, el cual según las especificaciones generales del MTOP, se deben realizar cada 500 metros de forma alternada en cada carril.

En las últimas décadas, se han integrado al medio, equipos de medición laser que pueden registrar datos en forma continua y así obtener información más detallada de la textura en los pavimentos. Es importante tener un guía de medición con equipos laser que correlacionen las mediciones realizadas con métodos normados.

## **1.2. GENERALIDADES**

El primer aspecto a definir es qué se entiende por textura superficial de un pavimento y cuáles son los rangos de valores que determinan su incidencia en propiedades o aspectos tales como la resistencia al deslizamiento, desgaste de las llantas y vehículos, la fricción entre llantas y pavimento, la emisión de ruido y el confort de los usuarios. En general, la textura depende de la desviación de una superficie del pavimento respecto de un nivel de referencia (Ver Figura 2), y dependiendo el rango de valores

de la longitud de onda de la textura analizada, se le asigna un nombre que amplía su definición.



**Figura 2. Perfil superficial de un pavimento con tratamiento superficial**

Fuente: (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)

A continuación, se definen los términos asociados a cada intervalo de valores de la longitud de onda de un perfil superficial dentro de los cuales se evalúa la textura superficial:

- **Microtextura**

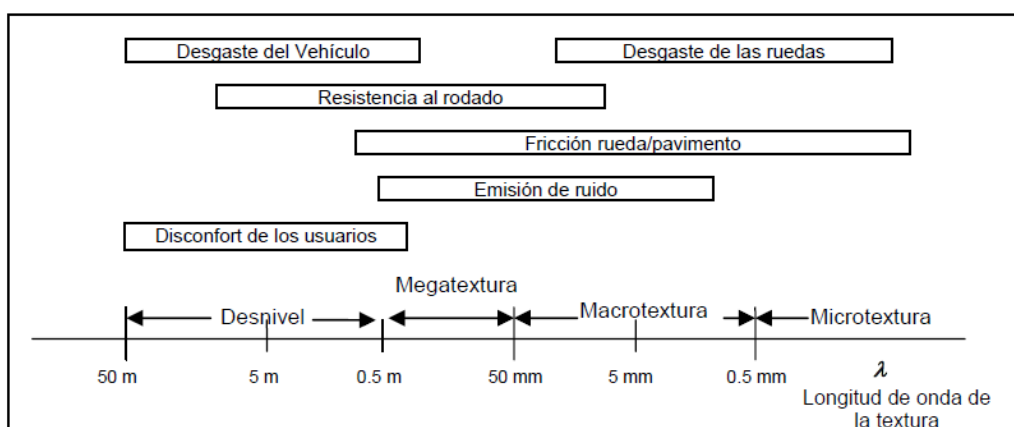
Desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda inferior a 0.5 milímetros en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.001 a 0.2 milímetros, la variación que se presenta dentro de esta fracción del espectro es debida a la aspereza que presente el árido que compone la capa de rodadura del pavimento. La microtextura proporciona el contacto directo entre neumático y pavimento y afecta la capacidad de frenado en seco. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)

- **Macrotextura**

Desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda en un intervalo comprendido entre los 0.5 milímetros y los 50 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.2 a 10 milímetros, la variación que se presenta dentro de esta fracción del espectro es debida a la forma que adquiere la superficie conforme a la disposición en conjunto de los grados de árido que sobresalen en la superficie de la capa de rodadura de un pavimento. La macrotextura afecta la capacidad de frenado en presencia de agua y afecta las emisiones de ruido en la interfase rueda/pavimento. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)

- **Megatextura**

Corresponde a la mayor categoría de textura sobre una longitud de onda entre los 50 milímetros y los 500 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 1 a 50 milímetros. La megatextura afecta además de la fricción y el ruido, a la suavidad del rodado pues causa deformaciones en la rueda. En la Figura 3 se muestra una escala de valores de textura superficial, en la cual a cada intervalo se le asigna la denominación. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)



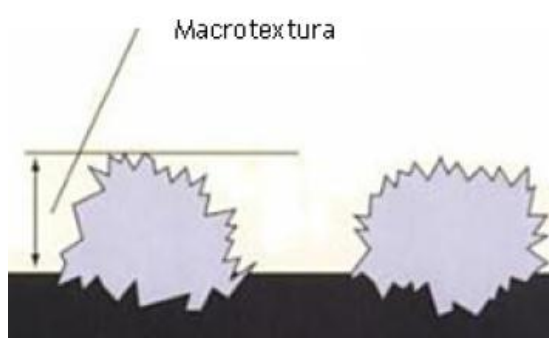
**Figura 3. Intervalos de valores de la textura en términos de la longitud de onda y sus efectos.**

Fuente: (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)



### 1.2.1. Definición de Macrotextura

La macrotextura es el relieve de la capa de rodamiento y depende de la composición de la mezcla, riego o lechada asfáltica o del tratamiento de superficie dado a la capa de concreto (estriado, engravillado, etc). En la figura 4 se muestra gráficamente la definición de macrotextura. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)



**Figura 4. Descripción gráfica de Macrotextura**

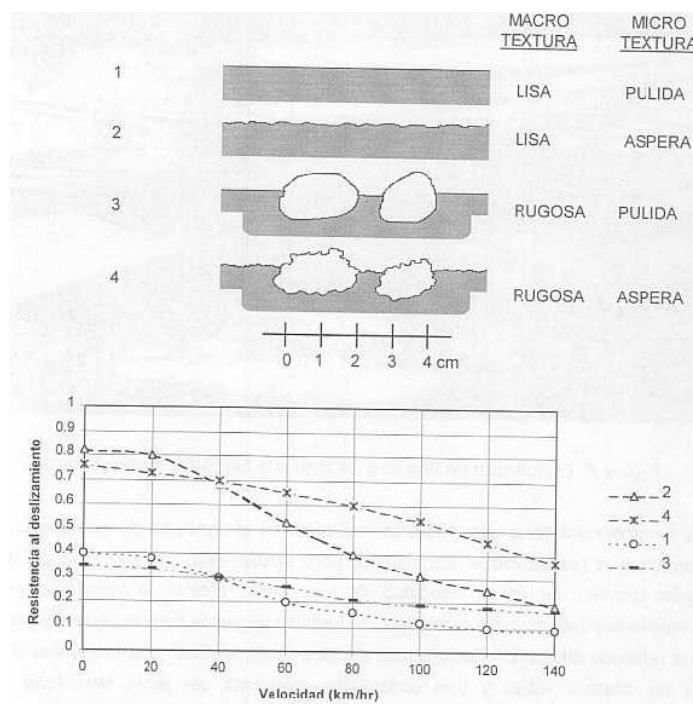
Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

### 1.2.2. Importancia de la Macrotextura en las vías

La macrotextura es de mucha importancia en la evolución del estado de la capa de rodamiento. El pavimento recién construido tiene un determinado valor de macrotextura, pero con el uso ese valor inicial va disminuyendo hasta un mínimo; a partir de ese momento y como consecuencia de un proceso de deterioro, con pérdida de cohesión entre los componentes de la capa, la macrotextura vuelve a crecer de forma significativa. En los ensayos de auscultación la macrotextura es un factor determinante, si el valor es bueno (fase inicial del pavimento) o es malo (fase terminal del pavimento). (IMT, 1998).

La macrotextura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada (más de 60 Km/h), además la

macrotextura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustible al aumentar la resistencia al rodamiento, pero puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. En la figura 5 se muestra la influencia de la macrotextura y la velocidad en el coeficiente de resistencia al deslizamiento. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)



**Figura 5. Influencia de la macrotextura en la resistencia al deslizamiento con respecto a la velocidad**

Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

### 1.2.3. Ensayos para Evaluar la Macrotextura del Pavimento

La macrotextura es dependiente de la distribución espacial y tamaño de las partículas del agregado de la superficie del pavimento, así como del material en donde dicho agregado se encuentra embebido, las técnicas de medición normalizadas por los estándares internacionales para medición de la macrotextura que tienen en cuenta las anteriores consideraciones, se agrupan de la siguiente manera:

- **Métodos Volumétricos**

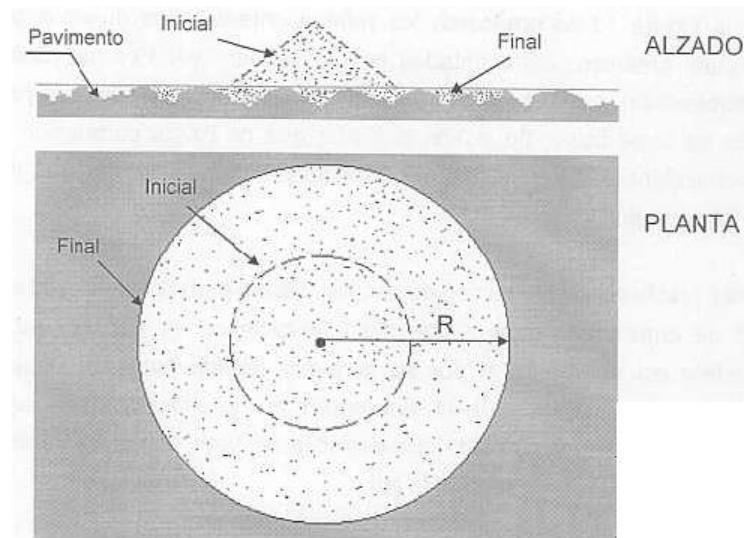
Procedimientos basados en la determinación de un volumen asociado a un área y a la respectiva altura. La altura en este volumen corresponde a la profundidad media de la textura. A este grupo de técnicas pertenece el ensayo de la mancha de arena y otros métodos similares que usan esferas de vidrio o grasa de lubricación en lugar de arena.

- **Técnicas Perfilométricas:**

Procedimientos basados en la determinación de la geometría del perfil o la superficie. Entre estos figuran el Circular Track Meter (CTmeter), el Laser Texture Scanner (LTS), y los perfilómetros láser de alta velocidad. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)

#### **1.2.4. Método volumétrico**

Conocido con el nombre del método del círculo de arena, sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (rugosa y lisa). El procedimiento consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado (50 cm<sup>3</sup>) de arena fina uniforme (Arena de Otawa que pasa por el tamiz N° 60 y retenida en el N°80 según la norma ASTM E965-15), de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes. Se procura extender la arena en forma de círculo, con lo que es fácil determinar el área cubierta por la arena, dividiendo el volumen de arena utilizada para el área cubierta se obtiene la denominada "Profundidad media de textura (H), correspondiente a las irregularidades de la superficie, tanto mayor cuanto más rugosa es la superficie del pavimento. En la figura 6 se muestra una descripción gráfica del método. (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)



**Figura 6. Esquema del ensayo del Círculo de Arena**

Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

Para determinar la profundidad media de textura (Macrotextura), por el método volumétrico se utiliza la siguiente expresión:

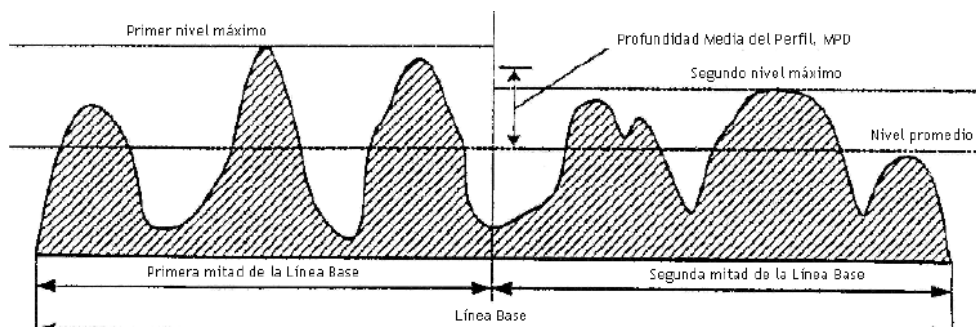
$$H = \frac{V}{\pi * R^2}$$

Dónde:

- V, Volumen de la Arena en mm<sup>3</sup>
- R, radio del círculo en mm formado después de enrazar la superficie a ensayarse

### 1.2.5. Determinación del Perfil (Perfilómetro Láser)

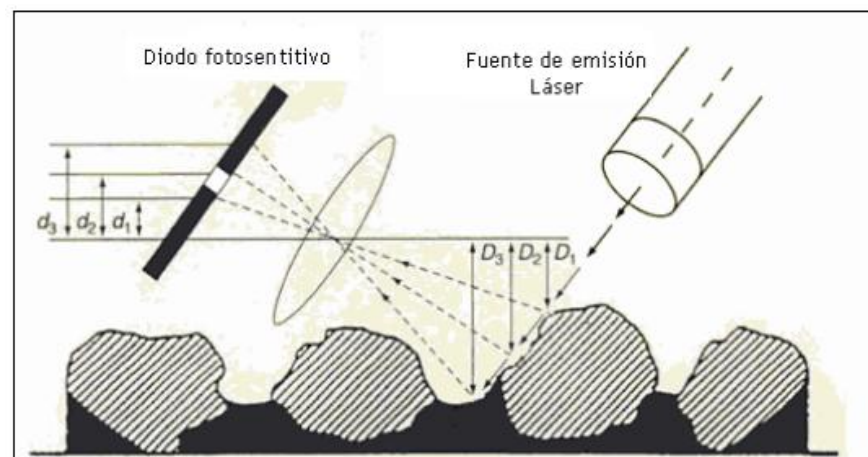
El valor MTD que se obtiene de la mancha de arena se ha correlacionado empíricamente con mediciones directas del perfil. A las mediciones directas del perfil se les ha llamado MPD, por profundidad media de perfil (Mean Profile Depth, MPD). (Ver Figura 7). El MPD se calcula de acuerdo al método ASTM E-1845 (ASTM 2005a) a partir del promedio de las profundidades medidas en las dos mitades de un segmento de 10cm. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)



**Figura 7. Definición de la profundidad media de perfil, "Mean Profile Depth" MPD**

Fuente: (ASTM E 1845 - 15, 2015)

Un esquema de cómo se usan los sensores láser para determinar la macrotextura se muestra en la Figura 8.



**Figura 8. Principio de la medición de la profundidad de textura con dispositivo láser.**

Fuente: (Whiteoak D and Read J, 2003)

Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño finito de granos usados en el ensayo de la mancha de arena y porque el MPD se deriva de un perfil bidimensional en lugar de una superficie tridimensional. Por consiguiente, una ecuación de la transformación debe usarse para relacionarlos. (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009)

## 2. CAPÍTULO II: TRABAJO DE CAMPO

### 2.1. ESTUDIO DEL TRAMO A SER EVALUADO

#### 2.1.1. Selección del tramo

El sitio donde se desarrollará el presente trabajo de investigación tiene lugar entre las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, en el sector de Yambo, que corresponde a la vía E35 de la red vial del Ecuador entre las abscisas Km 94+800 – 105+800. La ubicación georeferenciada del inicio y fin del proyecto se encuentra en el apartado 1.1.2. El clima del sector es templado con temperaturas que varían entre 8°C y 23°C, la altitud del mismo varía entre 2758 msnm y 2688 msnm. En la figura 9 se muestra un perfil de alturas del proyecto.

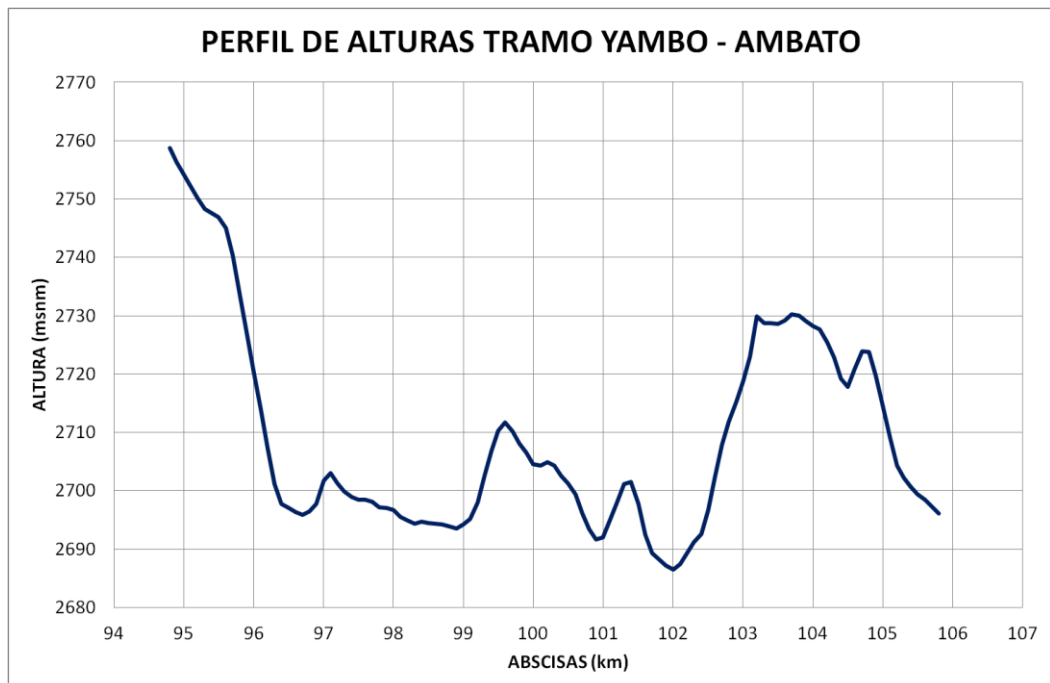
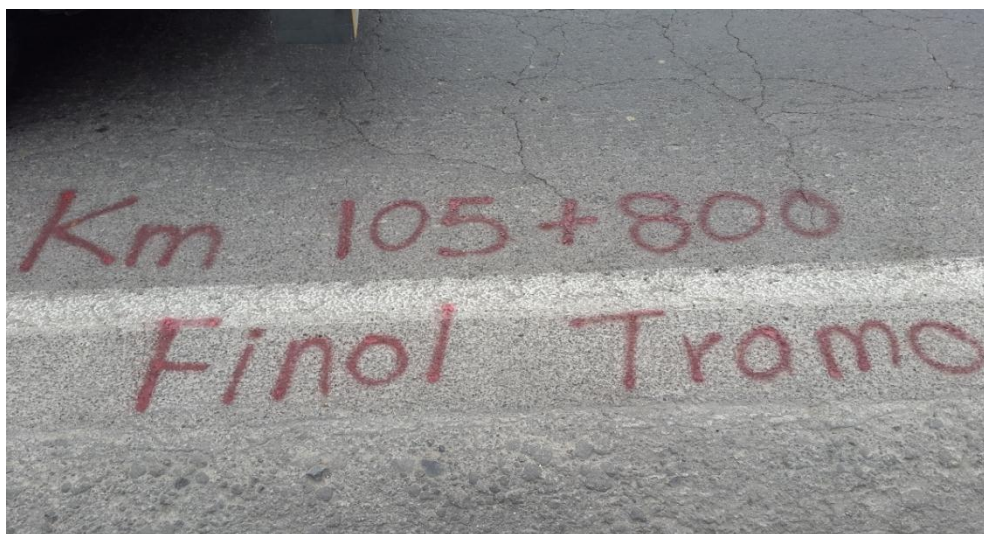


Figura 9. Perfil de alturas Yambo - Ambato

En las figuras 10 y 11 se indica el inicio y fin del tramo seleccionado a ser evaluado.



**Figura 10. Inicio del proyecto Km 94+800**



**Figura 11. Final del proyecto Km 105+800**

Un aspecto importante para la selección del tramo es la textura del pavimento, se realizó una inspección visual donde se constató que existen dos tipos principales de textura, del km 94+800 al 102+00 y del 102+000 al 105+800. En la figura 12 se muestra las dos clases de textura antes mencionadas.



**Figura 12. Texturas de la superficie del pavimento (Yambo-Ambato)**

## **2.2. MEDICIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA MANCHA DE ARENA**

### **2.2.1. Aplicación de la norma ASTM E-965-15**

- **OBJETIVOS**

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena. En general, el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena, valor que se puede utilizar como medida de la textura superficial del pavimento



- **EQUIPO**

- 1) Esferas solidas de vidrio con 90% de redondez de acuerdo con el método de prueba D1155. Las esferas deben ser calificadas de manera que tengan un mínimo de 90% de peso que pasa el No. 60 de tamiz y retenga No. 80.



**Figura 13. Esferas sólidas de vidrio**

- 2) Recipiente de metal o de plástico de forma cilíndrica con un volumen interno predeterminado de al menos 25000 mm<sup>3</sup>



**Figura 14. Recipiente de volumen = 25000 mm<sup>3</sup>**

- 3) Herramienta esparcidora o enrasador de aproximadamente (25 mm) de espesor de 2,5 a 3,0 pulgadas (60 a 75 mm) de diámetro para esparcir la arena.



**Figura 15. Herramienta esparcidora**

- 4) Cepillo de cerdas suaves, o ambos para limpiar a fondo la superficie del pavimento antes de la aplicación de la muestra de material.



**Figura 16. Cepillo de cerdas**

## 5) Regla graduada



**Figura 17. Regla graduada**

## 6) Elemento para proteger la muestra de material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.



**Figura 18. Elemento de protección del material**

- **PROCEDIMIENTO**

- Inspeccione la superficie del pavimento a ser medida y seleccione un área seca y homogénea que no tenga características localizadas como grietas o juntas.
- Limpiar a fondo la superficie usando aire comprimido o un cepillo de cerdas suaves, o ambos, con el fin de eliminar cualquier residuo visible, escombros, o partículas sueltas de la superficie.
- Colocar el elemento de protección del material de muestra. En este caso se utilizará una llanta.
- Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base del cilindro en una superficie rígida.
- Vierta el volumen medido (25000 mm<sup>3</sup>) en la superficie limpia dentro del área protegida con el parabrisas.
- Esparza cuidadosamente el material en un parche circular con el disco de goma y cúbralo del lado contrario, llenando los huecos de la superficie con las partículas agregadas.
- Mida y registre el diámetro del área circular cubierta con el material en un mínimo de cuatro lugares igualmente esparcidos alrededor de la circunferencia de la muestra.
- Calcule y registre el promedio del diámetro.
- El mismo operador debe realizar al menos cuatro mediciones aleatorias de la profundidad media de la macrotextura del pavimento en una prueba de pavimento de una superficie dada.
- Calcular el promedio de la macrotextura del pavimento usando la siguiente ecuación.

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Donde:

MTD = profundidad de la macrotextura del pavimento, pulg. (mm)

V = volumen de muestra, pulg.<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>) → 25000 mm<sup>3</sup>

D = promedio del diámetro del área cubierta por el material, pulg. (mm)

- k) Para superficies de pavimento donde los diámetros medidos son mayores a 12 pulg. (305 mm), se recomienda que se use la mitad del volumen normal.



**Figura 19. Procesamiento de Ensayo Mancha de Arena**

### **2.2.2. Ensayo de Mancha de Arena en diferentes superficies de pavimento de la Red Vial del Ecuador**

Para el presente proyecto de investigación se realizó ensayos de mancha de arena en distintos tramos de la vía E35, los tramos donde se realizaron las mediciones fueron, Colibrí - Pintag y Cuenca – Azogues – Biblián, el motivo por el cual no se realizó el ensayo de la Mancha de Arena en el tramo Yambo - Ambato es porque la capa de rodadura tenía un grado de fisuramiento alto que no permitió realizar de forma correcta el ensayo, ya que se hubieran obtenido datos de macrotextura no confiables para una una correcta correlación.

