

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOLE hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

### **PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**Magíster en Ingeniería Civil con mención en Construcción y  
Saneamiento**

Presentado por:

Brayan Ronny Pinto Ponce

Jhon Paul Franco Montalvo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a mi familia y a mi esposa, quienes me respaldaron con apoyo, actos de servicio y palabras de aliento durante todo el desarrollo de este proyecto.

A mi tutor PhD. Eduardo Santos, quien se dedicó más allá de sus obligaciones como tutor, con vocación y rigor técnico, a guiarnos durante el desarrollo de esta tesis.

Y finalmente a ESPOL, por las facilidades concedidas para la ejecución de ensayos y levantamiento de información.

**Ing. Jhon Paul Franco Montalvo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedicado con profundo cariño a mis padres, Jacinto Salomón Pinto Monserrate y Leonny Azucena Ponce Pisco, por su amor incondicional y apoyo constante; a mi hermano Steven Daniel Pinto Ponce; a mis abuelos Colón Obsuel Ponce Parrales y Eulalia Margarita Pisco Reyes; a toda mi familia, y a mi pareja Ginger Lisbeth Díaz Macías, por acompañarme en cada paso de este camino.

De manera especial, dedico este logro a la memoria de mi querido abuelo Colón Ponce, quien desde el cielo sigue siendo una fuente de inspiración. Extiendo mi sincero agradecimiento al equipo del CIPAT, al director Ing. Fernando Morante Carballo, Ph.D., y al decano de la FICT, Ing. Paúl Carrión Mero, por su apoyo institucional. Finalmente, expreso mi más profundo agradecimiento a mi tutor, Ing. Eduardo Santos Baquerizo, Ph.D., por su guía, compromiso y enseñanza durante el desarrollo de este trabajo.

**Ing. Brayan Ronny Pinto Ponce**

## DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros, FRANCO MONTALVO JHON PAUL y PINTO PONCE BRAYAN RONNY, acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de noviembre del 2025.

---

Ing. Jhon Franco Montalvo

---

Ing. Brayan Pinto Ponce

# EVALUADORES

---

**Ing. Fernanda Mejía, MSc.**

Profesor de Materia Integradora

---

**Ing. Samantha Jiménez, PhD.**

Profesor de Materia  
Integradora

---

**Ing. Eduardo Santos, PhD.**

Tutor de proyecto

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una propuesta de rehabilitación para la losa de hormigón HCP del pavimento rígido que conecta la entrada de la ESPOL con el intercambiador de la Prosperina, con el fin de garantizar la seguridad y confort de los usuarios. Se parte de la premisa de que el pavimento presenta graves deficiencias constructivas y estructurales que justifican una intervención técnica especializada. La justificación de la intervención recae en la necesidad de corregir las irregularidades dimensionales, la baja resistencia y los anchos excesivos de juntas para evitar la evolución de daños, siendo imperativo proponer soluciones basadas en normas técnicas y un análisis económico. Para el desarrollo de este proyecto, se evaluó el estado de la losa mediante una combinación de inspecciones visuales, ensayos destructivos (extracción de núcleos de hormigón para medir espesor y resistencia) y ensayos no destructivos (ultrasonido y georradar). Adicionalmente, se recurrió a normas técnicas para sustentar las soluciones y se elaboró un análisis de costos y planos. Los ensayos identificaron errores constructivos como dimensiones irregulares de los paños, espesores inconsistentes (19 a 26 cm) y oquedades con resistencias tan bajas como 83 kgf/cm<sup>2</sup>. Se determinó que el deterioro superficial era el daño predominante y que el tramo final de la vía presentaba el 45.52% de losas afectadas. Como solución principal, se propuso la sustitución parcial o total de las losas dañadas según su severidad, y se calculó un presupuesto referencial de \$208,367.15. En conclusión, las deficiencias constructivas y el mantenimiento deficiente de las juntas favorecen la evolución de los daños por bombeo. Por tanto, se requiere la rehabilitación urgente y técnica del pavimento, siendo imperativo corregir los problemas estructurales antes de considerar cualquier recubrimiento asfáltico que comprometa la inversión.

**Palabras Clave:** Rehabilitación, Pavimento Rígido, Errores Constructivos, Sustitución de Losa, Daños Estructurales.

## **ABSTRACT**

*The main objective of this thesis project is to design a rehabilitation proposal for the HCP concrete slab of the rigid pavement connecting the ESPOL entrance with the Prosperina interchange, to ensure the safety and comfort of users. The premise is that the pavement exhibits serious construction and structural deficiencies that warrant specialized technical intervention. The justification for the intervention lies in the need to correct dimensional irregularities, low strength, and excessive joint widths to prevent further damage, making it imperative to propose solutions based on technical standards and an economic analysis. For the development, the condition of the slab was evaluated through a combination of visual inspections, destructive testing (extraction of concrete cores to measure thickness and strength), and non-destructive testing (ultrasound and ground-penetrating radar). Additionally, technical standards were consulted to support the solutions, and a cost analysis and drawings were prepared. The tests identified construction errors such as irregular panel dimensions, inconsistent thicknesses (19 to 26 cm), and voids with strengths as low as 83 kgf/cm<sup>2</sup>. It was determined that surface deterioration was the predominant type of damage, and that the final section of the road had 45.52% of its slabs affected. As the primary solution, partial or total replacement of the damaged slabs was proposed, depending on their severity, and a reference budget of 08,367.15 was calculated. In conclusion, construction deficiencies and poor joint maintenance favor the progression of pumping damage. Therefore, urgent and technical pavement rehabilitation is required, and it is imperative to correct structural problems before considering any asphalt overlay that would jeopardize the investment.*