En la figura 20 se muestra la condición de la superficie del pavimento del Tramo – Yambo.

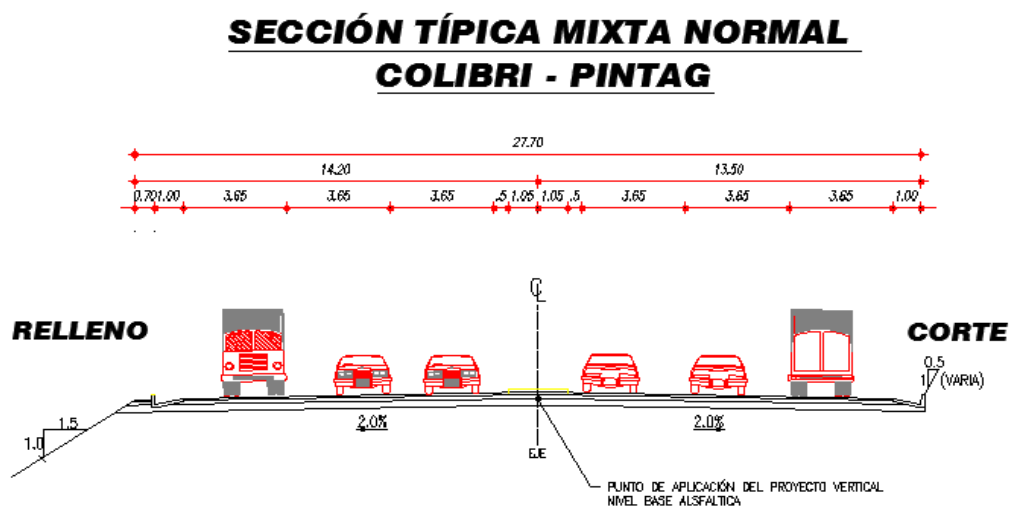


**Figura 20. Condición del Pavimento tramo Yambo - Ambato**

- **Tramo Colibrí – Pintag**

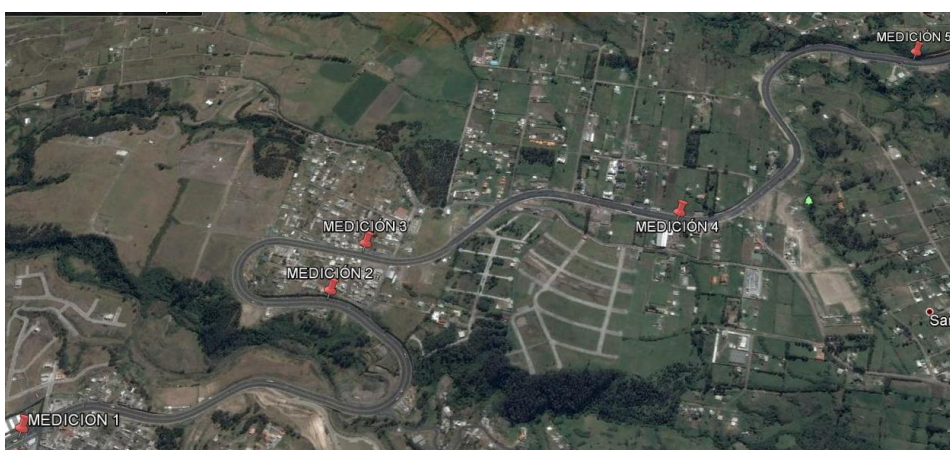
El tramo Colibrí – Pintag es parte de la arteria principal E35, está ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, consta de dos carriles por calzada, parterre central, espaldones y cunetas.

En la siguiente figura se muestra la sección típica del tramo Colibrí – Pintag.



**Figura 21. Sección Típica tramo Colibrí – Pintag**

En el tramo se realizaron cinco mediciones en sitios donde se notó diferentes texturas en la superficie de pavimento. (Ver Figura 22)



**Figura 22. Mediciones Mancha de Arena Tramo Colibrí - Pintag**

En la tabla 2 se muestra la descripción de las mediciones realizadas en el tramo.

**Tabla 2.**  
**Mediciones Colibrí - Pintag**

| Medición | ABSCISA (Km) | CALZADA | CARRIL  | Tipo de Textura |
|----------|--------------|---------|---------|-----------------|
| 1        | 0+920        | Derecha | Externo | Lisa            |
| 2        | 2+380        | Derecha | Externo | Rugosa          |
| 3        | 3+115        | Derecha | Interno | Rugosa          |
| 4        | 3+330        | Derecha | Externo | Áspera          |
| 5        | 6+580        | Derecha | Externo | Lisa            |

En la siguiente figura se muestra las mediciones del ensayo de Mancha de Arena en el tramo Colibrí – Pintag.

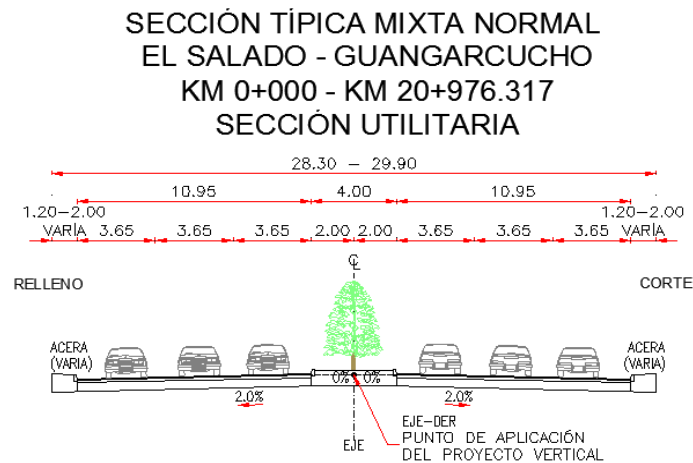


**Figura 23. Ensayo de Mancha de Arena Tramo Colibrí – Pintag**



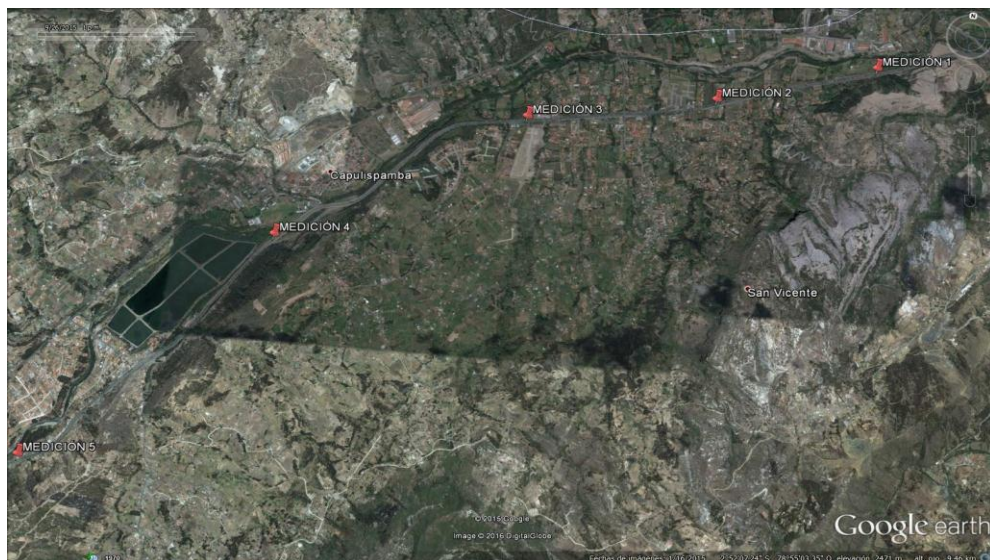
- **Tramo Cuenca – Azogues**

El tramo Cuenca – Azogues es parte de la arteria principal E35, está ubicado en la provincia de Azuay, consta de tres carriles por calzada, parterre central, espaldones y bordillos. En la siguiente figura se muestra la sección típica del tramo Cuenca –Azogues.



**Figura 24. Sección Típica tramo Cuenca – Azogues**

En el tramo se realizaron cinco mediciones en sitios donde se notó diferentes texturas en la superficie de pavimento. (Ver figura 25)



**Figura 25. Mediciones Mancha de Arena Tramo Cuenca – Azogues**

En la tabla 3 se muestra la descripción de las mediciones realizadas en el tramo.

**Tabla 3.**  
**Mediciones Cuenca – Azogues**

| Medición | ABSCISA (Km) | CALZADA   | CARRIL  | Tipo de Textura |
|----------|--------------|-----------|---------|-----------------|
| 1        | 2+954        | Izquierda | Externo | Rugosa          |
| 2        | 6+768        | Izquierda | Externo | Lisa            |
| 3        | 8+575        | Izquierda | Externo | Rugosa          |
| 4        | 12+900       | Izquierda | Externo | Lisa            |
| 5        | 17+600       | Izquierda | Externo | Rugosa          |

En la siguiente figura se muestra las mediciones del ensayo de Mancha de Arena en el tramo Cuenca – Azogues.



**Figura 26. Ensayo de Mancha de Arena Tramo Cuenca – Azogues**

## 2.3. MEDICIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL PERFILOMETRO LASER INERCIAL MARK III

### 2.3.1. Descripción del equipo Perfilómetro Laser

- **Principio de medida**

El principio de medida se basa en la medición de la distancia entre el pavimento y un sensor láser colocado en una barra en la parte anterior o posterior de un vehículo.

Con el desplazamiento del vehículo, la barra tiene un movimiento vertical que debe ser descontado para que el resultado sea exclusivamente la variación de cotas de la carretera.

Ello se consigue con un sistema de referencia inercial (acelerómetro) que permite conocer la distancia entre la barra y el piso en cada instante.



**Figura 27. Perfilómetro laser Inercial Mark III**

- **Elementos principales que lo componen**

- **Laser**

Registra diferencias de altura entre éste y la superficie del pavimento cuando se recorre la vía. EL modelo de sensor láser SLS 5000 SELCOM, se utiliza para la medición de la textura. Se les considera que son los mejores sensores láseres disponibles para tomar el perfil del pavimento.



**Figura 28. Sensor laser**

- **Acelerómetro**

Es un péndulo inercial que da la línea de referencia horizontal del vehículo. Los acelerómetros se adjuntan a la parte superior de los láseres utilizando una base magnética y se desprenden con facilidad para realizar el proceso de calibración.

Este tipo de acelerómetros tiene una sensibilidad de  $1\mu\text{g}$  equivalente a  $9.81 \times 10^{-6} \text{m/s}^2$



**Figura 29. Acelerómetro**

➤ **Lector de Distancia**

Registra la distancia recorrida por el vehículo. El odómetro de la rueda produce 2.000 pulsos por 1 revolución del neumático de vehículo por lo que es muy precisa y repetible.



**Figura 30. Odómetro**

➤ **Interfaces**

Convierten los registros analógicos del láser y del acelerómetro en valores digitales para el computador y viceversa.



**Figura 31. Unidad de procesamiento de datos**

➤ **Unidad de Geoposicionamiento (GPS)**

Datos de las coordenadas GPS pueden ser recogidos y almacenados con un receptor GPS opcional. En este equipo se trabaja con un GPS marca Trimble de precisión submétrica.



**Figura 32. GPS**

➤ **Computador**

Registra los valores medidos por el acelerómetro, el láser y el medidor de distancia, estableciendo el perfil longitudinal y determinando la rugosidad en términos de IRI, ahuellamiento y macrotextura.



**Figura 33. Computador**

**2.3.2. Aplicación de la norma ASTM (E 1845-15)**

➤ **Objetivos**

- a) Esta práctica cubre el cálculo de perfil medio de profundidad (MPD) desde un perfil de la macrotextura del pavimento.
- b) La profundidad perfil medio ha demostrado ser útil en la predicción de la constante de velocidad (gradiente) del pavimento mojado.
- c) Una transformación lineal de la profundidad de perfil medio puede proporcionar una estimación de la profundidad media de la textura medida de acuerdo al método de prueba E965 (Mancha de Arena).

➤ **Terminología**

- Base longitudinal – longitud de un segmento de la macrotextura del pavimento perfil siendo analizado, obligado a ser de 100 mm en esta práctica.
- Profundidad estimada de textura (ETD),  $n$  – estimación de la profundidad de textura (MTD), por medio de la transformación lineal del perfil medio (MPD).
- Profundidad del perfil (MPD),  $n$  - promedio de todas las profundidades los segmentos del perfil.
- Profundidad del segmento,  $n$  – valor promedio de la profundidad del perfil de las dos mitades de un segmento que tiene una base longitudinal dada.
- Profundidad de textura (MTD),  $n$  – profundidad de la superficie de la macrotextura del pavimento determinada por una técnica volumétrica del método de prueba E965.
- Profundidad del perfil (PD),  $n$  – diferencia entre la amplitud de mediciones de la macrotextura del pavimento y una línea horizontal a través de la parte superior del pico más alto dentro de una base longitudinal determinada

➤ **Importancia y uso**

Esta práctica es adecuada para el cálculo de la profundidad media de la macrotextura de datos del perfil. Los resultados de este cálculo (MPD) han demostrado ser útiles en la predicción de la velocidad de la fricción del pavimento mojado.

El MPD se puede utilizar para estimar el resultado de una medición de la profundidad de la macrotextura usando una técnica volumétrica de acuerdo con el método de ensayo E965. Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño finito de las esferas de vidrio usadas en la técnica volumétrica y



porque el MPD se deriva de un perfil bidimensional en lugar de una superficie tridimensional. Por lo tanto, una ecuación de transformación debe ser usada.

Esta práctica puede ser utilizada con los perfiles de la macrotextura del pavimento tomadas sobre superficies de carretera reales o a partir de núcleos o laboratorio prepararon muestras.

#### ➤ **Requisitos del perfil**

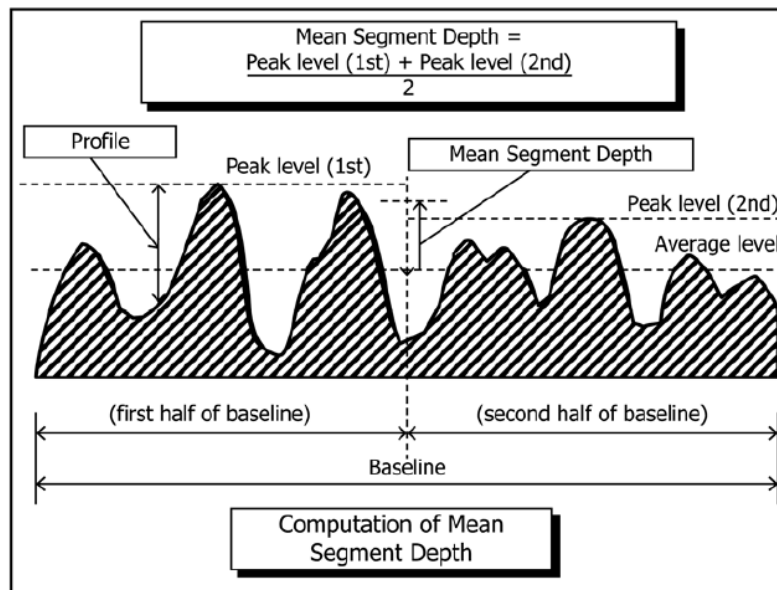
Un requisito mínimo serán 10 perfiles espaciados de 100 mm de longitud por cada 100 m de la sección de prueba. Sin embargo, para una sección de prueba uniforme, es suficiente tener 16 perfiles espaciados uniformemente independientemente de la longitud de sección de pruebas. Para superficies con textura periódica (es decir, acanalados o alambrados) la longitud total del perfil debe incluir por lo menos diez periodos de la textura.

El tamaño máximo para un láser u otros dispositivos ópticos no deberá ser superior a 1 mm. El estilo en un contacto dispositivo tendrá una punta que tiene un diámetro mayor no superior que 1 mm.

Los ángulos entre el dispositivo radiante emisor y la superficie entre el dispositivo receptor de radiación y la superficie no debe ser más de 30°. El ángulo de la pluma respecto a la superficie no será más de 30°, los ángulos mayores subestimarán las texturas profundas.

#### ➤ **Procesamiento de datos**

- **Segmentación del Perfil** - El perfil medido deberá estar dividido en segmentos de  $100 \pm 2$  mm para el análisis en los pasos posteriores de esta práctica (Ver Figura 34).



**Figura 34. Procedimiento de cálculo del MPD**

- **Determinación de pico** - Cada segmento será dividido en dos longitudes iguales de 50 mm y se toma el máximo valor del perfil se de cada longitud. Estos dos valores se promediaron aritméticamente para obtener la profundidad del segmento medio. (Ver Figura 34).
- **Determinación de MPD**- El valor promedio de la media de profundidades del segmento para todos los segmentos del perfil medido deberá ser promediado para obtener la profundidad del perfil media (MPD).
- **Cálculo de ETD (opcional)**: el MPD puede ser transformado a un estimado de profundidad de textura (ETD) mediante el uso de la siguiente ecuación de transformación:

$$ETD = 0.2 + 0.8 \text{ MPD}$$

Donde:

MPD y ETD están expresados en mm.

El uso de esta transformación debe dar valores ETD que están cerca de los valores de MTD con la técnica volumétrica de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM E965-15. Sin embargo, se debe tener precaución al hacer la comparación con ETD que no toma en cuenta las cavidades cóncavas de la superficie del pavimento, en cambio al realizar el ensayo del MTD si se toma en cuenta éste parámetro.

### **2.3.3. Procedimiento de medición de la macrotextura**

Antes de realizar una medición con el Perfilómetro Inercial Mark III se deben calibrar las siguientes partes del equipo:

1. DMI (Medidor de Distancia)
2. Acelerómetros
3. Dispositivos Láser

#### **➤ DMI (Medidor de Distancia)**

Para calibrar el DMI se debe contar con una sección de pavimento de longitud conocida, con el inicio y el final bien demarcados. El perfilómetro es conducido sobre la sección y los datos del inicio y final de la sección de prueba son grabados en el sistema de adquisición de datos. La longitud correcta de la sección de prueba es ingresada en el software, y el software calcula un factor de calibración para el DMI. Para el presente proyecto se realizó la calibración del medidor de distancia, obteniéndose como resultado un error del 0.03 % (Valor max aceptable 1 %), lo que garantiza la confiabilidad de las distancias que van a hacer recorridas. (Ver figura 35).

Distance Measuring Instrument

Serial Number

Counts per 10 km

Pulses per revolution

Direction

Flip

Flop

20 Counts equal 24.4 mm

Current reading

Calibration Procedure

1. Select a straight calibration section of known length.
2. Enter the length of the section here:  km
3. Park at the starting point and press this button:
4. Now drive towards the ending point.
5. Slow down and stop exactly at the end of the section.
6. Now press this button:
7. Press Apply to accept this new calibration figure:

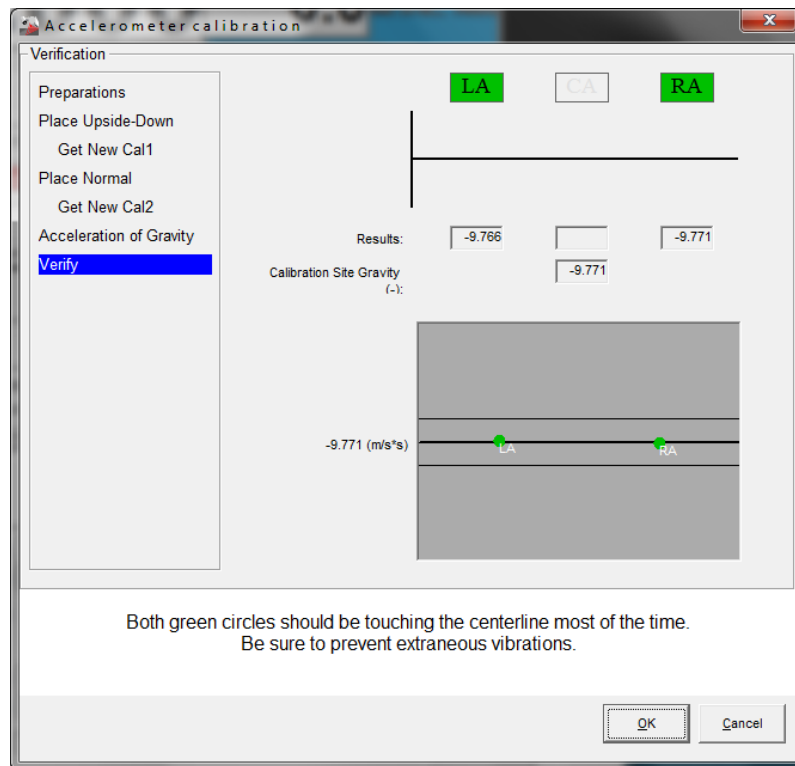
The change will be  %

9/22/2015 7:51:19 AM -

**Figura 35. Pantalla de Calibración (DMI)**

### ➤ **Acelerómetros**

Son calibrados estáticamente utilizando la gravedad de la tierra como parámetro (se toman dos lecturas de aceleración, una con los acelerómetros colocados con la cabeza hacia abajo, y la otra con la cabeza hacia arriba, la diferencia entre las lecturas debe corresponder a dos veces la gravedad de la tierra). En la siguiente figura se muestra la pantalla de calibración donde se observa que los acelerómetros alineados correctamente.



**Figura 36. Calibración de Acelerómetros**

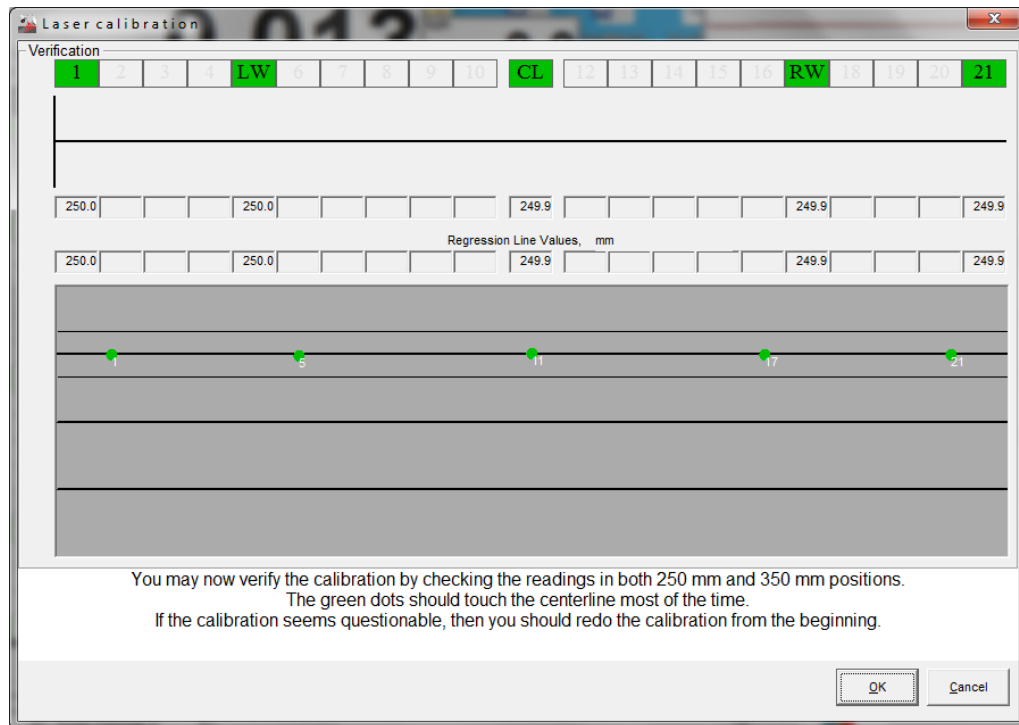
- **Dispositivos Láser**

Se utiliza una “barra de calibración” que se coloca a dos niveles diferentes (separados 100 mm), esta distancia es medida por los dispositivos láser y es utilizada automáticamente para su calibración. (Ver figura 37).



**Figura 37. Barra de calibración**

En la siguiente figura se muestra la pantalla de calibración de los láser que se realizó para el proyecto, donde se muestra que la posición de los mismos es la correcta. (Figura 38)

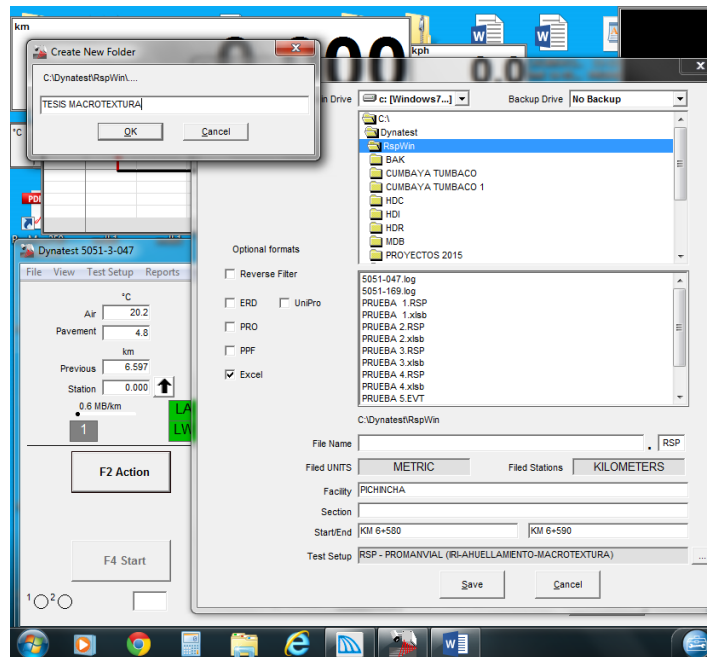


**Figura 38. Pantalla de Calibración de los dispositivos Láser**

La calibración del equipo debe realizarse mensualmente si su uso es constante. En caso de que el uso disminuya, la frecuencia de calibración puede disminuirse. Es importante tener claro, que los únicos procedimientos de calibración a los que se somete el RSP, son los recomendados por el fabricante porque en sus procedimientos se pueden establecer los ajustes que sean necesarios.

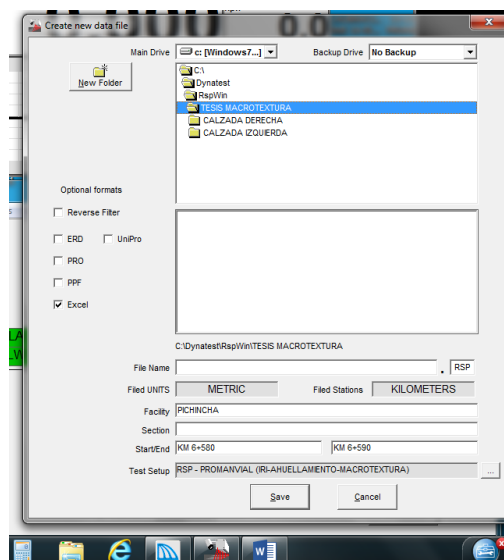
Para el proceso de medición de la macrotextura con el Perfilómetro se utilizó el software Dynatest Control y se sigue el siguiente procedimiento.

- a) Se crea una carpeta nueva y se guarda en el directorio que el usuario desee.



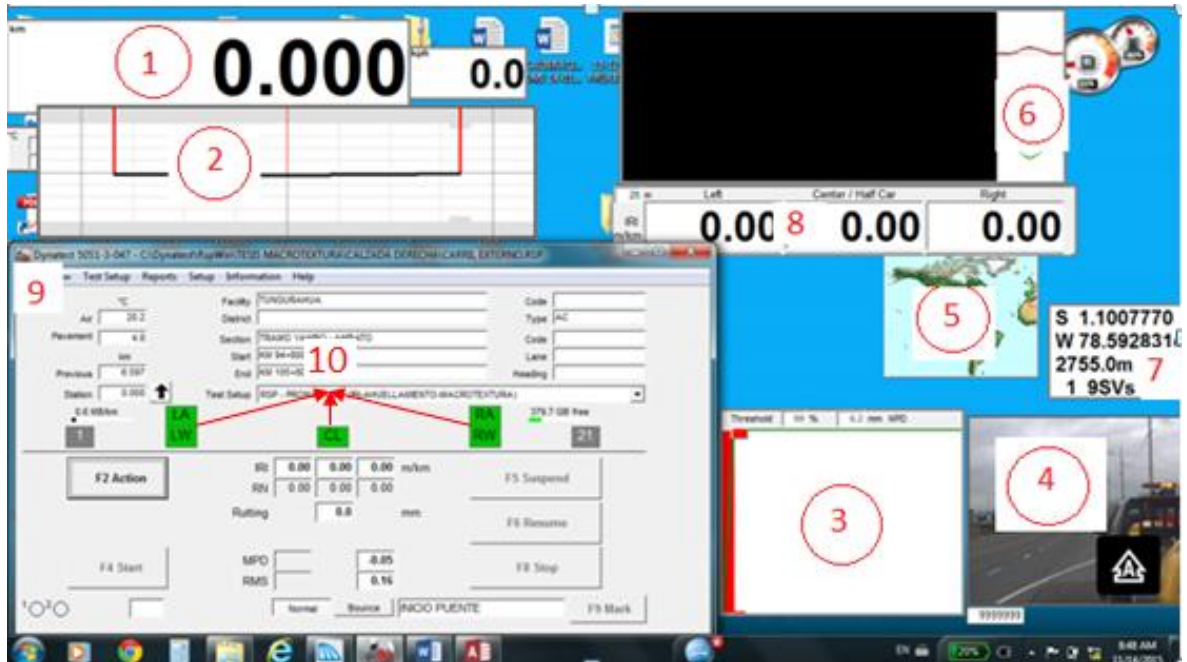
**Figura 39. Nuevo proyecto Dynatest Control**

- b) Creamos una subcarpeta donde guardaremos la información de las mediciones de los carriles que conforman la calzada derecha e izquierda del tramo de evaluación. (Yambo - Ambato)



**Figura 40. Nombre del archivo de medición**

- c) Abrimos el Programa (Dynatest Control) y se despliega el siguiente interfaz para el usuario que vaya a utilizarlo.



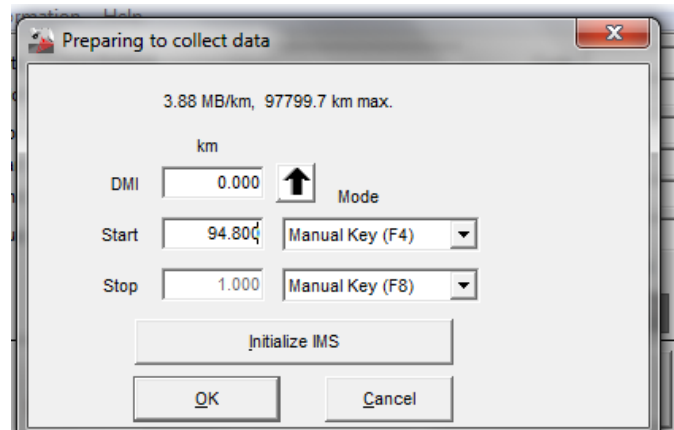
**Figura 41. Interfaz de Usuario Dynatest Control**

A continuación, se detallan las partes del interfaz del programa.

1. Odómetro
2. Posición de la Barra de Medición
3. Gráfico de datos de macrotextura durante la medición
4. Cámara Fotográfica
5. Mapa de ubicación
6. Grafico del perfil transversal
7. Datos de GPS
8. Datos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)
9. Ventana de información y parámetros de medición del proyecto.
10. Lasers para la medición de la macrotextura e IRI

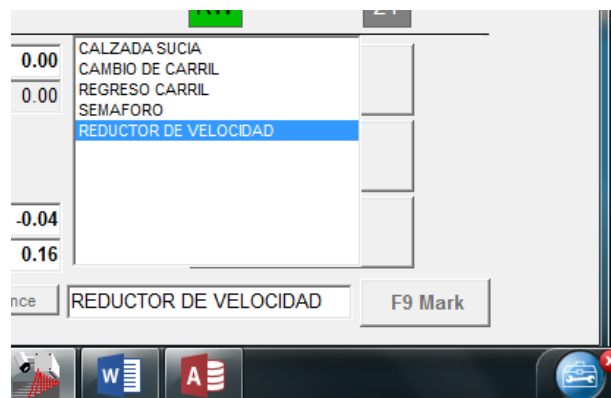


- d) Una vez configurados los parámetros de medición ingresamos la abscisa de inicio Km 94+800, y la dirección del odómetro hacia adelante.



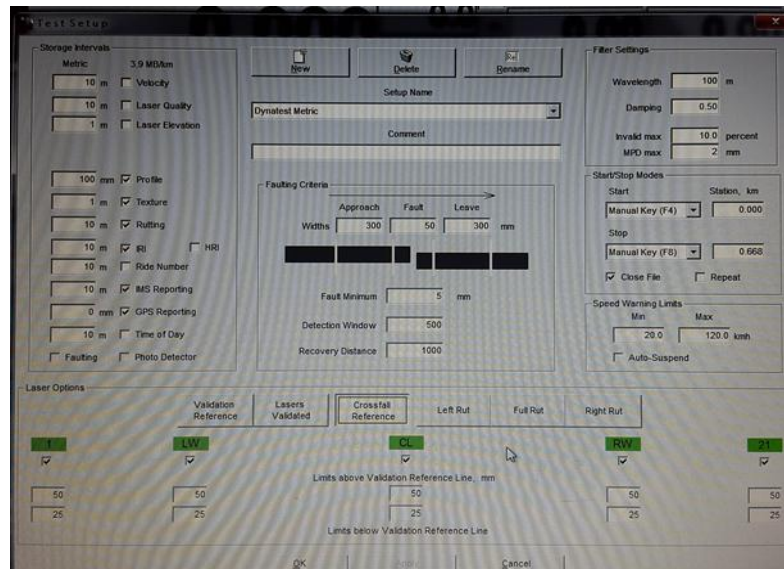
**Figura 42. Parámetros de inicio de medición**

- e) Dentro del software se crea los posibles eventos que se tendrán cuando se realice la medición del tramo como por ejemplo reductor de velocidad, semáforos, cambio de carril, regreso de carril, calzada sucia; los datos que se encuentren en éstas abscisas no serán tomados en cuenta para el análisis ya que no serían confiables para una correcta correlación.



**Figura 43. Creación de eventos**

La medición del tramo Yambo – Ambato se la realizó en dos fechas, la primera el martes 17 de marzo de 2015 y la segunda el sábado 14 de noviembre de 2015. Para la evaluación, se realizó la siguiente configuración de prueba:



**Figura 44. Configuración establecida para tramo de prueba**

En la figura se puede observar los siguientes parámetros de medición:

- Datos de Velocidad se guardarán cada 10 metros.
- Datos de macrotextura se tendrá cada metro.
- Geo-referenciación constante de la Ruta E35.

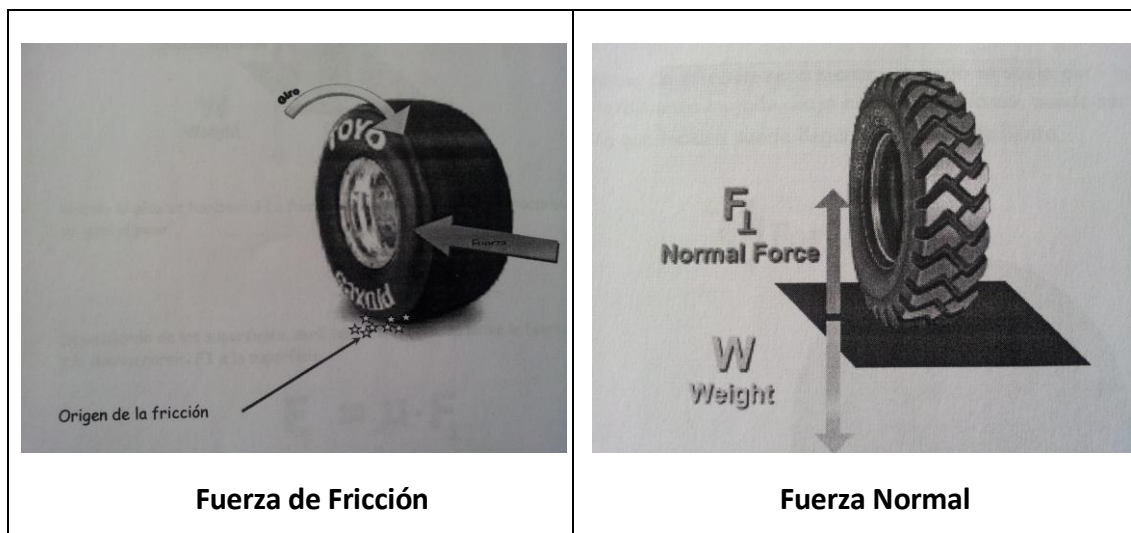
La información tomada en campo se encuentra en el Anexo No.1 para los dos carriles de cada calzada del tramo evaluado.

## 2.4. MEDICIÓN DE LA MICROTEXTURA CON EL EQUIPO MU –METER MK6

Adicionalmente se realizó la medición del coeficiente de fricción (Micro- textura), para el tramo de evaluación (Yambo - Ambato).

### ➤ Coeficiente de fricción

La fricción es el rozamiento entre dos cuerpos en contacto (neumático y superficie del pavimento), como resultado del rozamiento se produce una fuerza que se opone al movimiento de los cuerpos. A esta fuerza de oposición, se la llama fuerza de fricción  $F_f$ ; La fuerza perpendicular a la superficie se llama Fuerza Normal  $F_1$  (Ver Figura 45).



**Figura 45. Esquema Conceptual de Fuerzas de Fricción y Normal**

El coeficiente de Fricción será entonces la relación entre la fuerza de Fricción y la Fuerza Normal, de acuerdo a la siguiente relación:

$$F_f = \mu \cdot F_1$$

Donde  $\mu$  (mu) es el coeficiente de fricción, que no es otra cosa que un número que indica la proporcionalidad entre ambas fuerzas.

➤ **Características de la fricción**

- La fricción suele ser suficiente cuando la superficie está seca.
- En un pavimento húmedo, el agua actúa como lubricante que reduce el contacto directo neumático – superficie.
- Si la película de agua llega a ser muy espesa o la velocidad del vehículo muy alta, los neumáticos pueden perder contacto con la superficie, creándose el fenómeno conocido como hidroplaneo.
- La fuerza de fricción será menor, cuando el suelo esté húmedo y menor aun cuando esté totalmente mojado. Bajo estas condiciones, puede ser tan bajo el coeficiente de fricción que incluso puede llegar a patinar la llanta.
- Existen varios aparatos para medir el coeficiente de fricción, de todos ellos, el Mu-meter MK6 es un equipo que se ha usado como un estándar en la medición de fricción de aeropuertos, por lo que, al emplearse en carreteras, la prueba es muy confiable.
- La norma para realizar la medición es la ASTM E670.



**Figura 46. Equipo Mu- Meter**

## 2.5. INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTADO SUPERFICIAL

Se realizó una estimación visual de las áreas con fisuramientos y deformaciones.

Para determinar el Índice de Estado se llevo a cabo un inventario visual que permitió la obtención de la información necesaria para la determinación numérica cuantificable del índice de Estado.

Los parámetros de condición evaluados mediante “Criterios de apreciación visual” fueron los siguientes:

- D1 Baches descubiertos
- D2 Fisuras en bloque o piel de cocodrilo
- D3 Otras fisuras
- D4 Defectos de superficie
- D5 Comodidad de manejo

En la siguiente tabla se muestra una guía para interpretar los valores del índice de estado.

**Tabla 4.**  
**Valores y rangos para determinar el Índice de Estado**

| INDICE DE ESTADO | NIVEL DE SERVICIABILIDAD | DESCRIPCION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO  |
|------------------|--------------------------|--|
| 85 - 100         | Muy Bueno                | Pavimento en condición Muy Buena; circulación muy confortable, superficie uniforme. No se observan daños o eventualmente estos son ocasionales y poco significativos |
| 60 - 85          | Bueno                    | Pavimento en condición Buena a Regular; circulación confortable. Se observan fallas incipientes aunque de tipo localizado  |
| 40 - 60          | Regular                  | Pavimento en condición Regular; circulación poco confortable, daños manifiestos y frecuentes. El pavimento se aproxima al fin de su vida útil                        |
| 25 - 40          | Malo                     | Pavimento en condición deficiente; circulación no confortable, daños en proceso de generación. El pavimento ha alcanzado su vida útil                                |
| 0 - 25           | Muy Malo                 | Condición deficiente; circulación pésima. Daños completamente generalizados e irreversibles  |

### 3. CAPÍTULO III: PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE LA NORMA ASTM E-965-15

##### 3.1.1. Presentación de resultados (Mancha de Arena)

En el apartado 2.2.2 del presente proyecto se mencionan los sitios en los cuales se realizó el ensayo de mancha de arena para determinar la macrotextura.

En el tramo Colibrí – Pintag se realizaron 20 mediciones cada 0.50 m en las abscisas: 0+920; 2+380; 3+330, y 10 mediciones cada 1.00 m en las abscisas 3+115 y 6+580. En la siguiente figura se muestra el ensayo de mancha de arena realizado en éstos lugares.

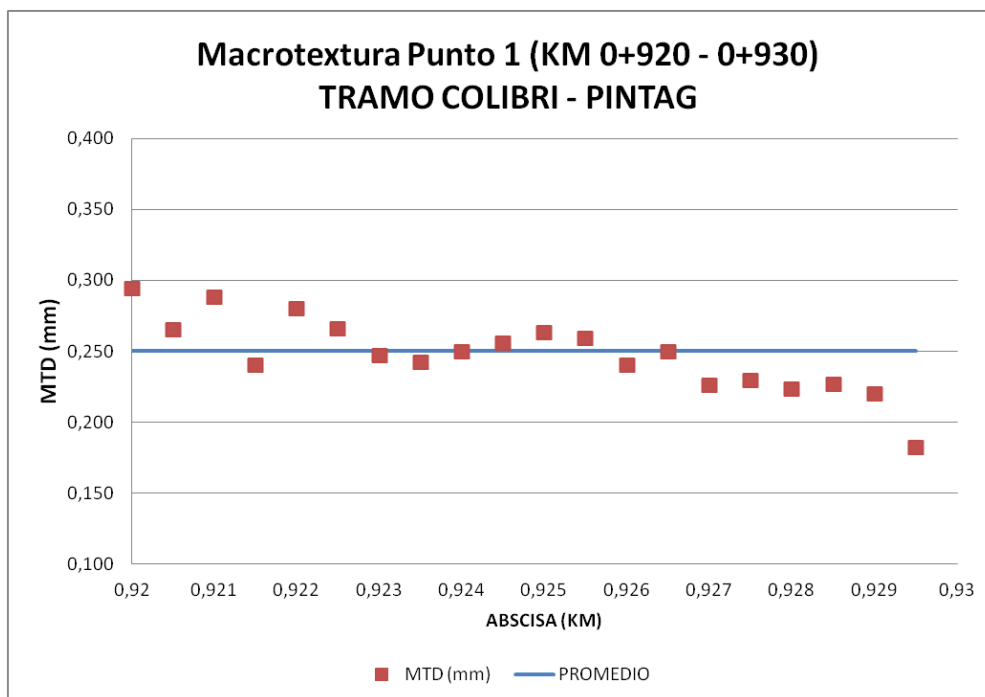


**Figura 47. Mancha de Arena tramo Colibrí - Pintag**

En las siguientes tablas y gráficas se presentan los resultados de macrotextura mediante el ensayo de mancha de Arena en los cinco sitios de medición en el tramo Colibrí – Pintag.