**Keywords:** *Rehabilitation, Rigid Pavement, Construction Errors, Slab Replacement, Structural Damage.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
ÍNDICE GENERAL.....	3
ABREVIATURAS.....	7
SIMBOLOGÍA.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE PLANOS.....	14
ÍNDICE DE ANEXOS.....	14
CAPÍTULO 1.....	15
INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Localización.....	17
1.3 Estudios previos.....	18
1.4 Problemática a resolver.....	19
1.5 Justificación.....	20
1.6 Objetivos.....	20
1.6.1 Objetivo General.....	20
1.6.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 2.....	22
2.1 Marco conceptual.....	22
2.1.1 Infraestructura vial y su importancia.....	22
2.1.2 Clasificación y tipos de pavimentos.....	23
2.1.3 Juntas de pavimentos rígidos.....	23
2.1.4 Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP).....	25

2.1.5 Tipos de fallas en pavimentos rígidos.....	28
2.1.5.1 Deterioro Superficial.....	28
2.1.5.1.1 Baches .....	29
2.1.5.1.2 Desgaste por erosión.....	30
2.1.5.1.3 Despostillamiento.....	31
2.1.5.2 Hundimiento y levantamiento de losas.....	32
2.1.5.2.1 Hundimiento localizado .....	32
2.1.5.2.2 Levantamiento localizado.....	33
2.1.5.3 Fisuras y Grietas .....	33
2.1.5.3.1 Fisura o Grieta Transversal.....	34
2.1.5.3.2 Fisura o Grieta Longitudinal .....	35
2.1.5.3.3 Fisura o Grieta de Esquina.....	36
2.1.5.4 Deficiencia en material de sello en juntas .....	37
2.1.6 Evaluación del estado de pavimentos rígidos.....	38
2.1.7 Técnicas de rehabilitación de pavimentos rígidos .....	38
2.2 Marco metodológico .....	39
2.3 Trabajo de campo.....	41
2.3.1 Inspección visual de la losa de pavimento rígido.....	41
2.3.2 Ensayo de Esclerometría.....	43
2.3.3 Ensayo de Extracción y Rotura de Núcleos de Hormigón .....	46
2.3.4 Ensayo de Carbonatación .....	48
2.3.5 Ensayo de Ultrasonido.....	50
2.4 Trabajo de laboratorio o gabinete .....	52
2.4.1 Tratamiento de datos de inspección visual del pavimento.....	52
2.4.2 Ensayo de Esclerometría.....	53
2.4.3 Ensayo de Extracción y Rotura de Núcleos de Hormigón .....	55

2.4.4 Ensayo de Ultrasonido.....	56
2.5 Tabulación de datos .....	56
2.5.1 Ensayo de Esclerometría.....	56
2.5.2 Ensayo de Rotura de Núcleos de Hormigón.....	57
2.5.3 Ensayo de Carbonatación .....	58
2.5.4 Ensayo de Ultrasonido.....	58
2.5.5 Levantamiento visual de daños .....	58
2.6 Solución a diseñar .....	69
2.6.1 Sustitución total de losa .....	69
2.6.2 Sustitución parcial de losa .....	69
2.6.3 Sellado de juntas .....	70
2.6.4 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno .....	70
2.6.5 Sellado de fisuras y grietas.....	70
CAPÍTULO 3.....	71
3.1 Resultados.....	71
3.1.1 Ensayos de laboratorio .....	71
3.1.2 Levantamiento visual de datos .....	72
3.2 Análisis de resultados .....	75
3.2.1 Ensayo de Rotura de Núcleos de Hormigón.....	76
3.2.2 Ensayo de Esclerometría.....	78
3.2.3 Ensayo de Carbonatación .....	78
3.2.4 Ensayo de Ultrasonido.....	78
3.2.5 Deterioro Superficial .....	79
3.2.6 Deficiencia de material de sello en juntas.....	88
3.2.7 Separación losa-bordillo .....	89
3.2.8 Fisuras y Grietas.....	91

3.2.9 Levantamiento y Hundimiento y de Losa .....	93
3.3 Diseño de la solución.....	96
3.4 Especificaciones técnicas .....	103
3.4.1 Sustitución total de losa .....	104
3.4.2 Sustitución parcial de losa .....	106
3.4.3 Sellado de juntas .....	109
3.4.4 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno .....	110
3.4.5 Sellado fisuras y grietas.....	111
3.4.6 Análisis de precios unitarios y Presupuesto .....	113
CAPÍTULO 4 .....	116
4.1 Conclusiones .....	116
4.2 Recomendaciones .....	117
BIBLIOGRAFÍA .....	118
PLANOS Y ANEXOS .....	121

## ABREVIATURAS

AASTHO	American Association State Highway and Transportation Officials
ASOCEM	Asociación de Productores de Cemento
ASTM	American Society for Testing and Materials
APU	Análisis de Precios Unitarios
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
HCP	Hormigón Compactado con Pavimentadora
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
NEVI-12	Norma Ecuatoriana Vial
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PCI	Pavement Condition Index
SIG	Sistemas de Información Geográfica
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual
UPC	Fuente de energía portátil
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984

## SIMBOLOGÍA

cm	Centímetro
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
kgf/cm <sup>2</sup>	Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado
km	Kilómetro
kN	Kilonewton
m	Metro
mg	Miligramo
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N/mm <sup>2</sup>	Newton por milímetro cuadrado
pH	Potencial de Hidrógeno
psi	Libras por pulgada cuadrada