**Tabla 5.**  
**Datos de Macrotextura (Km: 0+920 – 0+930)-Colibrí - Pintag**

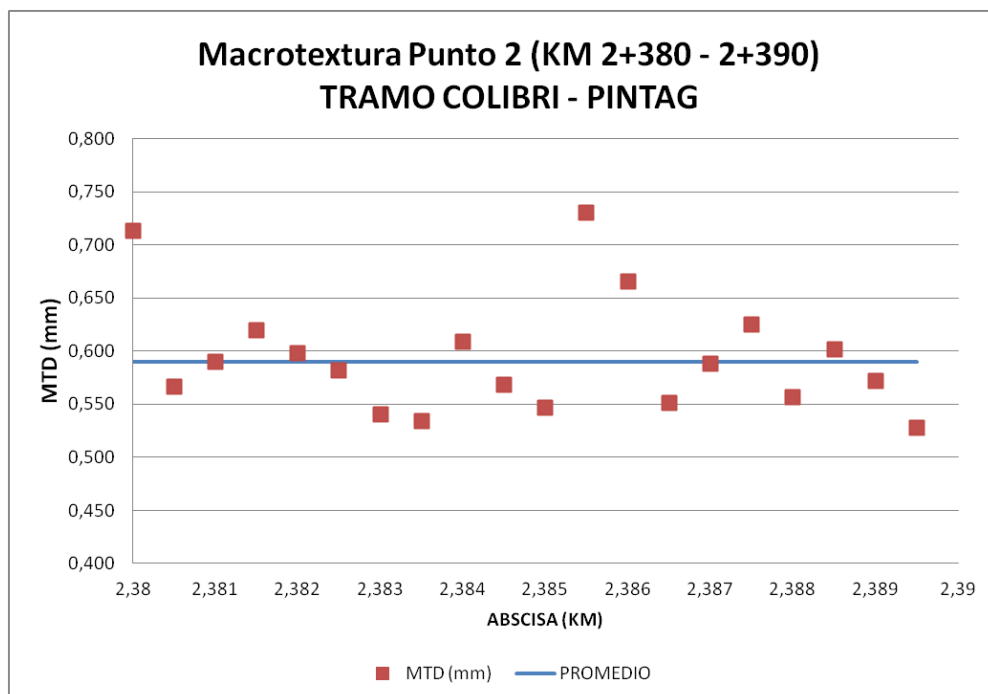
| KM 0+920 - 0+930 | VOLUMEN |        | 12500 mm <sup>3</sup> |         | D promedio (mm)                      | MTD (mm)      |
|------------------|---------|--------|-----------------------|---------|--------------------------------------|---------------|
|                  | D1(mm)  | D2(mm) | D3(mm)                | D4 (mm) |                                      |               |
| P1               | 220     | 250    | 230                   | 230     | 232.50                               | 0.294         |
| P2               | 250     | 250    | 230                   | 250     | 245.00                               | 0.265         |
| P3               | 210     | 250    | 250                   | 230     | 235.00                               | 0.288         |
| P4               | 260     | 240    | 250                   | 280     | 257.50                               | 0.240         |
| P5               | 250     | 215    | 240                   | 248     | 238.25                               | 0.280         |
| P6               | 255     | 234    | 245                   | 245     | 244.75                               | 0.266         |
| P7               | 250     | 265    | 246                   | 254     | 253.75                               | 0.247         |
| P8               | 260     | 245    | 265                   | 255     | 256.25                               | 0.242         |
| P9               | 265     | 245    | 240                   | 260     | 252.50                               | 0.250         |
| P10              | 260     | 243    | 240                   | 255     | 249.50                               | 0.256         |
| P11              | 245     | 255    | 244                   | 240     | 246.00                               | 0.263         |
| P12              | 240     | 248    | 253                   | 250     | 247.75                               | 0.259         |
| P13              | 255     | 275    | 250                   | 250     | 257.50                               | 0.240         |
| P14              | 237     | 250    | 278                   | 245     | 252.50                               | 0.250         |
| P15              | 260     | 253    | 268                   | 280     | 265.25                               | 0.226         |
| P16              | 275     | 253    | 255                   | 270     | 263.25                               | 0.230         |
| P17              | 255     | 260    | 273                   | 280     | 267.00                               | 0.223         |
| P18              | 255     | 263    | 277                   | 265     | 265.00                               | 0.227         |
| P19              | 265     | 260    | 280                   | 270     | 268.75                               | 0.220         |
| P20              | 290     | 298    | 300                   | 294     | 295.50                               | 0.182         |
|                  |         |        |                       |         | <b>PROMEDIO</b>                      | <b>0.25</b>   |
|                  |         |        |                       |         | <b>DESVEST</b>                       | <b>0.026</b>  |
|                  |         |        |                       |         | <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> | <b>10.555</b> |



**Figura 48. Macrotextura KM 0+920 – 0+93**

**Tabla 6.**  
**Datos de Macrotextura (Km: 2+380 – 2+390)-Colibrí – Pintag**

| KM 2+380 - 2+390                     | VOLUMEN               |        |        |         | D promedio (mm) | MTD (mm)     |
|--------------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------|-----------------|--------------|
|                                      | 25000 mm <sup>3</sup> |        |        |         |                 |              |
|                                      | D1(mm)                | D2(mm) | D3(mm) | D4 (mm) |                 |              |
| P1                                   | 215                   | 210    | 205    | 215     | 211.25          | 0.713        |
| P2                                   | 227                   | 234    | 247    | 240     | 237.00          | 0.567        |
| P3                                   | 235                   | 224    | 234    | 236     | 232.25          | 0.590        |
| P4                                   | 210                   | 225    | 237    | 235     | 226.75          | 0.619        |
| P5                                   | 216                   | 222    | 236    | 249     | 230.75          | 0.598        |
| P6                                   | 240                   | 230    | 228    | 238     | 234.00          | 0.581        |
| P7                                   | 230                   | 236    | 250    | 255     | 242.75          | 0.540        |
| P8                                   | 260                   | 244    | 231    | 242     | 244.25          | 0.534        |
| P9                                   | 224                   | 229    | 232    | 230     | 228.75          | 0.608        |
| P10                                  | 240                   | 225    | 234    | 248     | 236.75          | 0.568        |
| P11                                  | 245                   | 237    | 240    | 243     | 241.25          | 0.547        |
| P12                                  | 205                   | 204    | 226    | 200     | 208.75          | 0.730        |
| P13                                  | 200                   | 210    | 240    | 225     | 218.75          | 0.665        |
| P14                                  | 244                   | 238    | 235    | 244     | 240.25          | 0.551        |
| P15                                  | 243                   | 226    | 227    | 235     | 232.75          | 0.588        |
| P16                                  | 227                   | 223    | 228    | 225     | 225.75          | 0.625        |
| P17                                  | 238                   | 220    | 254    | 245     | 239.25          | 0.556        |
| P18                                  | 227                   | 225    | 228    | 240     | 230.00          | 0.602        |
| P19                                  | 224                   | 236    | 243    | 241     | 236.00          | 0.572        |
| P20                                  | 246                   | 248    | 242    | 246     | 245.50          | 0.528        |
| <b>PROMEDIO</b>                      |                       |        |        |         |                 | <b>0.59</b>  |
| <b>DESVEST</b>                       |                       |        |        |         |                 | <b>0.055</b> |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |                       |        |        |         |                 | <b>9.321</b> |

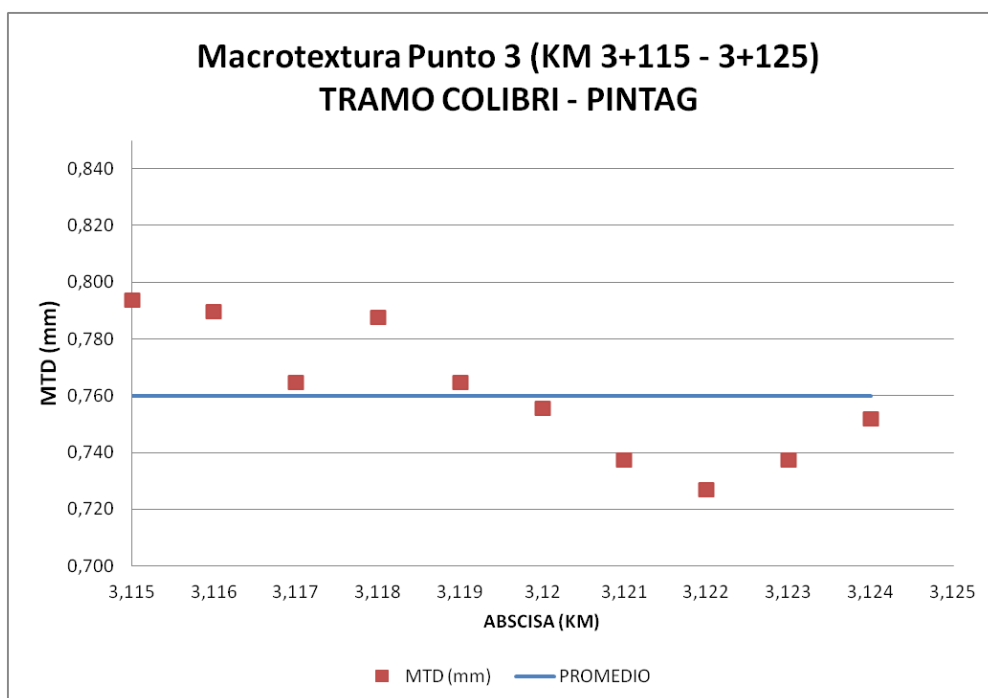


**Figura 49. Macrotextura KM 2+380 – 2+390**



**Tabla 7.**  
**Datos de Macrotextura (Km: 3+115 – 3+125)-Colibrí – Pintag**

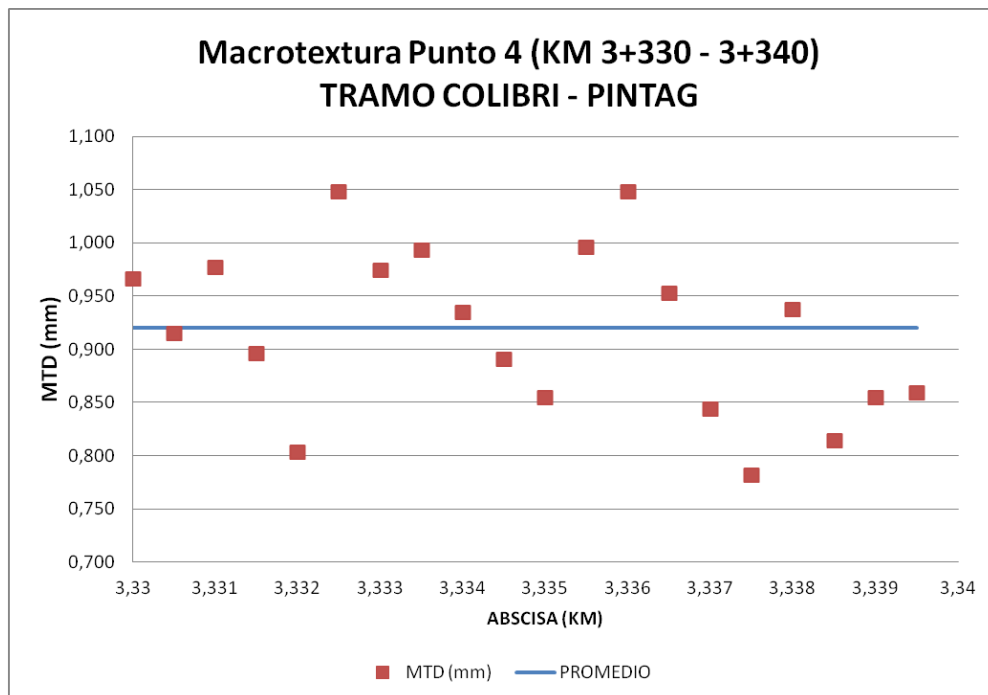
| KM 3+115 - 3+125                     | VOLUMEN | 25000 mm <sup>3</sup> |        |         | D promedio (mm) | MTD (mm)     |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|-----------------|--------------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |                 |              |
| P1                                   | 204     | 203                   | 198    | 196     | 200.25          | 0.794        |
| P2                                   | 205     | 195                   | 200    | 203     | 200.75          | 0.790        |
| P3                                   | 208     | 205                   | 203    | 200     | 204.00          | 0.765        |
| P4                                   | 200     | 200                   | 200    | 204     | 201.00          | 0.788        |
| P5                                   | 205     | 207                   | 204    | 200     | 204.00          | 0.765        |
| P6                                   | 210     | 207                   | 200    | 204     | 205.25          | 0.756        |
| P7                                   | 210     | 210                   | 205    | 206     | 207.75          | 0.738        |
| P8                                   | 212     | 214                   | 207    | 204     | 209.25          | 0.727        |
| P9                                   | 207     | 210                   | 208    | 206     | 207.75          | 0.738        |
| P10                                  | 206     | 208                   | 205    | 204     | 205.75          | 0.752        |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |                 | <b>0.76</b>  |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |                 | <b>0.024</b> |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |                 | <b>3.107</b> |



**Figura 50. Macrotextura KM 3+115 – 3+12**

**Tabla 8.**  
**Datos de Macrotextura (Km: 3+330 – 3+340)-Colibrí – Pintag**

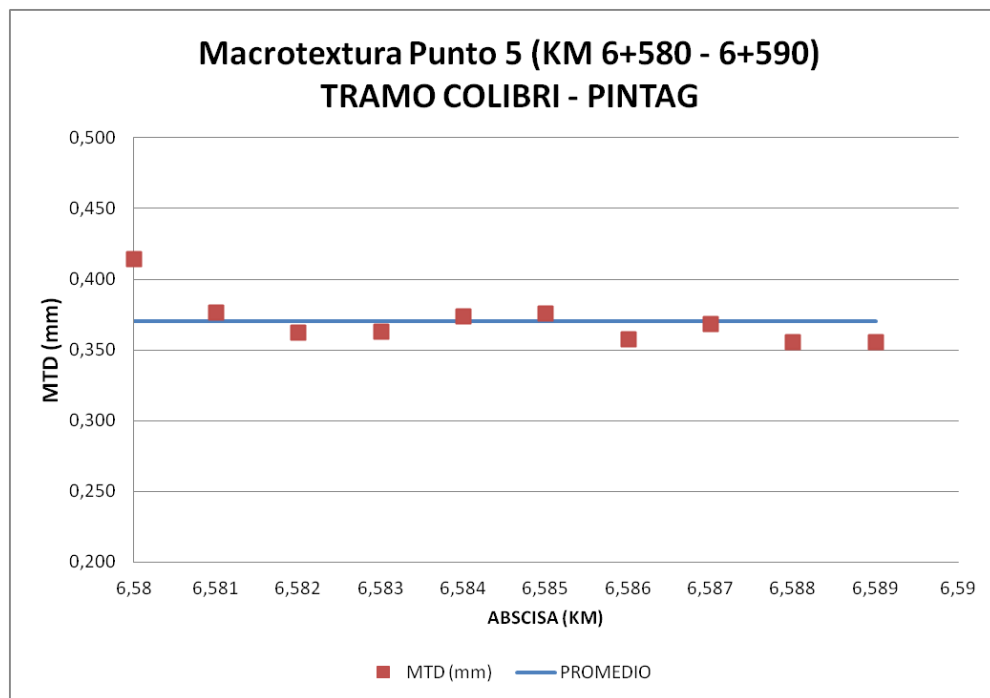
| KM 3+330 - 3+340                     | VOLUMEN               |         |         |         | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-----------------|----------|
|                                      | 25000 mm <sup>3</sup> |         |         |         |                 |          |
|                                      | D1 (mm)               | D2 (mm) | D3 (mm) | D4 (mm) |                 |          |
| P1                                   | 185                   | 170     | 173     | 198     | 181.50          | 0.966    |
| P2                                   | 186                   | 190     | 180     | 190     | 186.50          | 0.915    |
| P3                                   | 183                   | 194     | 175     | 170     | 180.50          | 0.977    |
| P4                                   | 195                   | 196     | 183     | 180     | 188.50          | 0.896    |
| P5                                   | 214                   | 185     | 185     | 212     | 199.00          | 0.804    |
| P6                                   | 173                   | 170     | 174     | 180     | 174.25          | 1.048    |
| P7                                   | 168                   | 185     | 180     | 190     | 180.75          | 0.974    |
| P8                                   | 185                   | 171     | 176     | 184     | 179.00          | 0.993    |
| P9                                   | 175                   | 183     | 186     | 194     | 184.50          | 0.935    |
| P10                                  | 193                   | 183     | 185     | 195     | 189.00          | 0.891    |
| P11                                  | 200                   | 181     | 193     | 198     | 193.00          | 0.855    |
| P12                                  | 172                   | 183     | 185     | 175     | 178.75          | 0.996    |
| P13                                  | 165                   | 174     | 170     | 188     | 174.25          | 1.048    |
| P14                                  | 170                   | 193     | 195     | 173     | 182.75          | 0.953    |
| P15                                  | 193                   | 190     | 204     | 190     | 194.25          | 0.844    |
| P16                                  | 210                   | 216     | 190     | 191     | 201.75          | 0.782    |
| P17                                  | 181                   | 198     | 185     | 173     | 184.25          | 0.938    |
| P18                                  | 186                   | 210     | 210     | 185     | 197.75          | 0.814    |
| P19                                  | 177                   | 200     | 205     | 190     | 193.00          | 0.855    |
| P20                                  | 200                   | 177     | 190     | 203     | 192.50          | 0.859    |
| <b>PROMEDIO</b>                      |                       |         |         |         | <b>0.92</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |                       |         |         |         | <b>0.079</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |                       |         |         |         | <b>8.567</b>    |          |



**Figura 51. Macrotextura KM 3+330 – 3+340**

**Tabla 9.**  
**Datos de Macrotextura (Km: 6+580 – 6+590)-Colibrí – Pintag**

| KM 6+580 - 6+590                     | VOLUMEN | 25000 mm <sup>3</sup> |        |         |        | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |        |                 |          |
| P1                                   | 274     | 285                   | 275    | 275     | 277.25 | 0.414           |          |
| P2                                   | 285     | 290                   | 295    | 294     | 291.00 | 0.376           |          |
| P3                                   | 298     | 294                   | 296    | 298     | 296.50 | 0.362           |          |
| P4                                   | 297     | 294                   | 296    | 298     | 296.25 | 0.363           |          |
| P5                                   | 294     | 290                   | 290    | 294     | 292.00 | 0.373           |          |
| P6                                   | 286     | 290                   | 295    | 294     | 291.25 | 0.375           |          |
| P7                                   | 295     | 294                   | 300    | 305     | 298.50 | 0.357           |          |
| P8                                   | 294     | 288                   | 294    | 300     | 294.00 | 0.368           |          |
| P9                                   | 300     | 298                   | 300    | 300     | 299.50 | 0.355           |          |
| P10                                  | 295     | 300                   | 302    | 300     | 299.25 | 0.355           |          |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |        | <b>0.37</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |        | <b>0.017</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |        | <b>4.718</b>    |          |



**Figura 52. Macrotextura KM 6+580 – 6+590**

En el tramo Cuenca – Azogues se realizaron 10 mediciones cada 1.00 m en las abscisas: 2+954; 6+768; 8+575; 12+900 y 17+600. En la siguiente figura se muestra el ensayo de mancha de arena realizado en éstos lugares.

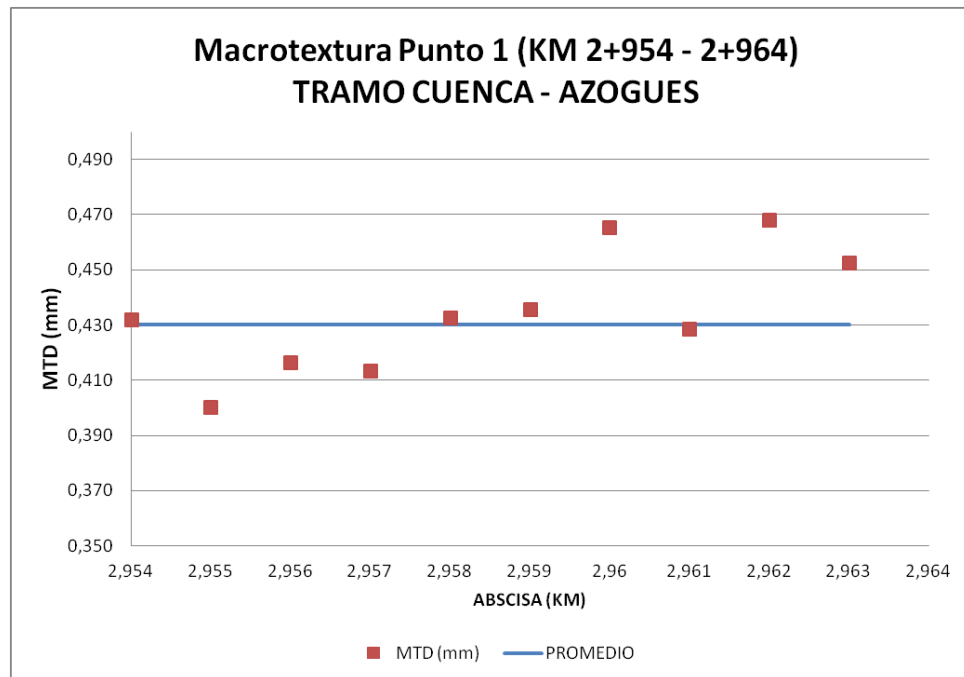


**Figura 53. Mancha de Arena tramo Cuenca - Azogues**

En las siguientes tablas y gráficas se presentan los resultados de macrotextura mediante el ensayo de mancha de Arena en los cinco sitios de medición en el tramo Cuenca - Azogues.

**Tabla 10.  
Datos de Macrotextura (Km:2+954 –2+964)-Cuenca- Azogues**

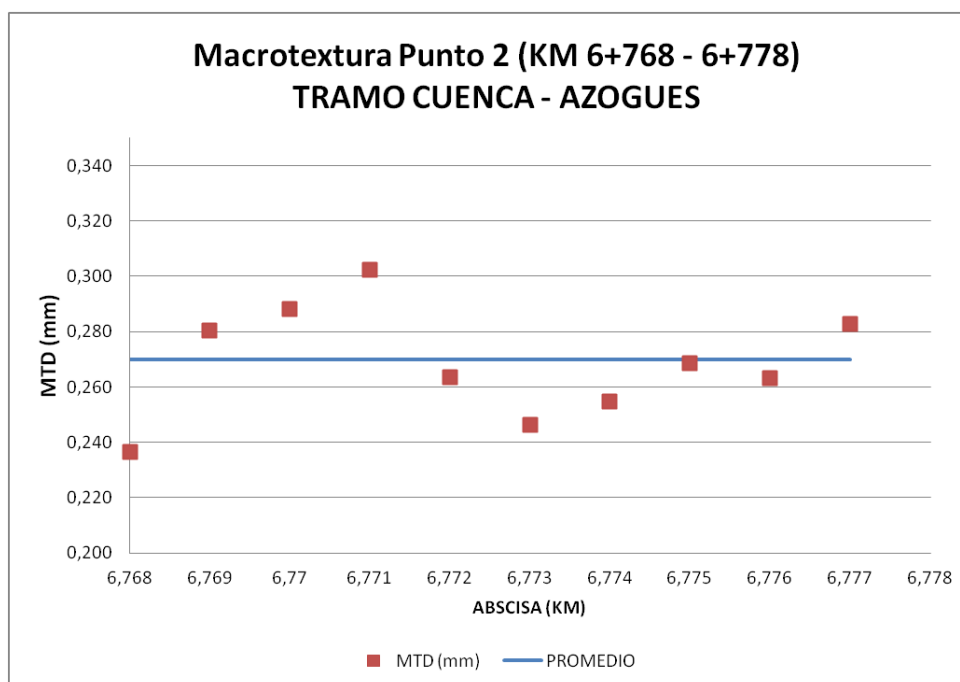
| KM 2+954 - 2+964                     | VOLUMEN | 25000 mm <sup>3</sup> |        |         | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |                 |          |
| P1                                   | 270     | 268                   | 270    | 278     | 271.50          | 0.432    |
| P2                                   | 280     | 283                   | 285    | 280     | 282.00          | 0.400    |
| P3                                   | 275     | 277                   | 278    | 276     | 276.50          | 0.416    |
| P4                                   | 285     | 274                   | 273    | 278     | 277.50          | 0.413    |
| P5                                   | 270     | 272                   | 268    | 275     | 271.25          | 0.433    |
| P6                                   | 269     | 260                   | 275    | 277     | 270.25          | 0.436    |
| P7                                   | 265     | 260                   | 258    | 263     | 261.50          | 0.465    |
| P8                                   | 280     | 273                   | 269    | 268     | 272.50          | 0.429    |
| P9                                   | 265     | 263                   | 260    | 255     | 260.75          | 0.468    |
| P10                                  | 265     | 264                   | 265    | 267     | 265.25          | 0.452    |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         | <b>0.43</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         | <b>0.022</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         | <b>5.094</b>    |          |



**Figura 54. Macrotextura KM 2+954 – 2+964**

**Tabla 11.**  
**Datos de Macrotextura (Km:6+768-6+778)-Cuenca Azogues**

| KM 6+768 - 6+778                     | VOLUMEN | 12500 mm <sup>3</sup> |        |         |        | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |        |                 |          |
| P1                                   | 256     | 255                   | 264    | 263     | 259.50 | 0.236           |          |
| P2                                   | 234     | 237                   | 242    | 240     | 238.25 | 0.280           |          |
| P3                                   | 238     | 242                   | 240    | 220     | 235.00 | 0.288           |          |
| P4                                   | 233     | 235                   | 228    | 222     | 229.50 | 0.302           |          |
| P5                                   | 248     | 245                   | 248    | 242     | 245.75 | 0.264           |          |
| P6                                   | 262     | 247                   | 255    | 253     | 254.25 | 0.246           |          |
| P7                                   | 257     | 252                   | 248    | 243     | 250.00 | 0.255           |          |
| P8                                   | 232     | 247                   | 250    | 245     | 243.50 | 0.268           |          |
| P9                                   | 232     | 250                   | 248    | 254     | 246.00 | 0.263           |          |
| P10                                  | 234     | 240                   | 242    | 233     | 237.25 | 0.283           |          |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |        | <b>0.27</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |        | <b>0.020</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |        | <b>7.492</b>    |          |