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Junta de trabazón de agregados. ....	24
Figura 2.2 Junta con pasadores.....	24
Figura 2.3 Junta Machimbrada. ....	24
Figura 2.4 Tendido de HCP y líneas guía. ....	26
Figura 2.5 Fajas de compactación. ....	27
Figura 2.6 Clasificación de los tipos de falla en la losa HCP del pavimento. ....	28
Figura 2.7. Esquema gráfico de baches .....	29
Figura 2.8 Esquema gráfico de desgaste por erosión.....	30
Figura 2.9 Esquema gráfico de despostillamiento .....	31
Figura 2.10 Esquema gráfico de hundimiento localizado.....	32
Figura 2.11 Esquema gráfico de levantamiento localizado .....	33
Figura 2.12 Ancho de una grieta (INVIAS, 2006).....	34
Figura 2.13 Esquema gráfico de fisura o grieta transversal .....	34
Figura 2.14 Esquema gráfico de fisura o grieta longitudinal .....	35
Figura 2.15 Esquema gráfico de fisura o grieta de esquina .....	36
Figura 2.16 Esquema gráfico de deficiencia de sello.....	37
Figura 2.17 Esquema metodológico para la rehabilitación de la carretera. ....	39
Figura 2.18 Levantamiento de daños en la losa de hormigón. ....	42
Figura 2.19 Numeración de losas (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006). ....	43
Figura 2.20 Medición directa de espesor de losa (abscisa 0+302).....	43
Figura 2.21 Equipo utilizado para ensayo de Esclerometría.....	45
Figura 2.22 Toma de lecturas con esclerómetro.....	45
Figura 2.23 Equipo utilizado para extracción de núcleos de hormigón .....	47
Figura 2.24 Núcleo de hormigón extraído (abscisa 1+460) .....	48
Figura 2.25 Fenolftaleína usada para ensayo de Carbonatación .....	49
Figura 2.26 Núcleo de hormigón ensayado para Carbonatación (interior de ESPOL, a 70 m del inicio de la vía) .....	49
Figura 2.27 Generador de pulso marca Toyoko Elmes.....	51
Figura 2.28 Transductores .....	51
Figura 2.29 Gel de acoplamiento.....	51
Figura 2.30 Ensayo de Ultrasonido en fisura transversal (Abscisa 1+163).....	51

Figura 2.31 Ángulo de lectura del esclerómetro .....	54
Figura 2.32 Lecturas de prensa para rotura de núcleos de hormigón.....	55
Figura 2.33 Medición de profundidad de fisura o grieta por ultrasonido .....	56
Figura 3.1 Oquedades en el hormigón (abscisa 0+724) .....	77
Figura 3.2 Oquedades en el hormigón (abscisa 1+460) .....	77
Figura 3.3 Bache de severidad Alta (Abscisa 1+170) .....	79
Figura 3.4 Bache de severidad Alta (Abscisa 0+664) .....	80
Figura 3.5 Despostillamiento de severidad Alta (Abscisa 1+082) .....	80
Figura 3.6 Daños superficiales y juntas de la losa reflejados en carpeta asfáltica sobrepuesta (Abscisa 1+040) .....	81
Figura 3.7 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 1 de 10. ....	83
Figura 3.8 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 2 de 10. ....	83
Figura 3.9 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 3 de 10. ....	84
Figura 3.10 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 4 de 10. ....	84
Figura 3.11 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 5 de 10. ....	85
Figura 3.12 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 6 de 10. ....	85
Figura 3.13 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 7 de 10. ....	86
Figura 3.14 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 8 de 10. ....	86
Figura 3.15 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 9 de 10. ....	87
Figura 3.16 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 10 de 10. ..	87
Figura 3.17 Mantenimiento deficiente de material de sello en junta transversal, carril de ingreso (Abscisa 0+085) .....	88
Figura 3.18 Deficiencia en material de sello, junta longitudinal (Abscisa 1+414).....	89
Figura 3.19 Junta longitudinal con ancho normal (<7 mm) (Abscisa 0+330) .....	90
Figura 3.20 Junta longitudinal con ancho anormal (3 cm) (Abscisa 0+530).....	90
Figura 3.21 Junta longitudinal con ancho anormal (3 cm) (Abscisa 0+850).....	91
Figura 3.22 Fisura transversal de severidad baja (abscisa 1+163).....	92
Figura 3.23 Hundimiento de losa 1 cm en junta con ancho anormal(Abscisa 0+856)93	
Figura 3.24 Imagen ampliada de Figura 3.13 (Abscisa 0+856) .....	94
Figura 3.25 Hundimiento de losas 1 cm (Abscisa 1+234).....	94
Figura 3.26 Hundimiento de losa 1 cm, carril de salida (Abscisa 1+377) .....	95
Figura 3.27 Hundimiento de losa 1 cm, foto tomada con dron (Abscisa 1+377).....	95
Figura 3.28 Sustitución Total de Losa, vista en planta.....	98

Figura 3.29 Sustitución Total de Losa, corte transversal A-A' .....	98
Figura 3.30 Sustitución Parcial de Losa, vista en planta.....	99
Figura 3.31 Sustitución Parcial de Losa, corte transversal. ....	99
Figura 3.32 Sellado de Juntas, pasos 1 y 2. ....	99
Figura 3.33 Sellado de Juntas, paso 3.....	100
Figura 3.34 Sellado de Juntas, corte transversal. ....	100
Figura 3.35 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 1. ....	101
Figura 3.36 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 2. ....	101
Figura 3.37 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 3. ....	102
Figura 3.38 Sellado de Fisuras y Grietas, Silicona de bajo módulo .....	102
Figura 3.39 Sellado de Fisuras y Grietas, Sellador de resina epóxica.....	102
Figura 3.40 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno, reparación de vértices. .....	103
Figura 3.41 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno, instalación del perfil. .....	103
Figura 3.42 Vibrado del hormigón, Sustitución Total de Losa.....	105
Figura 3.43 Geometría de corte, Sustitución de Parcial de Losa.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Instrumentos utilizados .....	41
Tabla 2.2 Software utilizado en este estudio .....	52
Tabla 2.3 Tramos de estudio de la vía.....	52
Tabla 2.4 Factor de corrección por dirección de impacto ( $\Delta R$ ) .....	54
Tabla 2.5 Factor de corrección por humedad ( $\Delta R_w$ ) .....	54
Tabla 2.6 Factor de edad ( $\alpha_n$ ).....	54
Tabla 2.7 Factor de corrección de resistencia (ASTM, 2009) .....	55
Tabla 2.8 R promedio de Ensayo de Esclerometría.....	57
Tabla 2.9 Resistencia a la compresión estimada por Esclerometría.....	57
Tabla 2.10 Resultados de ensayo de rotura de núcleos de hormigón .....	57
Tabla 2.11 Resultados de ensayo de carbonatación .....	58
Tabla 2.12 Resultados de profundidad de fisuras y grietas, Ensayo de Ultrasonido .	58
Tabla 2.13 Agrupación de daños, Baches. ....	59
Tabla 2.14 Agrupación de daños, Desgaste por erosión. ....	61
Tabla 2.15 Agrupación de daños, Despostillamiento. ....	63
Tabla 2.16 Agrupación de daños, Deficiencia de material de sello en junta longitudinal. .....	63
Tabla 2.17 Agrupación de daños, Deficiencia de material de sello en junta transversal. .....	64
Tabla 2.18 Agrupación de daños, Fisuras Transversales .....	65
Tabla 2.19 Agrupación de daños, Fisuras Longitudinales .....	66
Tabla 2.20 Agrupación de daños, Fisuras de Esquina.....	67
Tabla 2.21 Agrupación de daños, Grietas Transversales .....	67
Tabla 2.22 Agrupación de daños, Grietas Longitudinales.....	68
Tabla 2.23 Agrupación de daños, Grietas de Esquina.....	68
Tabla 2.24 Agrupación de daños, Hundimiento localizado de losa.....	69
Tabla 3.1 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio .....	71
Tabla 3.2 Afectación de losas por grupo de daños: Deterioro Superficial.....	72
Tabla 3.3 Afectación de losas por grupo de daños: Deficiencia de material de sello en juntas .....	72
Tabla 3.4 Separación losa-bordillo.....	73

Tabla 3.5 Afectación de losas por grupo de daños: Fisuras y Grietas .....	73
Tabla 3.6 Afectación de losas por grupo de daños: Levantamiento y Hundimiento de Losa .....	74
Tabla 3.7 Afectación global de losas del pavimento por tramos .....	74
Tabla 3.8 Dimensiones de losas del pavimento .....	75
Tabla 3.9 Espesor de losa obtenido por medición directa .....	75
Tabla 3.10 Técnicas de rehabilitación propuesta según el tipo de daño.....	96
Tabla 3.11 Material sellante según su aplicación.....	111
Tabla 3.12 Presupuesto referencial. Sustitución de total de losa.....	113
Tabla 3.13 Presupuesto referencial. Sustitución de parcial de losa.....	114
Tabla 3.14 Presupuesto referencial. Sellado de juntas.....	114
Tabla 3.15 Presupuesto referencial. Sellado de junta con perfil preformado de neopreno.....	115
Tabla 3.16 Presupuesto referencial. Sellado de fisuras y grietas .....	115

## **ÍNDICE DE PLANOS**

- PLANO 1 Sustitución total de losa
- PLANO 2 Sustitución parcial de losa
- PLANO 3 Sellado de Junta
- PLANO 4 Sellado de Fisura o Grieta
- PLANO 5 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO 1 Formato de levantamiento de datos
- ANEXO 2 Datos levantados en inspección visual
- ANEXO 3 Resultados de ensayo de Esclerometría
- ANEXO 4 Resultados de ensayo de Extracción de Núcleos de Hormigón
- ANEXO 5 Resultados de ensayo de Ultrasonido en Hormigón

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial constituye un componente esencial para el desarrollo de las sociedades, ya que garantiza la conectividad, promueve la integración territorial y fortalece el crecimiento económico y social (Stöckner et al., 2025). Las carreteras y vías urbanas no solo permiten el transporte eficiente de personas y bienes, sino que además representan un soporte para el funcionamiento de sectores productivos, educativos, de salud y recreativos. Entre las soluciones empleadas para soportar altos volúmenes de tráfico, el pavimento rígido destaca por su durabilidad, capacidad estructural y buen desempeño frente a cargas repetitivas. No obstante, su vida útil depende de múltiples factores, como la calidad de los materiales, un diseño y proceso constructivo que cumpla con los requisitos técnicos, y la ejecución de programas de mantenimiento preventivo y correctivo. La ausencia de estas acciones puede ocasionar deterioros progresivos que comprometen la funcionalidad, la seguridad vial y elevan los costos de mantenimiento vehicular.

En Ecuador, esta problemática es evidente en varias infraestructuras viales, incluidas aquellas que cumplen funciones estratégicas en entornos urbanos y académicos. Tal es el caso del campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en Guayaquil, en la que conecta la entrada principal con el intercambiador de la Prosperina. Esta arteria vial, construida con pavimento rígido HCP (Hormigón Compactado con Pavimentadora), soporta diariamente un importante flujo vehicular compuesto por estudiantes, docentes, personal administrativo, transporte público y vehículos de carga, lo que la convierte en un elemento crítico para el funcionamiento institucional (Zambrano & Basantes, 2013).

En este contexto, surge la necesidad de estudios orientados a la evaluación y rehabilitación de pavimentos rígidos que no solo restauren la funcionalidad de vías como la de ESPOL, sino que también impulsen la eficiencia económica, la seguridad vial y la sostenibilidad ambiental, en coherencia con los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11), que promueven infraestructuras resilientes e inclusivas para el futuro (Sightsaver, 2025).

El presente proyecto busca proponer un diseño de rehabilitación para la losa del pavimento rígido de hormigón HCP en ESPOL, desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina, con base en inspecciones visuales, ensayos destructivos y no destructivos, y normativas técnicas.

El documento está estructurado en cuatro capítulos. En el Capítulo 1 se expone los antecedentes, problema a resolver y objetivos del proyecto. En el Capítulo 2 se explica la base teórica y la metodología seguida para el desarrollo de la solución. En el Capítulo 3 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos, su interpretación, y el diseño de la solución. Finalmente, en el Capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### **1.1 Antecedentes**

La infraestructura vial interna de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) cumple un rol clave para garantizar la movilidad segura, eficiente y continua de estudiantes, docentes, visitantes, personal administrativo y de servicio.