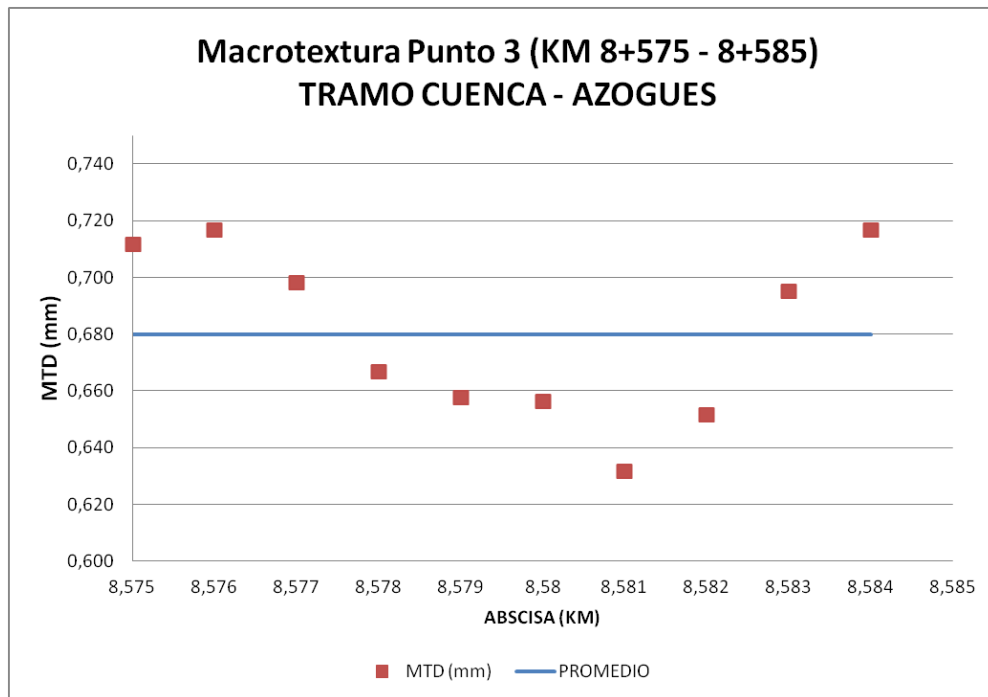


**Figura 55. Macrotextura KM 6+768 – 6+778**

**Tabla 12.**

**Datos de Macrotextura (Km:8+575-8+585)-Cuenca Azogues**

| KM 8+575 - 8+585                     | VOLUMEN | 25000 mm <sup>3</sup> |        |         |        | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |        |                 |          |
| P1                                   | 212     | 207                   | 211    | 216     | 211.50 | 0.712           |          |
| P2                                   | 207     | 210                   | 213    | 213     | 210.75 | 0.717           |          |
| P3                                   | 210     | 215                   | 216    | 213     | 213.50 | 0.698           |          |
| P4                                   | 217     | 219                   | 218    | 220     | 218.50 | 0.667           |          |
| P5                                   | 220     | 220                   | 215    | 225     | 220.00 | 0.658           |          |
| P6                                   | 217     | 218                   | 219    | 227     | 220.25 | 0.656           |          |
| P7                                   | 216     | 223                   | 232    | 227     | 224.50 | 0.632           |          |
| P8                                   | 220     | 223                   | 222    | 219     | 221.00 | 0.652           |          |
| P9                                   | 208     | 215                   | 213    | 220     | 214.00 | 0.695           |          |
| P10                                  | 210     | 210                   | 208    | 215     | 210.75 | 0.717           |          |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |        | <b>0.68</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |        | <b>0.031</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |        | <b>4.554</b>    |          |

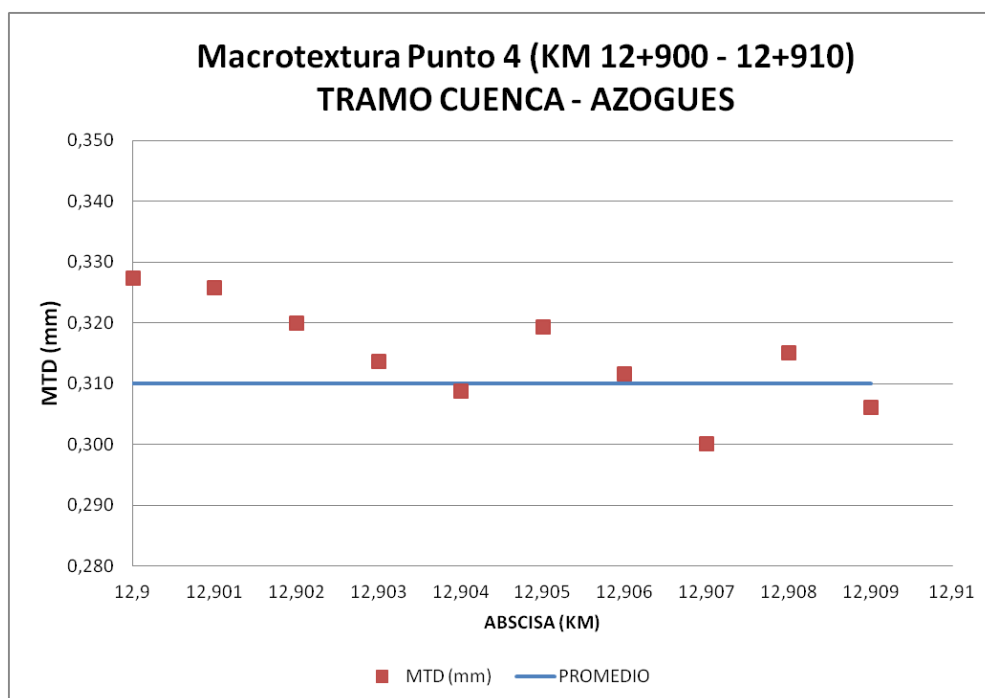


**Figura 56. Macrotextura KM 8+575 – 8+585**

**Tabla 13.**

**Datos de Macrotextura (Km:12+900-12+910)-Cuenca Azogues**

| KM 12+900 - 12+910                   | VOLUMEN | 12500 mm <sup>3</sup> |        |         |        | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |        |                 |          |
| P1                                   | 225     | 218                   | 216    | 223     | 220.50 | 0.327           |          |
| P2                                   | 218     | 223                   | 215    | 228     | 221.00 | 0.326           |          |
| P3                                   | 225     | 223                   | 222    | 222     | 223.00 | 0.320           |          |
| P4                                   | 223     | 218                   | 235    | 225     | 225.25 | 0.314           |          |
| P5                                   | 230     | 228                   | 223    | 227     | 227.00 | 0.309           |          |
| P6                                   | 225     | 225                   | 229    | 214     | 223.25 | 0.319           |          |
| P7                                   | 227     | 232                   | 230    | 215     | 226.00 | 0.312           |          |
| P8                                   | 230     | 242                   | 231    | 218     | 230.25 | 0.300           |          |
| P9                                   | 215     | 229                   | 232    | 223     | 224.75 | 0.315           |          |
| P10                                  | 232     | 224                   | 229    | 227     | 228.00 | 0.306           |          |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |        | <b>0.31</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |        | <b>0.009</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |        | <b>2.724</b>    |          |

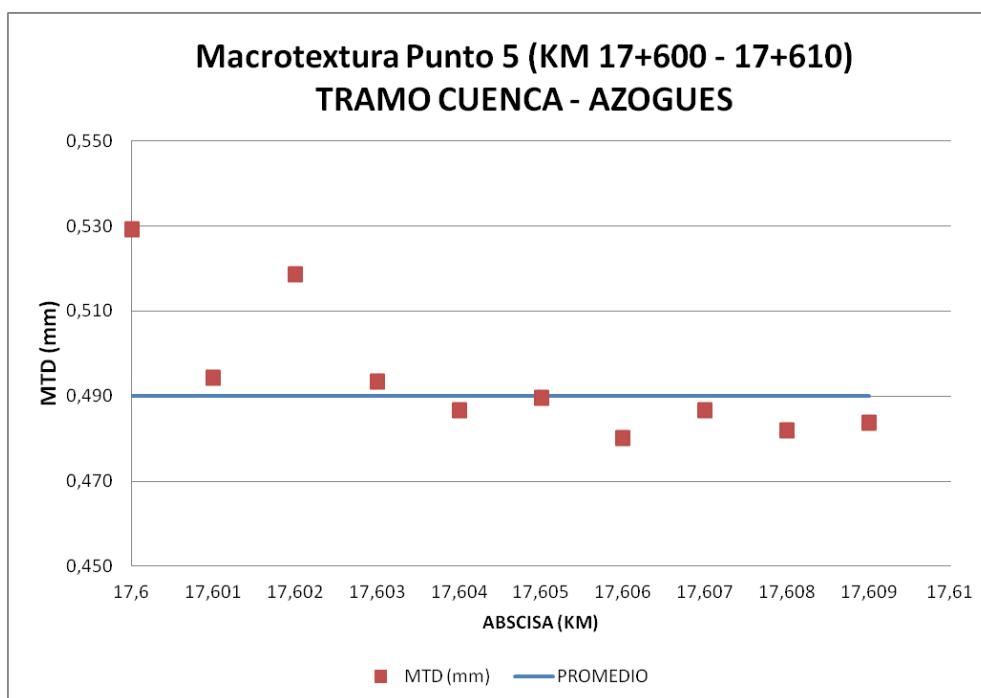


**Figura 57. Macrotextura KM 12+900 – 12+910**

**Tabla 14.**  
**Datos de Macrotextura (Km:17+600-17+610)-Cuenca Azogues**

| KM 17+600 - 17+610                   | VOLUMEN | 25000 mm <sup>3</sup> |        |         |        | D promedio (mm) | MTD (mm) |
|--------------------------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--------|-----------------|----------|
|                                      | D1(mm)  | D2(mm)                | D3(mm) | D4 (mm) |        |                 |          |
| P1                                   | 243     | 244                   | 240    | 254     | 245.25 | 0.529           |          |
| P2                                   | 250     | 255                   | 254    | 256     | 253.75 | 0.494           |          |
| P3                                   | 244     | 245                   | 252    | 250     | 247.75 | 0.519           |          |
| P4                                   | 255     | 256                   | 250    | 255     | 254.00 | 0.493           |          |
| P5                                   | 250     | 256                   | 257    | 260     | 255.75 | 0.487           |          |
| P6                                   | 250     | 260                   | 260    | 250     | 255.00 | 0.490           |          |
| P7                                   | 260     | 254                   | 258    | 258     | 257.50 | 0.480           |          |
| P8                                   | 262     | 255                   | 250    | 256     | 255.75 | 0.487           |          |
| P9                                   | 261     | 258                   | 255    | 254     | 257.00 | 0.482           |          |
| P10                                  | 257     | 256                   | 256    | 257     | 256.50 | 0.484           |          |
| <b>PROMEDIO</b>                      |         |                       |        |         |        | <b>0.49</b>     |          |
| <b>DESVEST</b>                       |         |                       |        |         |        | <b>0.016</b>    |          |
| <b>COEFICIENTE DE VARIABILIDAD %</b> |         |                       |        |         |        | <b>3.313</b>    |          |





**Figura 58. Macrotextura KM 17+600 – 17+610**

A continuación, se presenta una tabla resumen con los promedios, desviación estándar y coeficiente de variabilidad de los valores macrotextura obtenidos mediante el ensayo de Mancha de Arena para cada punto de los tramos Colibrí - Pintag y Cuenca Azogues.

**Tabla 15.**  
**Resumen Ensayo de mancha de Arena**

| RESUMEN ENSAYO DE LA MACHA DE ARENA |             |                            |                     |                               |
|-------------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| TRAMO COLIBRI PINTAG                |             |                            |                     |                               |
| PUNTO INICO                         | PUNTO FINAL | MACROTEXTURA PROMEDIO (mm) | DESVIACIÓN ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIABILIDAD % |
| KM 0+920                            | KM 0+930    | 0.25                       | 0.026               | 10.55                         |
| KM 2+380                            | KM 2+390    | 0.59                       | 0.055               | 9.32                          |
| KM 3+115                            | KM 3+125    | 0.76                       | 0.024               | 3.11                          |
| KM 3+330                            | KM 3+340    | 0.92                       | 0.079               | 8.57                          |
| KM 6+580                            | KM 6+590    | 0.37                       | 0.017               | 4.72                          |
| TRAMO CUENCA - AZOGUES              |             |                            |                     |                               |
| PUNTO INICO                         | PUNTO FINAL | MACROTEXTURA PROMEDIO (mm) | DESVIACIÓN ESTANDAR | COEFICIENTE DE VARIABILIDAD % |
| KM 2+954                            | KM 2+964    | 0.43                       | 0.022               | 5.09                          |
| KM 6+768                            | KM 6+778    | 0.27                       | 0.02                | 7.49                          |
| KM 8+575                            | KM 8+585    | 0.68                       | 0.031               | 4.55                          |
| KM 12+900                           | KM 12+910   | 0.31                       | 0.009               | 2.72                          |
| KM 17+600                           | KM 17+610   | 0.49                       | 0.016               | 3.31                          |

## 3.2. DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA MEDIANTE EL PERFILÓMETRO INERCIAL MARK III

### 3.2.1. Presentación de resultados (Perfilómetro)

Las mediciones con el perfilómetro se realizaron en los mismos sitios donde se efectuó el ensayo de la Mancha de Arena con el fin de comparar resultados y obtener una correlación (ecuación) que permite que los valores del MPD (Profundidad Media del Perfil) obtenidos con el equipo se ajusten a los valores de la Macrotextura medida con el método volumétrico (Mancha de Arena).

En el tramo Colibrí – Pintag se hizo 20 mediciones cada 0.50 m en las abscisas: 0+920; 2+380; 3+330, y 10 mediciones cada 1.00 m en las abscisas 3+115 y 6+580. En la siguiente figura se muestra el equipo (Perfilómetro Láser) recolectando la información.

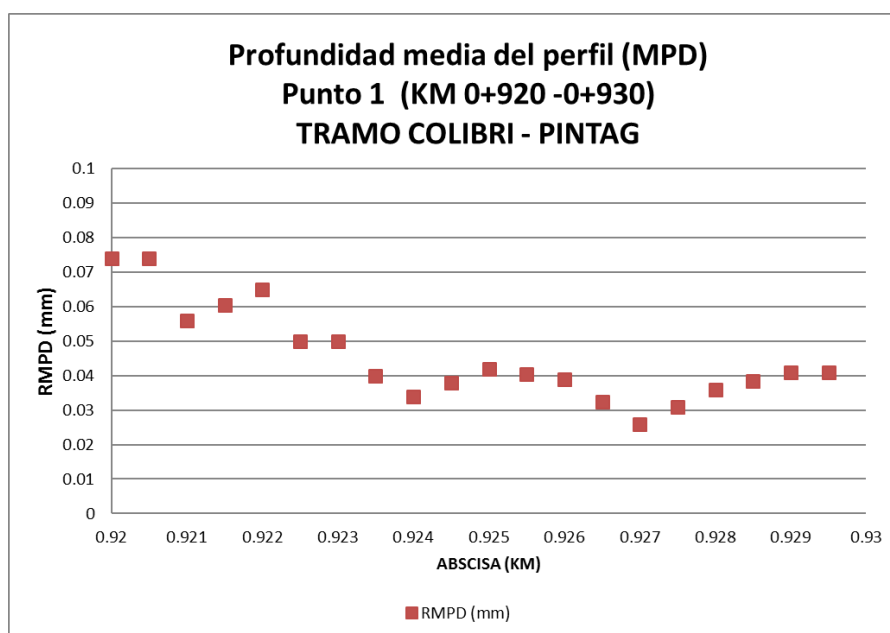


Figura 59. Perfilómetro Láser en el Tramo Colibrí - Pintag

En las siguientes tablas y gráficas se presentan los resultados de la Profundidad Media del Perfil (MPD) en los cinco sitios de medición en el tramo Colibrí – Pintag.

**Tabla 16.**  
**Datos de MPD (Km: 0+920 – 0+930) - Colibrí - Pintag**

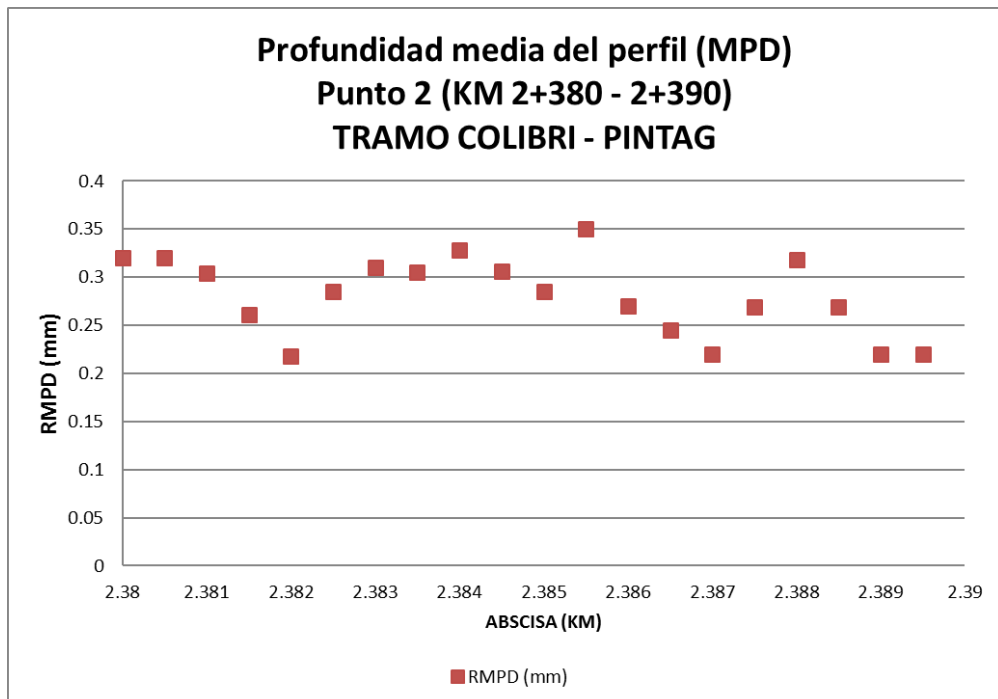
| KM 0+920 - 0+930 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 74             | 0.074     |
| P2               | 74             | 0.074     |
| P3               | 56             | 0.056     |
| P4               | 60.5           | 0.0605    |
| P5               | 65             | 0.065     |
| P6               | 50             | 0.05      |
| P7               | 50             | 0.05      |
| P8               | 40             | 0.04      |
| P9               | 34             | 0.034     |
| P10              | 38             | 0.038     |
| P11              | 42             | 0.042     |
| P12              | 40.5           | 0.0405    |
| P13              | 39             | 0.039     |
| P14              | 32.5           | 0.0325    |
| P15              | 26             | 0.026     |
| P16              | 31             | 0.031     |
| P17              | 36             | 0.036     |
| P18              | 38.5           | 0.0385    |
| P19              | 41             | 0.041     |
| P20              | 41             | 0.041     |



**Figura 60. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 0+920 – 0+930**

**Tabla 17.**  
**Datos de MPD (Km: 2+380 – 2+390) - Colibrí – Pintag**

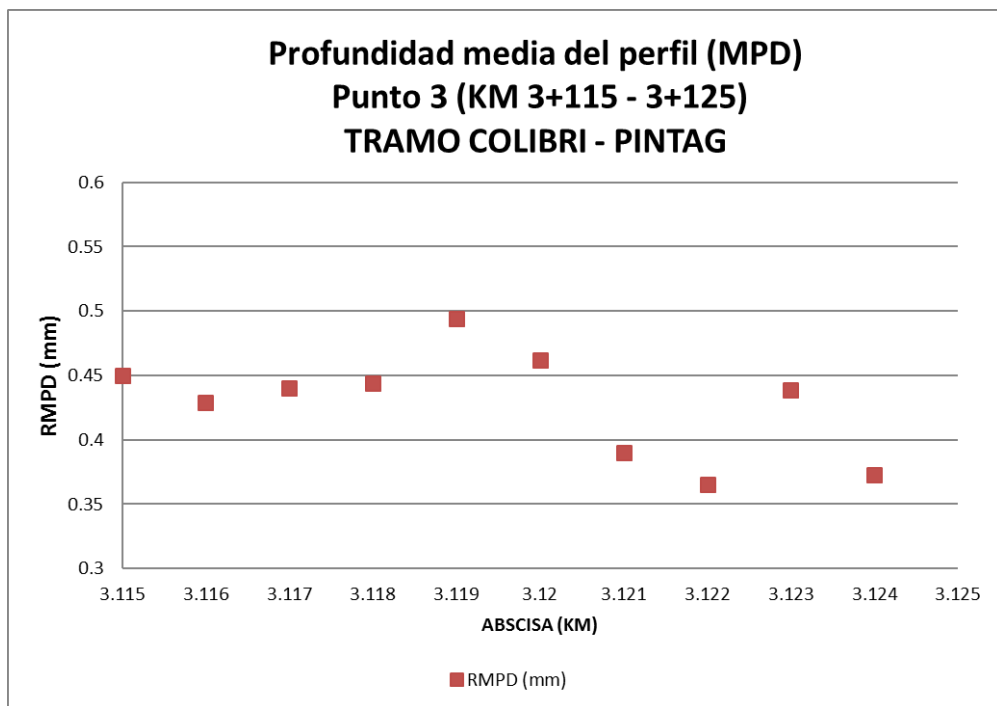
| KM 2+380 - 2+390 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 320            | 0.32      |
| P2               | 320            | 0.32      |
| P3               | 304            | 0.304     |
| P4               | 261            | 0.261     |
| P5               | 218            | 0.218     |
| P6               | 285            | 0.285     |
| P7               | 310            | 0.31      |
| P8               | 305            | 0.305     |
| P9               | 328            | 0.328     |
| P10              | 306.5          | 0.3065    |
| P11              | 285            | 0.285     |
| P12              | 350            | 0.35      |
| P13              | 270            | 0.27      |
| P14              | 245            | 0.245     |
| P15              | 220            | 0.22      |
| P16              | 269            | 0.269     |
| P17              | 318            | 0.318     |
| P18              | 269            | 0.269     |
| P19              | 220            | 0.22      |
| P20              | 220            | 0.22      |