El campus Gustavo Galindo cuenta con una red vial que conecta sus principales accesos y facultades. Una de las rutas más transitadas para el ingreso a ESPOL es el tramo de carretera que se extiende desde su entrada principal hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina, con una longitud aproximada de 1.5 km y 22 metros de ancho. Esta carretera cuenta doble carril en cada sentido de ingreso y salida, y un parterre central. Además, fue construida con pavimento rígido de hormigón HCP (hormigón compactado con pavimentadora) de 25 cm de espesor en su capa de rodadura. Su construcción se completó en el año 2012, y tuvo como objetivo aliviar el tránsito vehicular del ingreso y salida al campus, que hasta ese entonces contaba con un solo punto de acceso. Ahora, esta carretera sirve al tránsito vehicular, tanto liviano como pesado, para más de 10.000 estudiantes (Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL], 2022).

En la actualidad, se ha evidenciado un deterioro progresivo del estado de la losa de hormigón del pavimento rígido. Entre las afectaciones más comunes destacan

daños leves, medios y severos que perjudican la comodidad y seguridad de los usuarios, y generan un impacto económico y social considerable. Los baches y fisuras provocan daños mecánicos en los vehículos que circulan por la vía, elevando los costos de operación y mantenimiento vehicular. Así mismo, el tiempo de recorrido aumenta debido a la necesidad de reducir la velocidad o esquivar las zonas afectadas, lo que puede derivar en congestión vehicular interna, principalmente en horas pico, afectando la productividad académica y laboral de la comunidad universitaria.

Frente a esta situación, surge la necesidad de una evaluación integral del estado del pavimento y el desarrollo de una propuesta de rehabilitación sostenible, basada en inspecciones visuales, ensayos técnicos y criterios de optimización económica y ambiental, que permita restituir la funcionalidad de la vía y garantizar su durabilidad a futuro.

## **1.2 Localización**

El campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ubicado en Guayaquil, en la coordenada 2°08'46" S y 79°56'52" O, con clima Tropical, cuenta con una red vial interna de pavimento rígido construida a finales de los años 70 (1977). Estas vías, diseñadas inicialmente para un tráfico moderado, actualmente sirven a la demanda vehicular de más de 10.000 estudiantes, docentes, personal administrativo, personal de servicio y visitantes diariamente, lo que ha acelerado su deterioro estructural y funcional (ESPOL, 2022). Particularmente, el tramo vial que conecta la entrada principal de ESPOL con la garita de la Vía Perimetral km 30.5, con una extensión de 1.5 km (Figura 1.1), presenta patologías típicas de pavimentos rígidos como fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento de agregados, pérdida de planicidad y deterioro de juntas. La falta de una intervención integral no solo afecta la seguridad vial, sino que incrementa los costos de operación vehicular y genera impactos negativos en la productividad académica y laboral del campus (Zambrano & Basantes, 2013).



**Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio**

### **1.3 Estudios previos**

Las vías del campus Gustavo Galindo de la ESPOL han sido objeto de diversos estudios técnicos orientados a diagnosticar su estado y proponer soluciones para su conservación. A continuación, se detallan estos estudios.

El trabajo titulado “Análisis y soluciones propuestas a las deformaciones de la losa de hormigón compactado con pavimentadora (HCP) del pavimento rígido. Caso de estudio: vía principal del campus Gustavo Galindo”, presenta un diagnóstico detallado de las fallas existentes en un tramo de 960 m de vía interna del campus. Identificó fallas como baches, bombeo, escalonamiento de losas, fisuramiento por retracción, losas subdivididas, descascaramiento superficial, grietas longitudinales, transversales, de esquina, diagonales y sinuosas, además de deficiencias en las juntas (Zambrano & Basantes, 2013).

El citado estudio concluyó que la principal causa del deterioro era la falta de mantenimiento preventivo, la infiltración de agua en la base por juntas deterioradas y el incremento del tráfico vehicular, recomendando intervenciones como sellado de juntas, sellado de grietas, aplicación de parches superficiales y demoliciones parciales en zonas críticas, acompañadas de un análisis de costos referencial para priorizar la intervención

En la tesis “Diseño de la vía que conectará a la ESPOL con el distribuidor de tráfico de la Prosperina”, se desarrolló el diseño geométrico, de pavimento rígido y del sistema de drenaje para el tramo que actualmente conecta la entrada principal de ESPOL con la Vía Perimetral y el intercambiador de la Prosperina. Este proyecto estableció las especificaciones de diseño del pavimento rígido, dimensionamiento de juntas longitudinales y transversales, estudio de suelos y cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), con una proyección de crecimiento vehicular a 20 años. Los datos de tráfico obtenidos en este estudio fueron la base para definir el tipo de pavimento implementado en 1977 (Vallejo et al., 1998).

#### **1.4 Problemática a resolver**

La losa de hormigón HCP del pavimento rígido que conecta la entrada principal del campus Gustavo Galindo de la ESPOL con la unión al intercambiador de la Prosperina, constituye el principal acceso al campus y soporta un flujo vehicular elevado, que incluye transporte público, vehículos particulares y de carga.

Actualmente, el pavimento presenta baches, fisuras superficiales y profundas, grietas longitudinales y transversales, desprendimiento superficial de agregados (desgaste por erosión), deterioro de juntas de dilatación y pérdida de planicidad, lo que afecta la calidad del servicio vial. Estos daños inciden de manera directa en la seguridad vial, incrementando el riesgo de accidentes, además de elevar los costos de operación y mantenimiento vehicular. Asimismo, provocan demoras en los tiempos de desplazamiento, principalmente en horas pico, generando impactos negativos en la movilidad interna del campus y en la productividad académica y administrativa de la institución.

Estudios previos realizados en la ESPOL han analizado el estado de las vías internas del campus, identificado como principales causas de deterioro: la infiltración de agua en la base debido a juntas deterioradas, el incremento sostenido del tráfico vehicular, y la ausencia de un programa sistemático de mantenimiento preventivo. No obstante, no existe al momento una evaluación del estado de la vía externa principal de ingreso, que es la más transitada y aparentemente afectada.

Ante esta problemática, se requiere una evaluación integral del estado del pavimento mediante inspecciones visuales, que considere ensayos destructivos

y no destructivos, y un análisis técnico-económico para el desarrollo de una propuesta de rehabilitación sostenible, eficiente y duradera, garantizando la funcionalidad, seguridad y confort del principal acceso al campus en los próximos años.

## **1.5 Justificación**

La rehabilitación del pavimento rígido del tramo que conecta la entrada principal del campus Gustavo Galindo de la ESPOL con el intercambiador de la Prosperina es esencial para garantizar la seguridad, funcionalidad y sostenibilidad de la infraestructura vial del campus. Este proyecto no solo aborda el deterioro existente, sino que busca implementar soluciones técnicas que aseguren un rendimiento óptimo a largo plazo, minimizando la recurrencia de daños y la necesidad de intervenciones correctivas.

La utilidad del proyecto radica en que permitirá aplicar metodologías modernas de evaluación y rehabilitación, optimizando el uso de materiales y recursos, y contribuyendo a la reducción de costos operativos tanto para la institución educativa como para los usuarios. Además, al garantizar un acceso confiable al campus, se favorecerá la eficiencia académica y administrativa, así como la comodidad y seguridad de miles de estudiantes, docentes y visitantes.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la propuesta se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), principalmente el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), promoviendo infraestructura resiliente e innovadora, y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al mejorar la movilidad urbana con criterios de eficiencia y responsabilidad ambiental.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Diseñar una propuesta de rehabilitación de la losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina, mediante inspecciones visuales, ensayos destructivos y no destructivos, normas técnicas, y un análisis económico y ambiental, que garantice la seguridad, comodidad y confort de los usuarios.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar las propiedades de la losa de hormigón existente mediante inspecciones, y ensayos destructivos y no destructivos.
- Identificar los daños presentes en la losa de hormigón para la propuesta de técnicas de rehabilitación.
- Proponer soluciones de rehabilitación de la losa de hormigón, a través de normas técnicas, análisis de costos, selección de materiales y la elaboración de planos técnicos.

# CAPÍTULO 2

## DESARROLLO DEL PROYECTO

### 2.1 Marco conceptual

La infraestructura vial constituye uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico, social y académico, ya que facilita la movilidad de personas, mercancías y servicios, promoviendo la integración territorial y el acceso a nuevas oportunidades. En contextos urbanos y educativos, como los campus universitarios, las vías internas cumplen un papel estratégico al garantizar el flujo adecuado de usuarios y el desarrollo de las actividades científicas y académicas. El adecuado diseño, construcción y mantenimiento de estas infraestructuras es esencial para garantizar su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad a lo largo del tiempo (INVIAS, 2006).

#### 2.1.1 Infraestructura vial y su importancia

La infraestructura vial comprende el conjunto de caminos, carreteras, calles y vías que permiten la circulación vehicular y peatonal. Su importancia trasciende la conectividad, constituyendo un elemento para la productividad y el bienestar social. Un sistema vial en buenas condiciones reduce tiempos de traslado, minimiza costos de transporte y mejora la seguridad de los usuarios. Por el contrario, la falta de mantenimiento y el deterioro progresivo generan externalidades negativas como accidentes, sobrecostos operativos y pérdida de competitividad económica.

En Ecuador, la red vial enfrenta importantes desafíos asociados al crecimiento urbano acelerado, el incremento del parque automotor y la limitada planificación de programas de conservación. Este escenario se replica en infraestructuras internas de instituciones estratégicas, como el campus Gustavo Galindo de la ESPOL, donde la vía principal que conecta la entrada principal con el intercambiador de la Prosperina soporta diariamente un elevado flujo vehicular. Su adecuado desempeño es vital para el funcionamiento académico y administrativo de la institución (Zambrano & Basantes, 2013).

### 2.1.2 Clasificación y tipos de pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para soportar cargas vehiculares y transmitir las al terreno de fundación. Están compuestos por capas colocadas horizontalmente y cuentan con estándares técnicos para su diseño y construcción. Las capas del pavimento se apoyan sobre la superficie de la subrasante, que puede ser de material mejorado o aquel presente en el sitio. Estos se clasifican en pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

- **Pavimentos flexibles:** Compuestos por capas de mezclas asfálticas sobre bases y sub-bases granulares. Su principal característica es que distribuyen las cargas mediante deformación elástica y requieren mantenimiento periódico para preservar su desempeño (Beskou & Muho, 2023).
- **Pavimentos rígidos:** Están conformados por losas de hormigón hidráulico que poseen alta rigidez y resistencia, distribuyendo las cargas en áreas más amplias. Tienen una vida útil prolongada, que puede superar los 30 años bajo condiciones de diseño y mantenimiento adecuadas (Walker, 1985).
- **Pavimentos articulados:** Su capa de rodadura está constituida por elementos discretos prefabricados de espesor uniforme. Esta capa de adoquines se apoya sobre una capa de arena, y el conjunto sobre una base o subbase granular. Las juntas entre adoquines son selladas con arena (Valdés & Valdés, 2002)

En el caso del campus ESPOL, se utilizó pavimento rígido de Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP) para la vía principal, debido a su capacidad para soportar tráfico intenso y su durabilidad frente a condiciones climáticas adversas.