**Figura 61. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 2+380 – 2+390**

**Tabla 18.**  
**Datos de MPD (Km: 3+115 – 3+125) - Colibrí – Pintag**

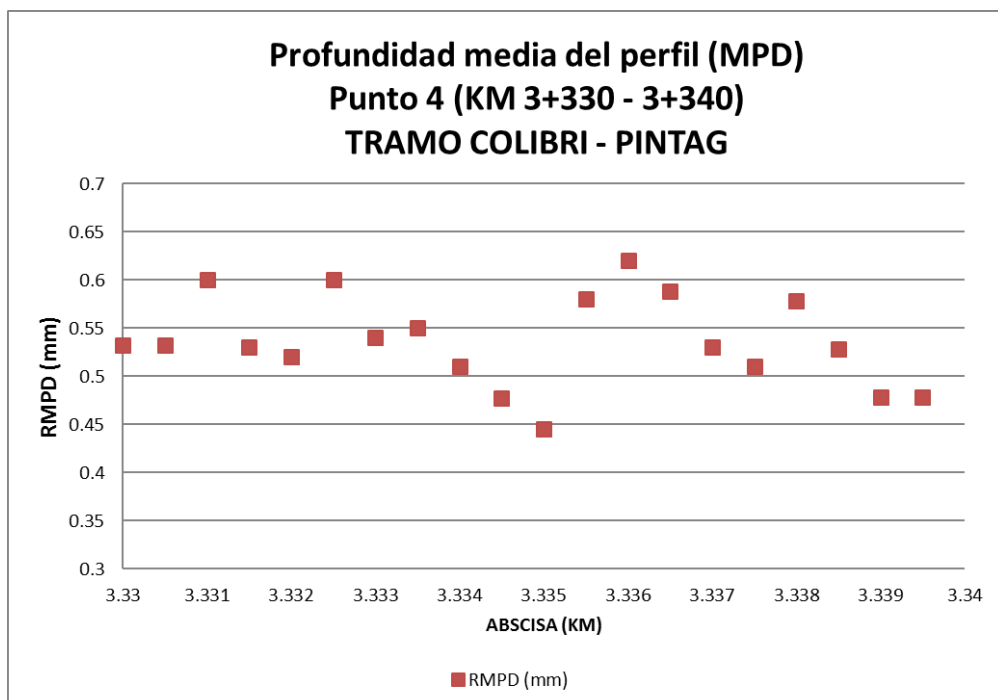
| KM 3+115 - 3+125 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 450            | 0.45      |
| P2               | 429            | 0.429     |
| P3               | 440            | 0.44      |
| P4               | 444            | 0.444     |
| P5               | 494            | 0.494     |
| P6               | 462            | 0.462     |
| P7               | 390            | 0.39      |
| P8               | 365            | 0.365     |
| P9               | 439            | 0.439     |
| P10              | 373            | 0.373     |



**Figura 62. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 3+115 – 3+125**

**Tabla 19.**  
**Datos de MPD (Km: 3+330 – 3+340) - Colibrí – Pintag**

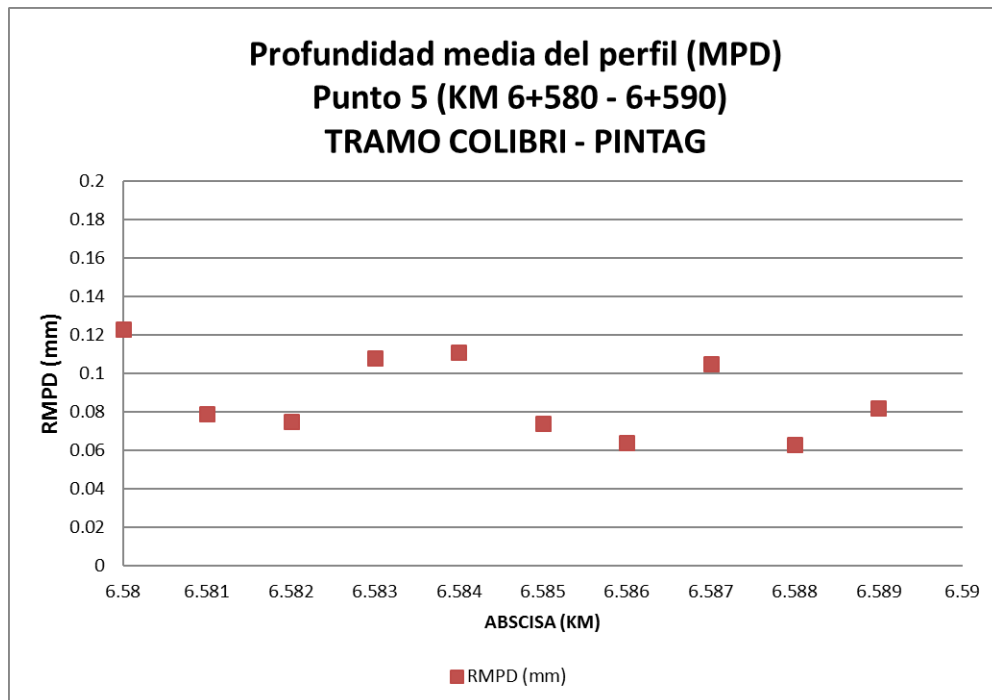
| KM 3+330 - 3+340 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 532            | 0.532     |
| P2               | 532            | 0.532     |
| P3               | 600            | 0.6       |
| P4               | 530            | 0.53      |
| P5               | 520            | 0.52      |
| P6               | 600            | 0.6       |
| P7               | 540            | 0.54      |
| P8               | 550            | 0.55      |
| P9               | 510            | 0.51      |
| P10              | 477.5          | 0.4775    |
| P11              | 445            | 0.445     |
| P12              | 580            | 0.58      |
| P13              | 620            | 0.62      |
| P14              | 588.5          | 0.5885    |
| P15              | 530            | 0.53      |
| P16              | 510            | 0.51      |
| P17              | 578            | 0.578     |
| P18              | 528            | 0.528     |
| P19              | 478            | 0.478     |
| P20              | 478            | 0.478     |



**Figura 63. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 3+330 – 3+340**

**Tabla 20.**  
**Datos de MPD (Km: 6+580 – 6+590) - Colibrí – Pintag**

| KM 6+580 - 6+590 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 123            | 0.123     |
| P2               | 79             | 0.079     |
| P3               | 75             | 0.075     |
| P4               | 108            | 0.108     |
| P5               | 111            | 0.111     |
| P6               | 74             | 0.074     |
| P7               | 64             | 0.064     |
| P8               | 105            | 0.105     |
| P9               | 63             | 0.063     |
| P10              | 82             | 0.082     |



**Figura 64. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 6+580 – 6+590**

En el tramo Cuenca – Azogues se realizó 10 mediciones cada 1.00 m en las abscisas: 2+954; 6+768; 8+575; 12+900 y 17+600. En la siguiente figura se muestra el equipo (Perfilómetro Láser) recolectando la información.



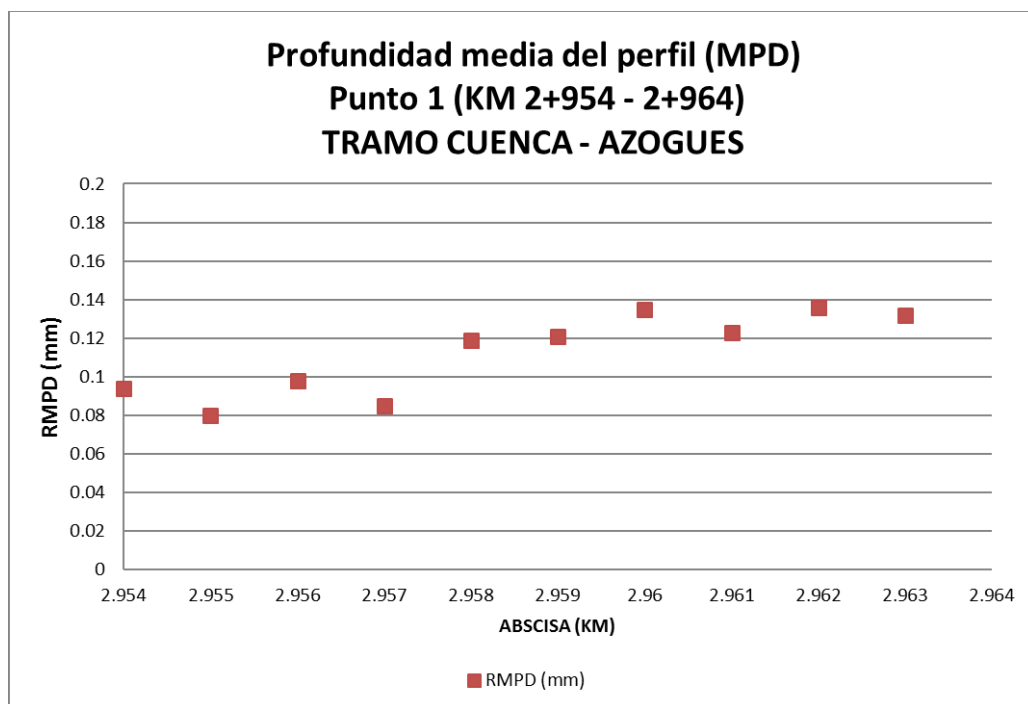
**Figura 65. Perfilómetro Láser en el Tramo Cuenca - Azogues**

En las siguientes tablas y gráficas se presentan los resultados de la Profundidad Media del Perfil (MPD) en los cinco sitios de medición en el tramo Cuenca – Azogues.



**Tabla 21.**  
**Datos de MPD (Km: 2+954 – 2+964) – Cuenca – Azogues**

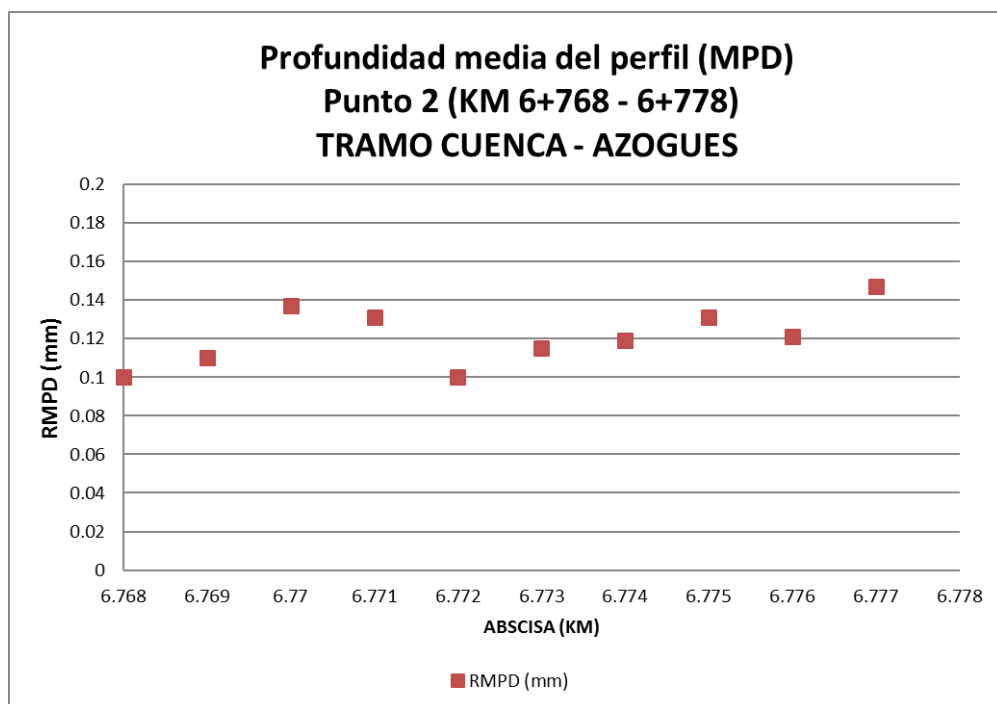
| KM 2+954 - 2+964 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 94             | 0.094     |
| P2               | 80             | 0.08      |
| P3               | 98             | 0.098     |
| P4               | 85             | 0.085     |
| P5               | 119            | 0.119     |
| P6               | 121            | 0.121     |
| P7               | 135            | 0.135     |
| P8               | 123            | 0.123     |
| P9               | 136            | 0.136     |
| P10              | 132            | 0.132     |



**Figura 66. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 2+954 – 2+964**

**Tabla 22.**  
**Datos de MPD (Km: 6+768 – 6+778) – Cuenca – Azogues**

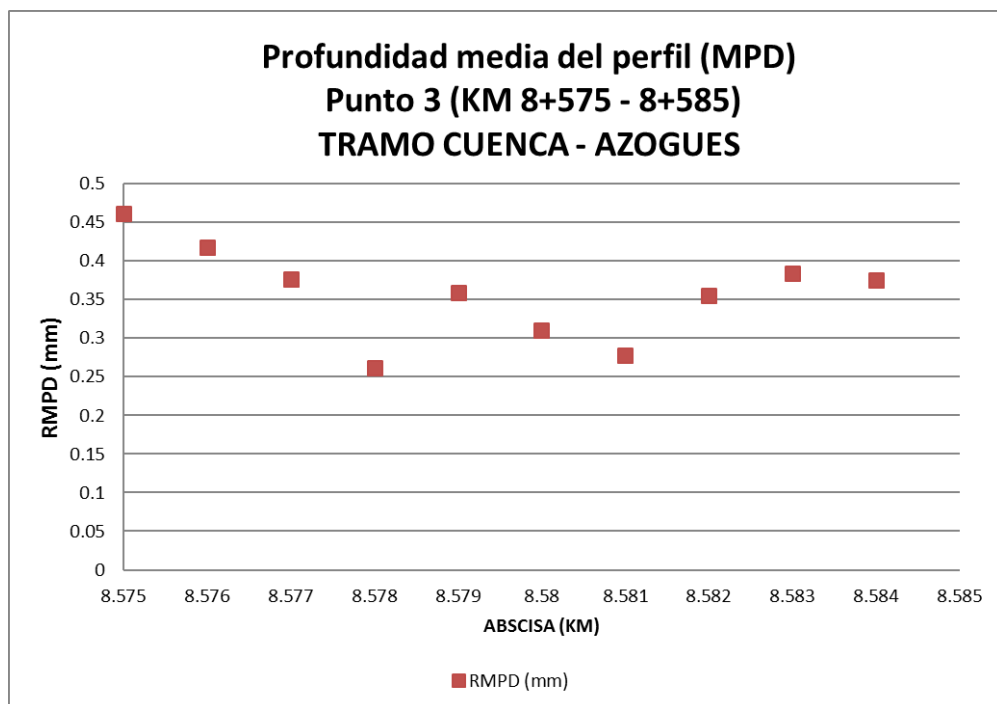
| KM 6+768 - 6+778 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 100            | 0.1       |
| P2               | 110            | 0.11      |
| P3               | 137            | 0.137     |
| P4               | 131            | 0.131     |
| P5               | 100            | 0.1       |
| P6               | 115            | 0.115     |
| P7               | 119            | 0.119     |
| P8               | 131            | 0.131     |
| P9               | 121            | 0.121     |
| P10              | 147            | 0.147     |



**Figura 67. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 6+768 – 6+778**

**Tabla 23.**  
**Datos de MPD (Km: 8+755 – 8+585) – Cuenca – Azogues**

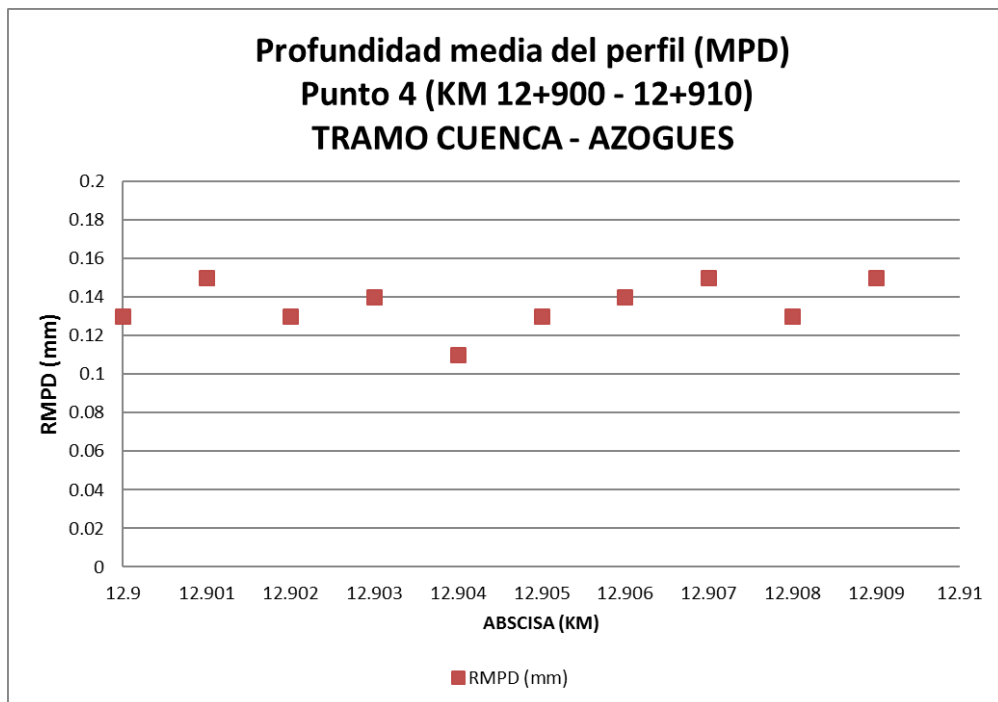
| KM 8+575 - 8+585 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|------------------|----------------|-----------|
| P1               | 462            | 0.462     |
| P2               | 418            | 0.418     |
| P3               | 377            | 0.377     |
| P4               | 262            | 0.262     |
| P5               | 359            | 0.359     |
| P6               | 310            | 0.31      |
| P7               | 278            | 0.278     |
| P8               | 355            | 0.355     |
| P9               | 384            | 0.384     |
| P10              | 375            | 0.375     |



**Figura 68. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 8+575 – 8+585**

**Tabla 24.**  
**Datos de MPD (Km: 12+900 – 12+910) – Cuenca – Azogues**

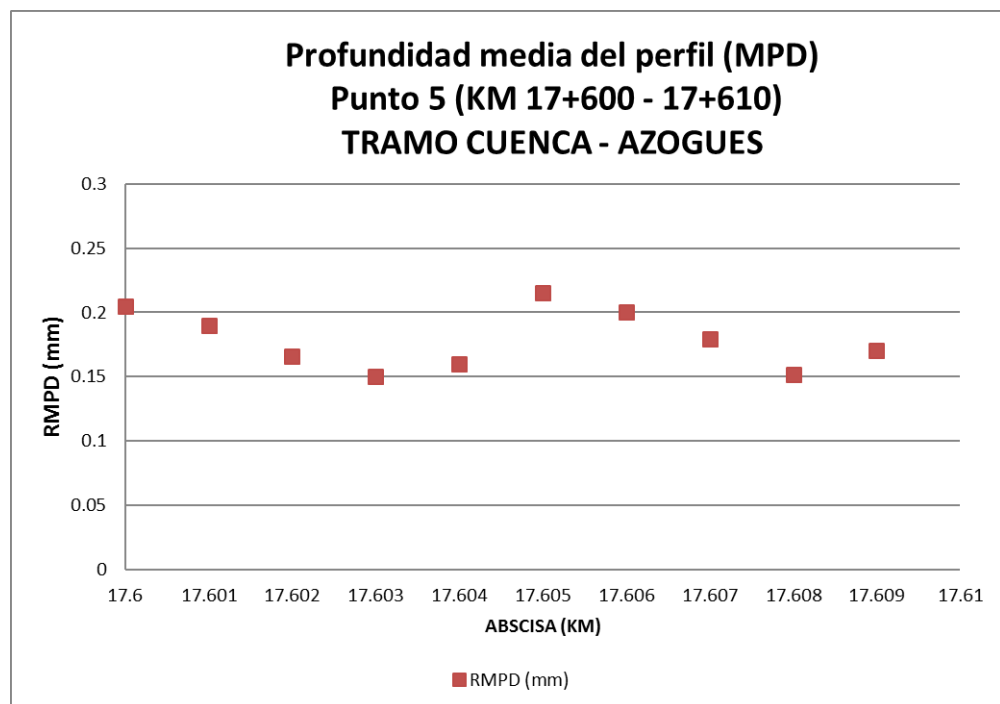
| KM 12+900 - 12+910 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|--------------------|----------------|-----------|
| P1                 | 130            | 0.13      |
| P2                 | 150            | 0.15      |
| P3                 | 130            | 0.13      |
| P4                 | 140            | 0.14      |
| P5                 | 110            | 0.11      |
| P6                 | 130            | 0.13      |
| P7                 | 140            | 0.14      |
| P8                 | 150            | 0.15      |
| P9                 | 130            | 0.13      |
| P10                | 150            | 0.15      |



**Figura 69. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 12+900 – 12+910**

**Tabla 25.**  
**Datos de MPD (Km: 17+600 -17+610) – Cuenca – Azogues**

| KM 17+600 - 17+610 | MPD (Micrones) | RMPD (mm) |
|--------------------|----------------|-----------|
| P1                 | 205            | 0.205     |
| P2                 | 190            | 0.19      |
| P3                 | 166            | 0.166     |
| P4                 | 150            | 0.15      |
| P5                 | 160            | 0.16      |
| P6                 | 215            | 0.215     |
| P7                 | 200            | 0.2       |
| P8                 | 179            | 0.179     |
| P9                 | 152            | 0.152     |
| P10                | 170            | 0.17      |



**Figura 70. Profundidad media del Perfil (MPD) KM 17+600 – 17+610**

## **4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

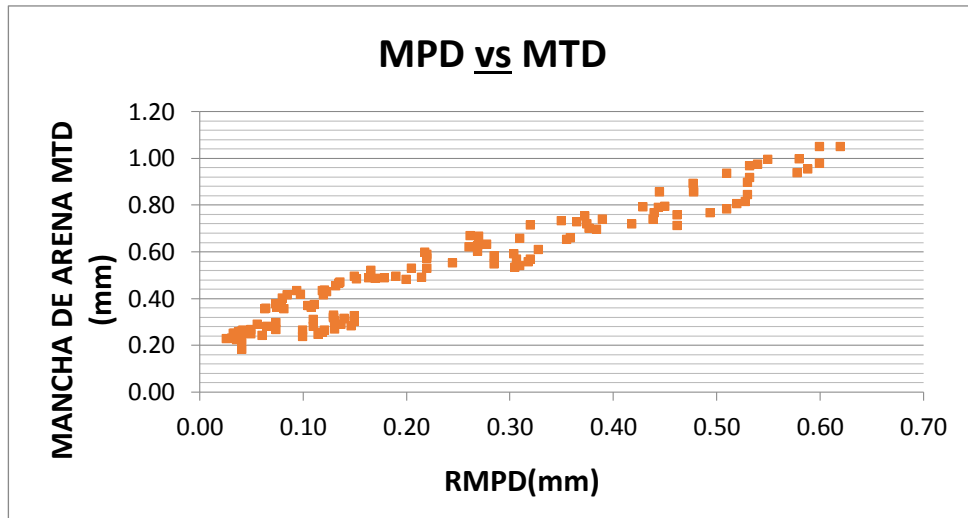
### **4.1. DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN OBTENIDA ENTRE LOS DOS METODOS DE MEDICIÓN**

Para que los valores del MPD (Profundidad Media del Perfil) obtenidos con el equipo se ajusten a los valores de la Macrotextura medida con el método volumétrico (Mancha de Arena, es necesario realizar una ecuación de ajuste, la misma que será aplicada en los datos de MPD obtenidos en el tramo Yambo- Ambato.