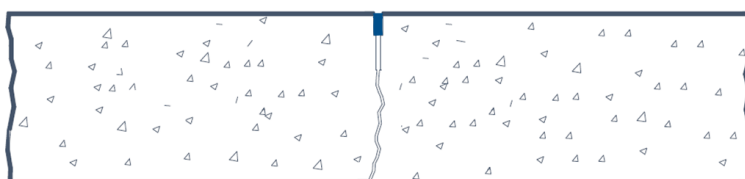
### 2.1.3 Juntas de pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos, al estar contruidos con hormigón hidráulico, son susceptibles a padecer deformaciones por cambios en su humedad y temperatura, producto de la exposición a las condiciones del clima. Para permitir la expansión del hormigón sin que se vea dañada su estructura, los pavimentos

rígidos se construyen con divisiones en las losas en el sentido paralelo (juntas longitudinales) y perpendicular (juntas transversales) al eje de la vía. Estas segmentaciones admiten sus deformaciones naturales evitando el agrietamiento de las losas.

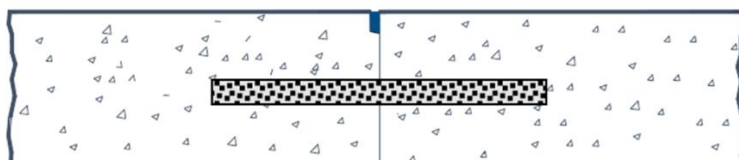
Las juntas de contracción suelen ser de tres tipos según su geometría:

- Junta de trabazón de agregados (Figura 2.1). Se forman por la inducción de un debilitamiento en la losa (aserrado de junta). Se puede usar con junta de contracción en pavimentos de tránsito liviano.



**Figura 2.1 Junta de trabazón de agregados. (Asociación Argentina de Carreteras, 2020)**

- Junta con pasadores (Figura 2.2). Incorporan un elemento de soporte metálico para prevenir la separación de las losas. Común en pavimentos expuestos a tránsito pesado.



**Figura 2.2 Junta con pasadores. (Asociación Argentina de Carreteras, 2020)**

- Junta Machihembrada (Figura 2.3). La junta tiene geometría de machimbra.



**Figura 2.3 Junta Machihembrada. (Asociación Argentina de Carreteras, 2020)**

En el caso de la vía de estudio, tanto las juntas longitudinales como transversales de son de tipo Trabazón de Agregados.

### **2.1.4 Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP)**

El HCP es un hormigón hidráulico con bajo contenido de agua, nulo revenimiento, alta densidad y resistencia mecánica, y de colocado y compactado mediante pavimentadoras especiales (slip-form pavers). Esta técnica permite construir pavimentos continuos de gran calidad, reduciendo la necesidad de juntas y aumentando la vida útil de la estructura (Velasco & Eguez, 2009).

Entre sus ventajas destacan:

- Alta capacidad portante.
- Menor susceptibilidad a deformaciones plásticas.
- Menor frecuencia de mantenimiento.

Sin embargo, presenta ciertas desventajas, tales como:

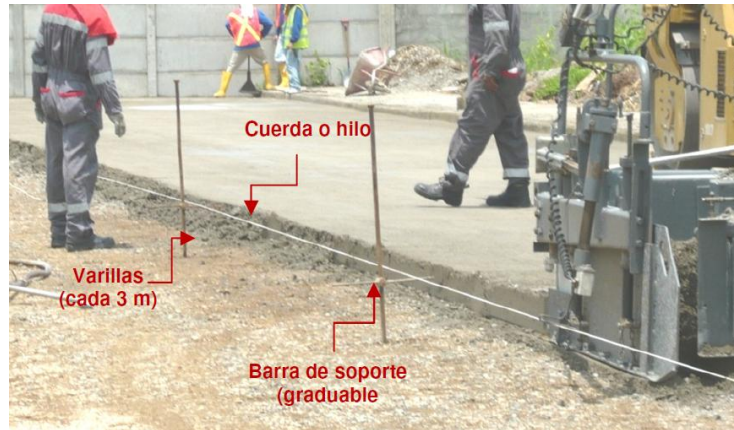
- Necesidad de un control estricto de calidad en materiales y procesos constructivos.
- Menor tiempo de trabajabilidad que un hormigón hidráulico convencional.
- Proceso de curado minucioso para evitar que factores climáticos afecten su bajo contenido de agua.

#### **Equipos necesarios:**

- Volqueta. Encargada de trasladar el HCP hasta el sitio.
- Pavimentadora. Tiende, precompacta (90-94%) y nivela el HCP en sitio. El ancho de tendido de material puede ir de los 2.5 a los 13 m, dependiendo de la longitud de su regla de compactación.
- Rodillo tándem vibratorio.
- Rodillo neumático.
- Aserradora de juntas con disco de diamante.
- Densímetro nuclear.

#### **Proceso constructivo:**

1. Se debe verificar que la sub-base y base cumplan con los requerimientos del NEVI-12 (Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, 2013).
2. Se comprueba la nivelación, alineación y pendientes transversales de la subrasante.
3. Se establecen líneas de guía para la pavimentadora (Figura 2.4).



**Figura 2.4 Tendido de HCP y líneas guía (Vasquez & Garnica, 2010).**

4. Se establece las fajas de tendido del HCP, que deberán considerar un margen como sobrecancho para la fundición (aproximadamente 25 cm), para que se apoyen los sensores de la pavimentadora y se forma una junta fría.
5. Una vez en sitio, la volqueta colocará el HCP en la pavimentadora. Se debe considerar el tiempo de trabajabilidad desde que el hormigón es vertido, que suele estar entre 60 y 90 minutos.
6. El hormigón se tiende con la pavimentadora en capas de espesores no mayores a 30 cm, con el fin de no afectar la compactación. Con la pavimentadora, se suele alcanzar un porcentaje de compactación entre el 90 y 94% (Vasquez & Garnica, 2010).
7. Inmediatamente después del tendido, se termina de compactar el hormigón con el rodillo vibratorio tándem (Figura 2.5) y se verifica que se alcanzó el porcentaje deseado de compactación con el densímetro nuclear. Las fajas de compactación deberán traslaparse en un ancho de 30 cm para asegurar la compactación uniforme del material. Luego se procede con el sellado de la superficie con el rodillo neumático, para eliminar irregularidades.