De los diez sitios ubicados en los tramos Colibrí – Pintag y Cuenca – Azogues, donde se realizó mediciones con el equipo y con el ensayo volumétrico se obtuvieron 130 mediciones respectivamente. Para determinar la ecuación de ajuste es necesario tener los valores con las mismas unidades de medida (mm). Para cada abscisa de medición se obtuvieron dos valores, uno tomado con el ensayo de mancha de arena y otro con el perfilómetro, el objetivo es relacionar estos valores en un gráfico de puntos de dispersión, para luego y mediante una regresión obtener una correlación (ecuación de ajuste).

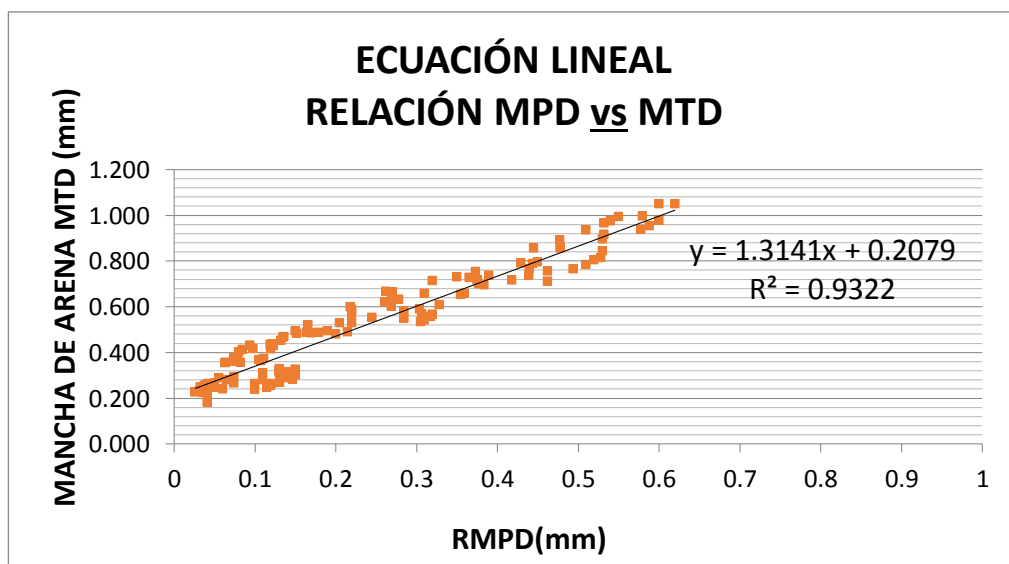
Para realizar el grafico de puntos, ubicaremos en el eje de las ordenadas (y) los valores de MTD (Mancha de Arena), y en el eje de las abscisas (x), los valores de MPD (Profundidad Media del Perfil), obtenidos con el equipo.

En la siguiente figura se muestra una gráfica de dispersión utilizando todos los puntos de medición, donde se nota que existe una tendencia entre los mismos, por lo que mediante una regresión lineal, exponencial, polinómica o logarítmica se obtendrá una correlación (ecuación de ajuste).



**Figura 71. Relación de MPD vs MTD**

Mediante el software Excel se realizó las regresiones correspondientes para obtener una correlación. En las siguientes figuras se muestran las ecuaciones de ajuste obtenidas mediante una regresión lineal, exponencial, logarítmica y Polinómica.



**Figura 72. Ecuación de ajuste lineal**

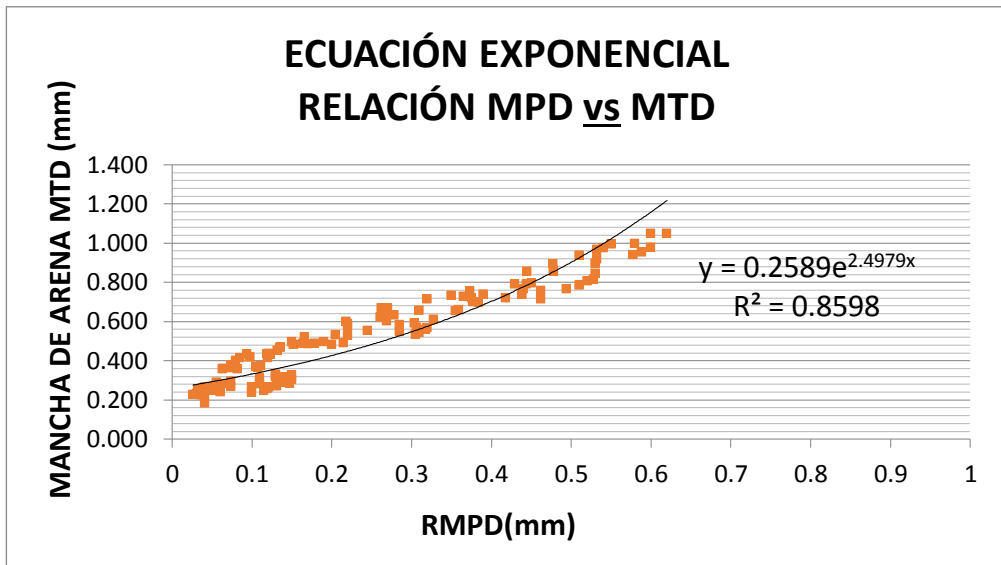


Figura 73. Ecuación de ajuste exponencial

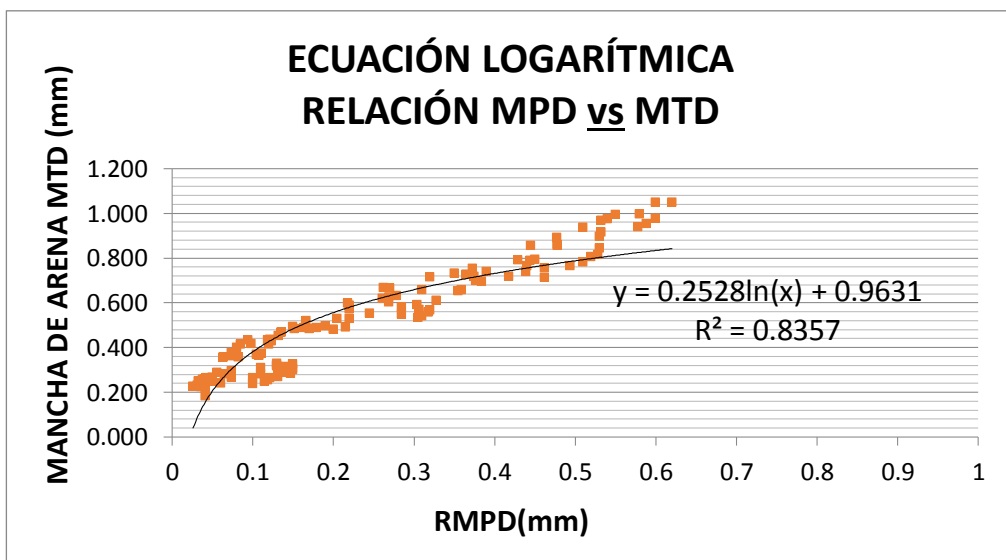
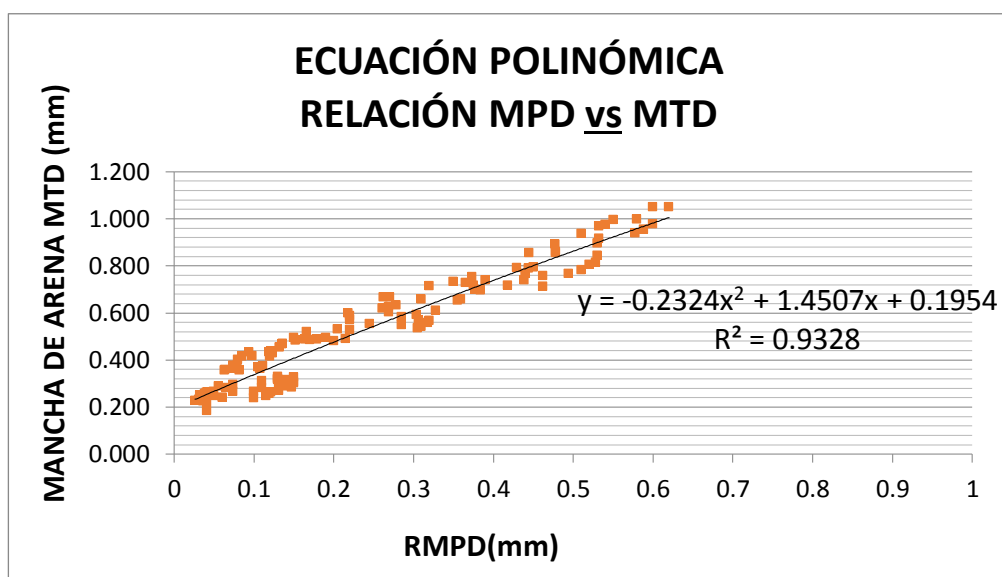


Figura 74. Ecuación de ajuste logarítmica





**Figura 75. Ecuación de ajuste Polinómica**

En la siguiente tabla se muestran las ecuaciones obtenidas con sus respectivos coeficientes de determinación.

**Tabla 26. Ecuaciones de ajuste**

| Tipo de Ecuación | Ecuación                                | Coef. Determinación |
|------------------|---|---------------------|
| Lineal           | $y = 1.3141(x) + 0.2079$                | 0.9322              |
| Exponencial      | $y = 0.2589 e^{2.4979(x)}$              | 0.8598              |
| Logarítmica      | $y = 0.2528 \ln(x) + 0.9631$            | 0.8357              |
| Polinómica       | $y = -0.2324(x)^2 + 1.4507(x) + 0.1954$ | 0.9328              |

El coeficiente de determinación es una medida estadística de la bondad del ajuste o fiabilidad del modelo estimado a los datos. Se representa por  $R^2$  e indica cuál es la proporción de la variación total en la variable dependiente (Y), que es explicada por el modelo de regresión estimado. El coeficiente de determinación varía en el rango de:  $0 \leq R^2 \leq 1$ .

- Si  $R^2 = 0 \Rightarrow$  El modelo no explica nada de  $y$  a partir de  $x$ .
- Si  $R^2 = 1 \Rightarrow$  Ajuste perfecto:  $y$  depende funcionalmente de  $x$ .
- Un valor de  $R^2$  cercano a 0  $\Rightarrow$  Baja capacidad explicativa de la recta.
- Un valor de  $R^2$  próximo a 1  $\Rightarrow$  Alta capacidad explicativa de la recta.

En la tabla N°25 se observa que la ecuación con el coeficiente de determinación que más se acerca a 1 es la polinómica (0.9328), por lo tanto, ésta ecuación se utilizará para ajustar los valores del MPD (Profundidad Media del Perfil) obtenidos con el equipo en el tramo Yambo – Ambato.

#### **4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS CORREGIDOS EN EL TRAMO YAMBO – AMBATO**

En el tramo Yambo – Ambato se realizó mediciones en dos fechas para relacionar resultados y obtener comparaciones, la primera el martes 17 de marzo de 2015 y la segunda el sábado 14 de noviembre de 2015. Una vez obtenida la ecuación de ajuste se procede a ajustar los valores de MPD, en los dos carriles de cada calzada de la vía. La medición del MPD con el perfilómetro láser es continua cada metro, para éste proyecto se promediará el valor de MPD cada 100 m en los 11 km.

A continuación, se mostrará el proceso de ajuste a los valores de MPD para obtener el valor de macrotextura MTD.

$$y = -0.2324 (x)^2 + 1.4507(x) + 0.1954 \quad (1)$$

$$MTD = -0.2324(MPD)^2 + 1.4507(MPD) + 0.1954 \quad (2)$$

Donde

MTD: Macrotextura (mm)

MPD: Profundidad Media del Perfil (mm)

El equipo captura la información de MPD en micrones, para obtener en (mm) multiplicaremos por un factor de 0.001. Para demostrar el proceso de cálculo tomaremos un valor de  $MPD=300 \mu m$ .

$$MPD = 300 * 0.001 = 0.30 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación (2) se tiene:

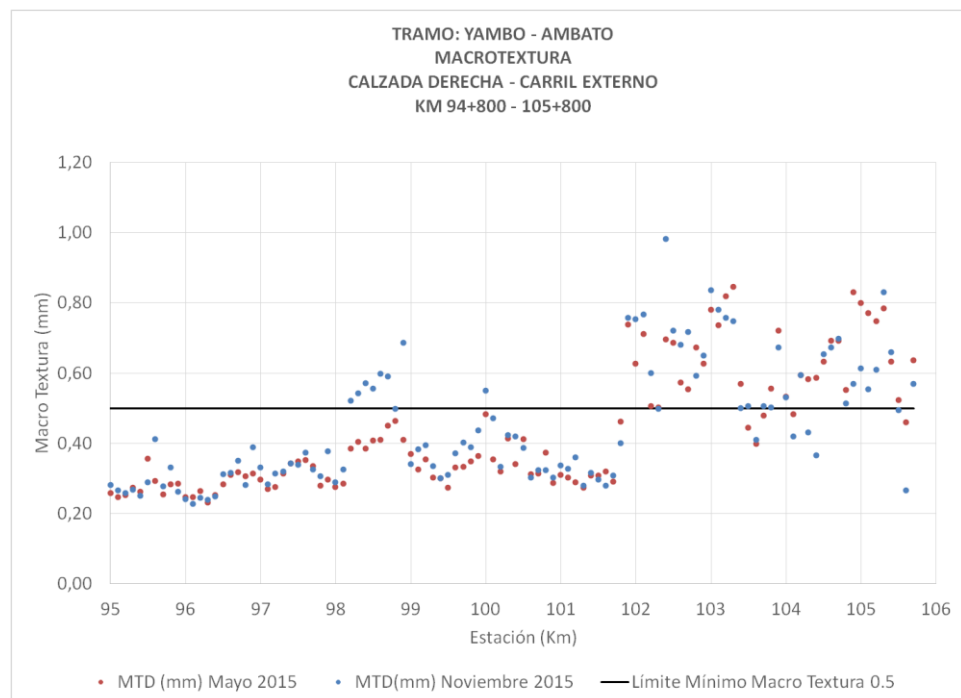
$$MTD = -0.2324(MPD)^2 + 1.4507(MPD) + 0.1954$$

$$MTD = -0.2324(0.30)^2 + 1.4507(0.30) + 0.1954$$

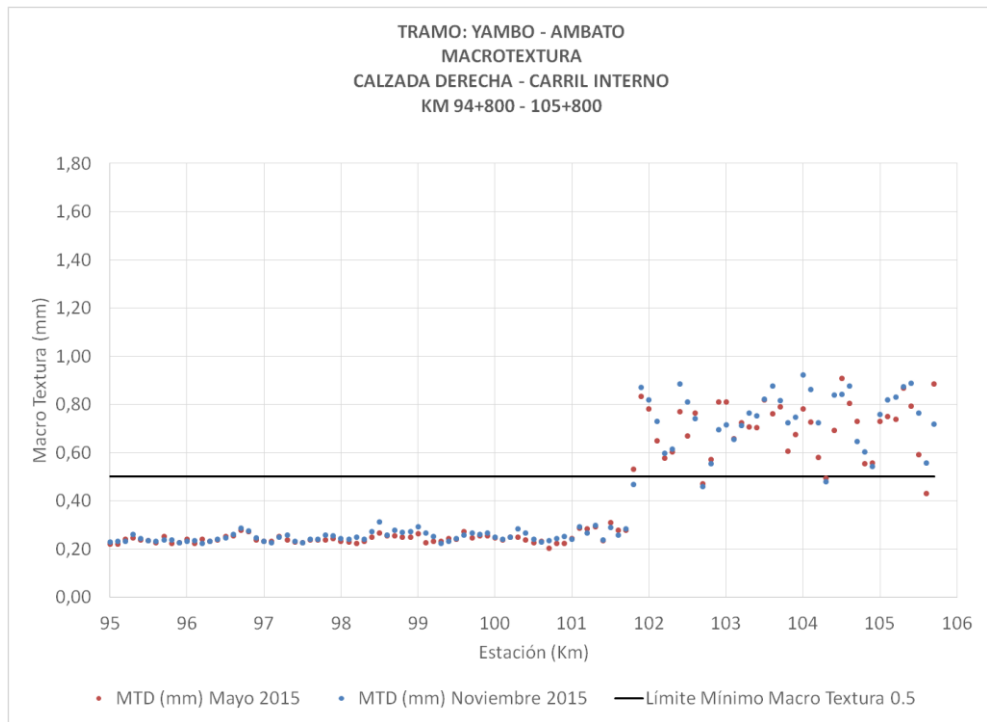
Por lo tanto, la macrotextura tendrá un valor de:

$$MTD = 0.61 \text{ mm}$$

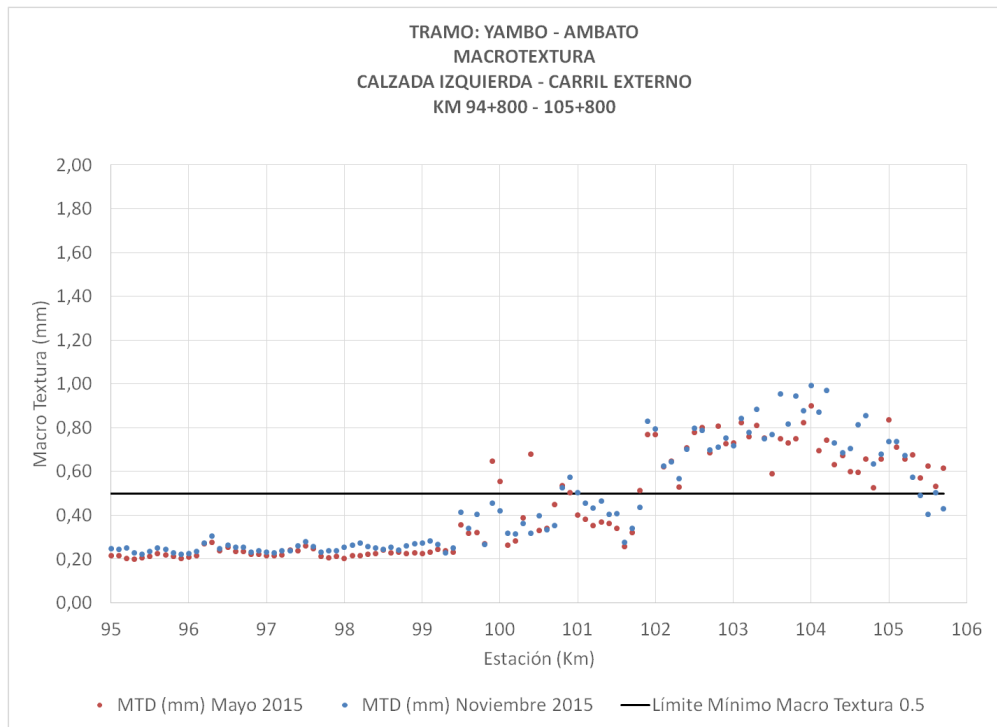
En las siguientes figuras se muestra el valor de macrotextura en cada carril del tramo Yambo – Ambato. En el Anexo No.1 se indica las tablas con los resultados de medición.



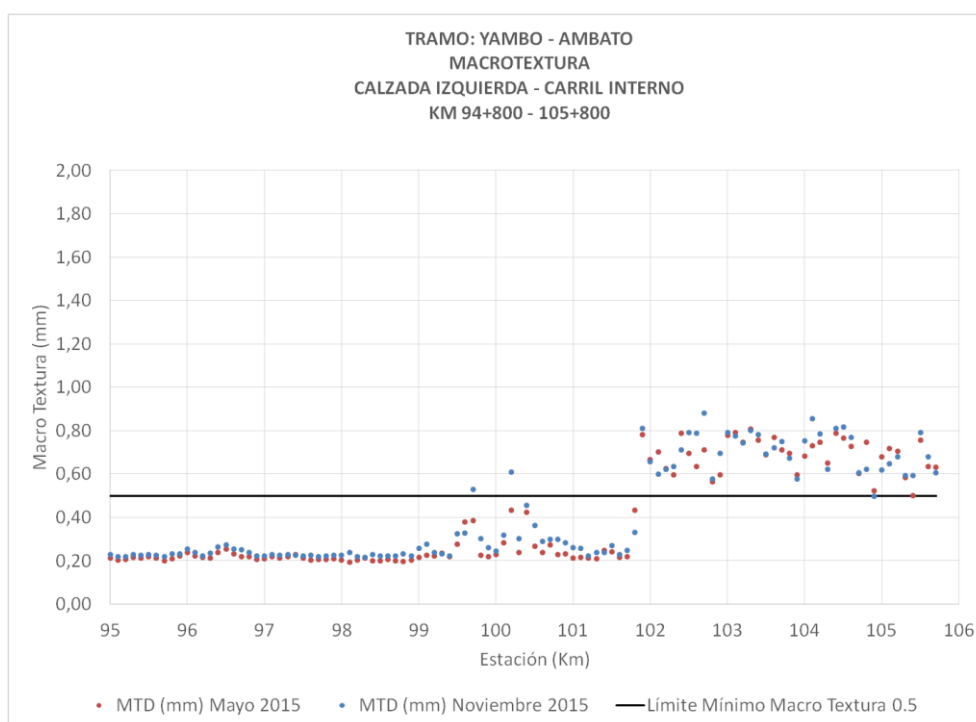
**Figura 76. Valores de Macrotextura Calzada Derecha–Carril Externo**



**Figura 77. Valores de Macrotextura Calzada Derecha – Carril Interno**



**Figura 78. Valores de Macrotextura Calzada Izquierda–Carril Externo**



**Figura 79. Valores de Macrotextura Calzada Izquierda–Carril Interno**

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los promedios, valor máximo y mínimo de macrotextura correspondientes a cada carril y calzada del tramo Yambo – Ambato.

**Tabla 27.  
Valores Promedios, Max y Min, Calzada Derecha Carril Externo**

| CALZADA DERECHA CARRIL EXTERNO | Mediciones Mayo 2015 | Mediciones Noviembre 2015 |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Promedio (MTD)                 | 0,43                 | 0,45                      |
| Max (100m)                     | 0,85                 | 0,98                      |
| Min (100m)                     | 0,23                 | 0,23                      |
| Macro - Textura                |                      |                           |

**Tabla 28.**  
**Valores Promedios, Max y Min, Calzada Derecha Carril Interno**

| <b>CALZADA DERECHA CARRIL INTERNO</b> | <b>Mediciones<br/>Mayo 2015</b> | <b>Mediciones<br/>Noviembre 2015</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Promedio (MTD)                        | 0,41                            | 0,43                                 |
| Max (100m)                            | 0,91                            | 0,92                                 |
| Min (100m)                            | 0,20                            | 0,22                                 |
| Macro - Textura                       |                                 |                                      |

**Tabla 29.**  
**Valores Promedios, Max y Min, Calzada Izquierda Carril Externo**

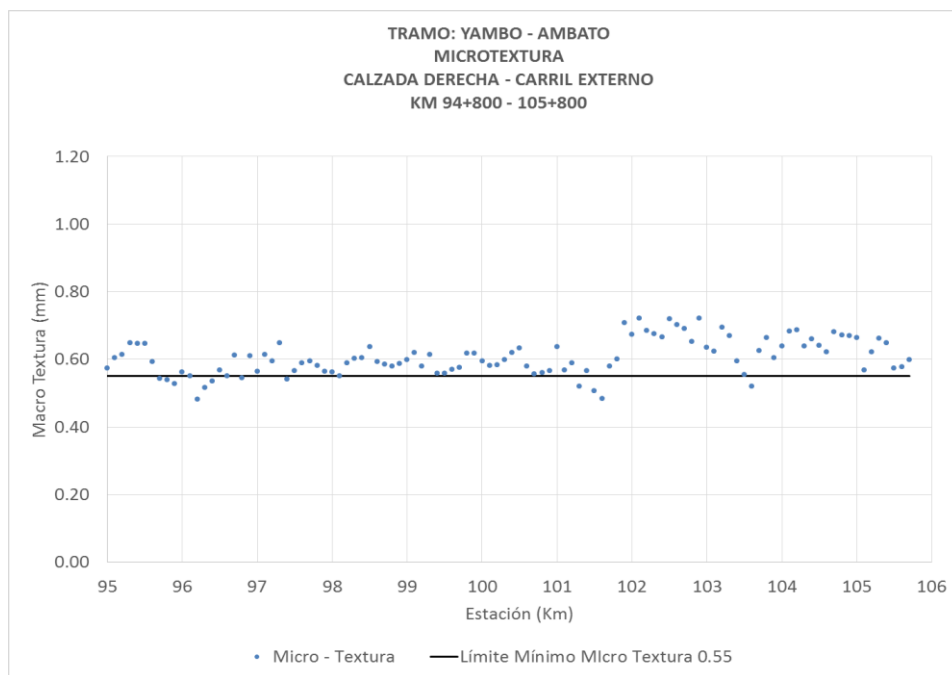
| <b>CALZADA IZQUIERDA CARRIL EXTERNO</b> | <b>Mediciones<br/>Mayo 2015</b> | <b>Mediciones<br/>Noviembre 2015</b> |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|
| Promedio (MTD)                          | 0,43                            | 0,45                                 |
| Max (100m)                              | 0,90                            | 0,99                                 |
| Min (100m)                              | 0,20                            | 0,22                                 |
| Macro - Textura                         |                                 |                                      |

**Tabla 30.**  
**Valores Promedios, Max y Min, Calzada Izquierda Carril Interno**

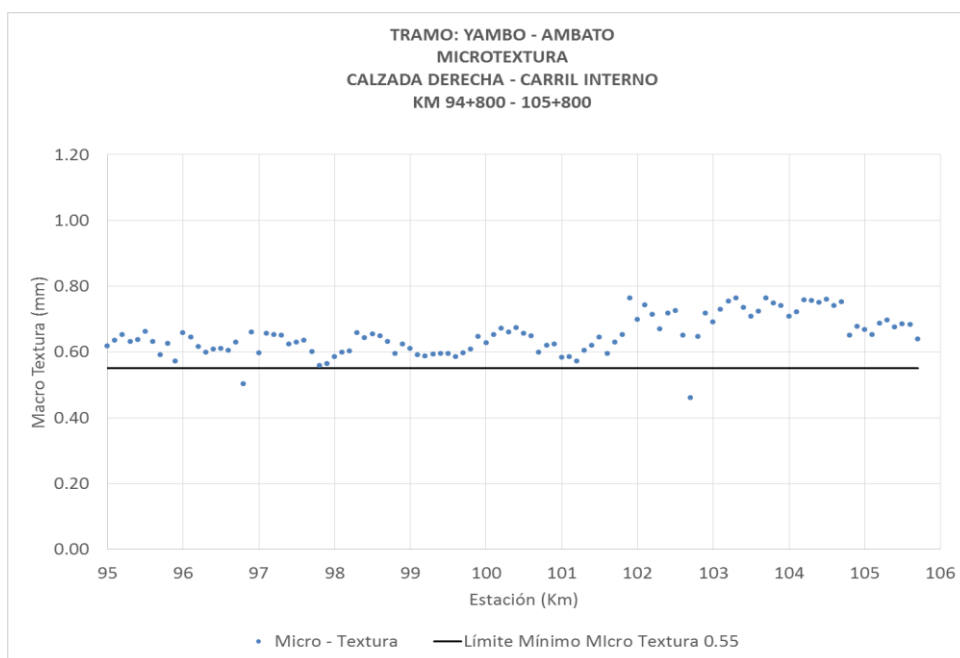
| <b>CALZADA IZQUIERDA CARRIL INTERNO</b> | <b>Mediciones<br/>Mayo 2015</b> | <b>Mediciones<br/>Noviembre 2015</b> |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|
| Promedio (MTD)                          | 0,40                            | 0,42                                 |
| Max (100m)                              | 0,81                            | 0,88                                 |
| Min (100m)                              | 0,20                            | 0,21                                 |
| Macro - Textura                         |                                 |                                      |

### 4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL MU – METER MK6

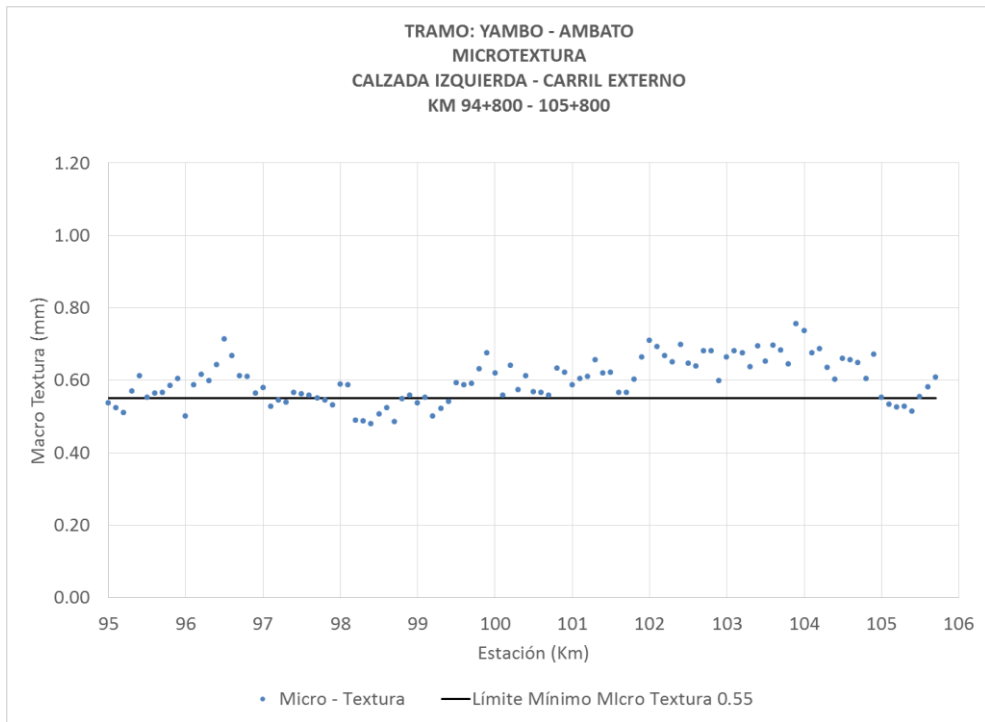
En las siguientes figuras se muestra el valor de la microtextura en cada carril del tramo Yambo – Ambato. En el Anexo No.2 se indica las tablas con los resultados de medición.



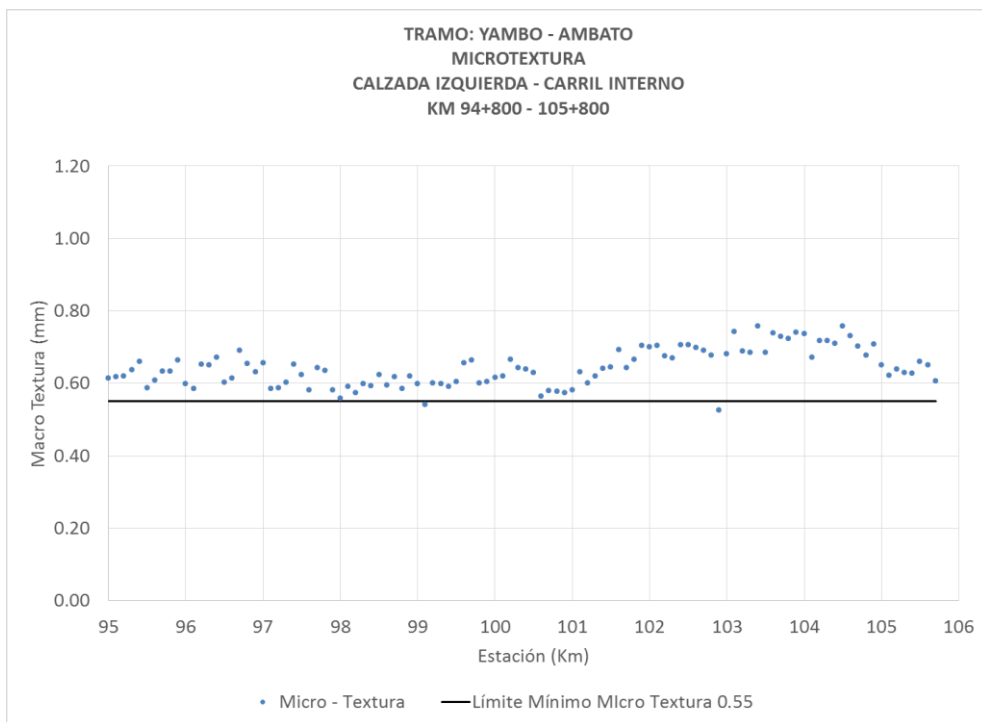
**Figura 80. Valores de Microtextura Calzada Derecha –Carril Externo**



**Figura 81. Valores de Microtextura Calzada Derecha –Carril Interno**



**Figura 82. Valores de Microtextura Calzada Izquierda –Carril Externo**

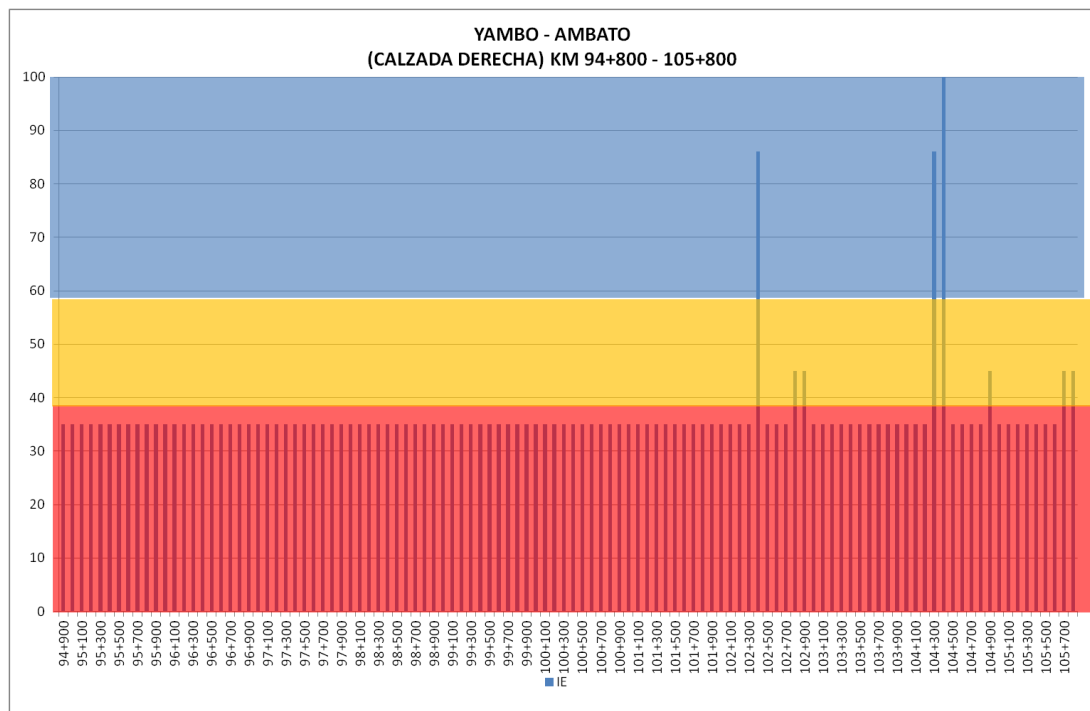


**Figura 83. Valores de Microtextura Calzada Izquierda –Carril Interno**

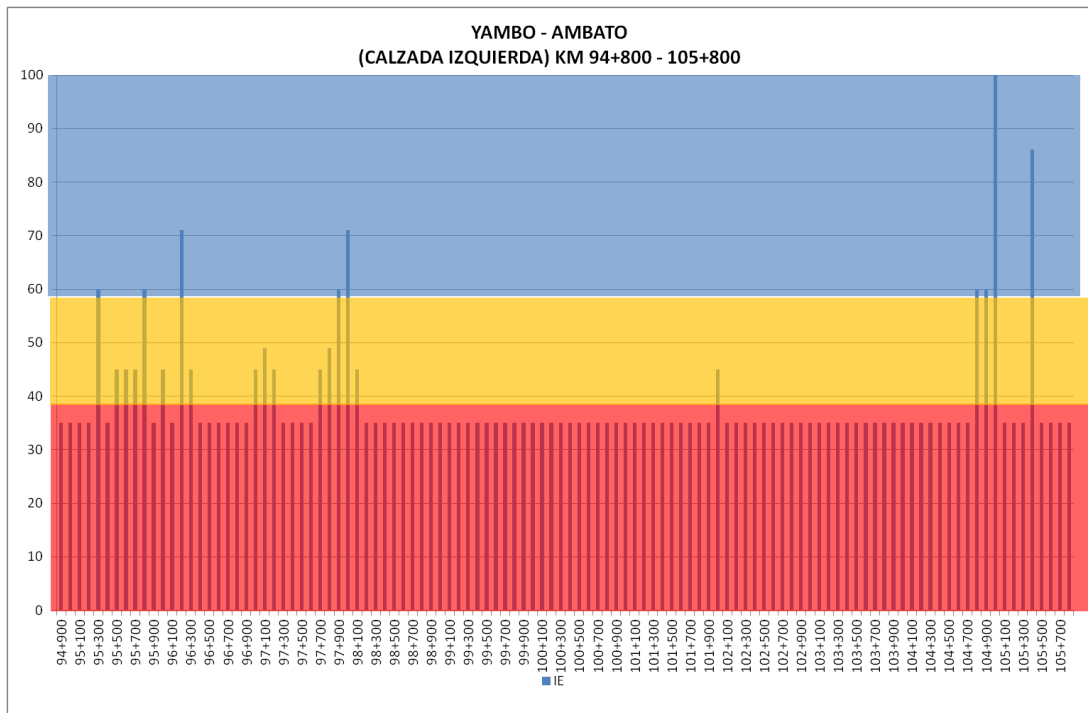


#### 4.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL INDICE DE ESTADO

La falla que se presenta con mayor frecuencia es el fisuramiento en bloque. La metodología para la evaluación del Índice de estado y las tablas del levantamiento de fallas se encuentran en el Anexo No.3 En las siguientes figuras se indica el Índice de Estado del tramo evaluado.



**Figura 84. Índice de estado Calzada Derecha**



**Figura 85. Índice de estado Calzada Izquierda**

## **4.5. PLAN DE MANTENIMIENTO**

### **4.5.1. Mantenimiento Periódico**

La actividad de mantenimiento para mantener la macrotextura, consistirá en colocar un micropavimento no mayor de una pulgada cada 3 años.

Se considerará también dentro del mantenimiento periódico una actividad de sellado integral de superficie de rodadura cada año con el objetivo de recuperar el desgaste propio de la superficie de rodadura debido a la acción combinada de la presión de inflado de las llantas de los vehículos pesados especialmente y el clima. El desgaste de la superficie de rodadura se traduce en valores de resistencia al deslizamiento transversal menores a 0.55, muy peligroso para la seguridad de los usuarios de la vía. Para el sello integral de la superficie se propone la colocación de un Slurry Seal.

### **4.5.2. Mantenimiento Rutinario**

Es el mantenimiento preventivo que comprende el conjunto de actividades que se realizan en la calzada y los elementos de la vía, al menos una vez al año, para retardar el proceso de degradación normal de las características funcionales del pavimento, así como para corregir los impactos negativos de otros elementos de la vía que impidan el adecuado funcionamiento en su conjunto.

Las actividades de mantenimiento rutinario comprenden entre otras; limpieza de las obras de drenaje, control de la vegetación, bacheos superficiales, sello de fisuras, limpieza permanente de la calzada y bermas, reparación y limpieza de los dispositivos para el control del tránsito, jardinería y riego de plantas ornamentales en los parterres, control de la estabilidad de los taludes y cunetas de coronación.

Las actividades para el mantenimiento rutinario se encuentran codificadas por el MTOP en las siguientes:

- **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO**

- MR-111.E BACHEO ASFALTICO MENOR
- MR-112.E SELLADO DE FISURAS SUPERFICIALES
- MR-113.E BACHEO ASFALTICO MAYOR
- MR-121.E LIMPIEZA DE CUNETAS Y ENCAUZAMIENTOS
- MR-123.E LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS
- MR-124.E INSPECCION DE PUENTES
- MR-131.E ROZA A MANO
- MR-132.E ROZA A MAQUINA
- MR-133.E MANTENIMIENTO DE SEÑALES VERTICALES
- MR-134.E MANTENIMIENTO DE SEÑALIZACION HORIZONTAL

La descripción, materiales, procedimiento de trabajo, medición y pago se describen en las especificaciones para mantenimiento de carreteras de la Dirección Técnica del área de conservación de la red vial estatal.

## **5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- La capa de rodadura es la que soporta directamente el paso del tráfico y los efectos del medio ambiente por tal motivo se produce el desgaste o deterioro de la misma, su duración depende de los materiales utilizados y de la calidad de construcción.
- El estado superficial de una carretera influye en el confort y en la seguridad de los usuarios e incide en los costos de operación de los vehículos.
- Las características superficiales originales de un pavimento disminuyen con el transcurso del tiempo; se va produciendo el pulimento de los agregados modificándose sensiblemente la macrotextura.
- El valor de la macrotextura depende del grado del desgaste que tenga la capa superficial del pavimento, es decir si es más rugosa serán valores altos y si es lisa valores bajos.
- La medición de la macrotextura sirve como un importante parámetro de control de calidad en construcciones viales nuevas, para carreteras en operación, la medición es una herramienta vital para evaluar el comportamiento superficial de un tramo a través del tiempo y permite fijar niveles de alerta para proceder a una revisión de daños o para programar los mantenimientos correspondientes.

- El uso del perfilómetro para determinar el MPD es importante ya que se obtienen medidas continuas en todo el tramo, en cambio para determinar el MTD mediante el ensayo de la Mancha de Arena solo se escogen puntos representativos.
- Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño finito de granos usados en el ensayo de la mancha de arena y porque el MPD se deriva de un perfil bidimensional en lugar de una superficie tridimensional. Por consiguiente, una ecuación de la transformación debe usarse para relacionarlos.
- Los resultados del ensayo de la Mancha de Arena tienen un coeficiente de variabilidad menor al 11 %, lo que significa que los mismos no se encuentran muy dispersos y mantienen una tendencia.
- El promedio de macrotextura de toda la calzada entre las abscisas 94+800 al 102+00 es de 0.28 en la medición realizada en el mayo del 2015, mientras que en la medición de noviembre 2015 es de 0.30, entre las abscisas 102+000 – 105+800 es de 0.68 en mayo y 0.69 en noviembre, ésta variación se debe por la colocación de un micropavimento en el tramo Km 102.0 – 105.8 del tramo Yambo – Ambato.
- De los resultados del PCI se tiene que el 58,17 % de toda el área del tramo Yambo- Ambato se encuentra con fisuras principalmente en bloque y piel de cocodrilo. El promedio del índice de condición (PCI) en la calzada derecha es 37 y en la calzada izquierda es de 39, por lo que se considera que se debe intervenir mediante la colocación de un micropavimento para que éste valor suba considerablemente.

## 5.2.RECOMENDACIONES

- Es importante evaluar las condiciones superficiales, mediante el monitoreo periódico y permanente de las autopistas y de la red de las carreteras, con los equipos y métodos adecuados.
- La capa de rodadura de un pavimento debe tener un mantenimiento adecuado, para que se encuentre en condiciones aceptables de circulación durante la vida útil de la carretera.
- Una vez realizado el tratamiento correspondiente sobre la superficie del pavimento es recomendable realizar mediciones de la macrotextura cada año y así tener un mejor control para futuras intervenciones.
- La macro textura incumple el valor de ser a mayor a 0.5, en toda la longitud medida y en los dos carriles de circulación. La recomendación para recuperar este indicador es la colocación de una capa de micropavimento.
- De acuerdo al grado de fisuramiento obtenido de la evaluación del PCI, se debe realizar un estudio detallado de la estructura del pavimento para saber las condiciones de cada una de las capas de la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM E 1845 - 15. (2015). *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotecture Mean Profile Depth.*
- ASTM E965 - 15. (2015). *Standar Test Method for Measuring Pavement Macrotecture Depth Using a Volumetric Technique.*
- Dynatest. (2003). *Multi-Function (Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres, 2009) Vehicle RSP-III/IV with HDR, HDI or HDC, and ROW (OWNER'S MANUAL).*
- Ibarra D. (2013). *Medición de Fricción en Aeropuertos con Mu-meter MK6.*
- Instituto Mexicano del Transporte. (1998). *Diagnóstico de las caracteristcas superficiales de los pavimentos.* México.
- Kolher F. Salgado Torres. & Achurra Torres. (2009). *Técnicas e Índices para la evaluación de la macrotectura en Pavimentos.*
- MOP - 001 F. (2002). *Especificaciones Generales para La Construcción De Caminos Y Puentes,.*
- MTOP. (2013). *Plan Estratégico de Movilidad (PEM),.*
- Sanchez F. (2014). *Evaluación de Pavimentos.*
- Subsecretaría de Desarrollo Urbano Ordenación del Territorio (SEDESOL- MÉXICO). (2010). *Manual para Inventario del Estado Funcional de Pavimentos.*
- Virginia Tech Transportation Institute. (2003). *Pavement Surface Macrotecture Measurement and Application.*
- Whiteoak D and Read J. (2003). *The Shell Bitumen Handbook.* Thomas Telford Publisher (5th ed.). London.



## BIOGRAFÍA

### 1. DATOS PERSONALES

- Nombres: Humberto Paúl Yacchirema Guerrero
- Lugar de nacimiento: Quito
- Fecha de nacimiento: 10 de Febrero del 1987
- Estado Civil: Soltero
- Edad: 29 años
- Dirección: Conocoto, Puente 3 , Sector Los Álamos, Calle Pedro Bedón
- Teléfonos: 0995603667
- E-mail: humberto\_yac@hotmail.com

### 2. FORMACIÓN ACADÉMICA

- **1994-1999 Estudios Primarios**
  - Escuela Antonio José de Sucre
- **2000-2005 Estudios Secundarios**
  - Bachiller en Ciencias, “Físico – Matemáticas”
  - Colegio Nacional “ Juan de Salinas”
- **2005-2012 Estudios Superiores**
  - Egresado de la Carrera de Ingeniería Civil
  - Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

### 3. IDIOMAS

- Español
- Inglés: Suficiencia del Idioma Inglés, Escuela Politécnica del Ejército.