**Figura 2.5 Fajas de compactación. (Vasquez & Garnica, 2010)**

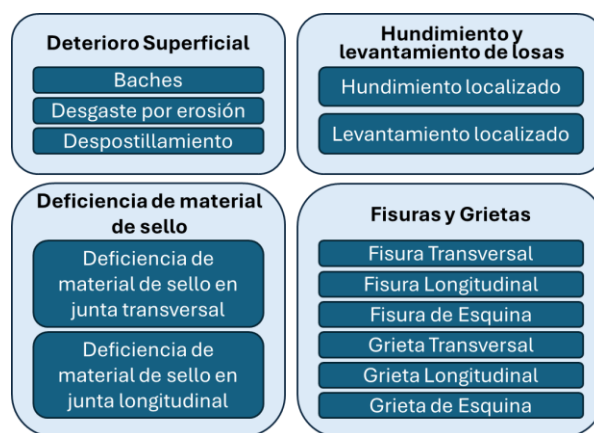
8. Al endurecer el HCP, se corta y demuele el sobrecancho del tendido.
9. El curado iniciará inmediatamente terminado el rodillado. Algunas técnicas comunes son el uso de membranas químicas, capa de emulsión asfáltica, uso de láminas plásticas y aplicación de humedad directa.
10. Finalmente, se procede a realizar el aserrado de juntas transversales (entre 5 y 24 horas después del tendido) y longitudinales (hasta 48 horas después del tendido). Esas juntas serán selladas con material mástic asfáltico y se deberá esperar no menos de 72 horas para abrir el pavimento al tránsito.

**Observaciones importantes:**

- Un control de calidad constante es fundamental para el desempeño y durabilidad final del pavimento.
- Se debe asegurar que el tendido se realice dentro del tiempo de trabajabilidad del HCP.
- Es importante realizar énfasis en el correcto proceso de compactación, ya que este tiene un gran impacto en la calidad final del HCP.

### 2.1.5 Tipos de fallas en pavimentos rígidos

Las fallas en una losa de pavimento rígido pueden deberse a varios motivos, tales como: deficiencia en materiales empleados, falta de mantenimiento, errores constructivos, errores de diseño y la erosión debido a la carga del tránsito. Podemos clasificar los daños más comunes en la losa de hormigón HCP del pavimento en tres familias (grupos de daños) según el tipo y zona de afectación. Además, en este estudio se ha considerado un cuarto grupo (Deficiencia de Material de Sello), que, si bien no representan daños directamente en la losa, es una condición que favorece su aparición (Figura 2.6).



**Figura 2.6 Clasificación de los tipos de falla en la losa HCP del pavimento.**

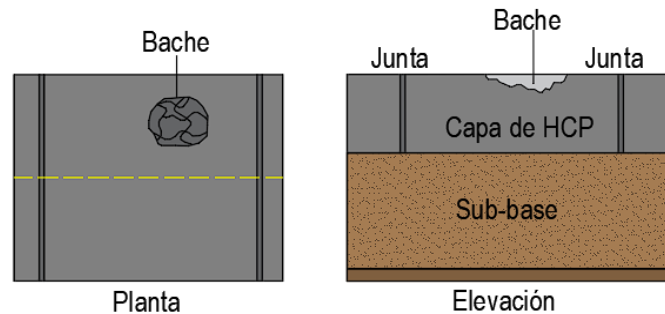
(Modificado por: Franco J., Pinto B. Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia).

#### 2.1.5.1 Deterioro Superficial

Son daños que perjudican la planicidad de la capa de rodadura. Consisten en la pérdida superficial o profunda de la pasta, agregados y eventualmente bloques de la losa de pavimento rígido. Estas afectaciones pueden poner en riesgo la seguridad de los usuarios de la carretera, obligándolos a reducir la velocidad y alterar su trayectoria para esquivar las zonas afectadas. Según su área de afectación en el pavimento y severidad, podemos clasificarlos en los siguientes tipos: Baches, Desgaste por erosión y Despostillamiento.

### 2.1.5.1.1 Baches

Cavidad en la superficie de la losa de pavimento rígido, usualmente redondeada, debida a la pérdida parcial de material con una profundidad mayor o igual a 15 mm (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006) (Figura 2.7).



**Figura 2.7. Esquema gráfico de baches**

#### **Posibles causas:**

Se pueden deber a una conjunción de varias causas, tales como:

- Inestabilidad de capas inferiores de soporte del pavimento.
- Espesores de capas insuficientes.
- Infiltración de agua a las capas inferiores del pavimento.
- Acción abrasiva del tránsito, en conjunto con otros daños como fisuras o grietas, concentrados en ciertas zonas del pavimento.

#### **Severidad:**

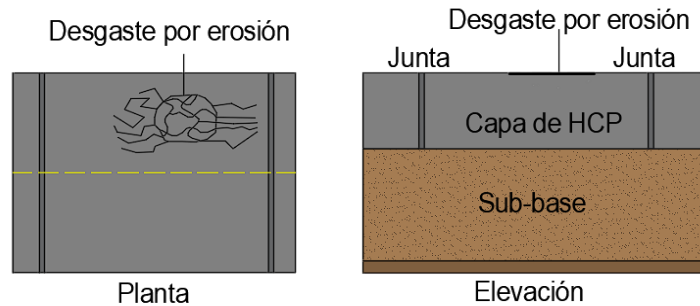
- Baja: Profundidad de afectación menor o igual a 2.5 cm.
- Media: Profundidad de afectación entre 2.5 y 5 cm.
- Alta: Profundidad de afectación mayor a 5 cm.

#### **Medición:**

Se mide en  $m^2$  de área afectada, registrando el daño de mayor severidad por cada losa.

### 2.1.5.1.2 Desgaste por erosión

Desprendimiento de la pasta en la superficie de la losa de pavimento rígido con una profundidad menor a 15 mm que genera una superficie rugosa (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006) (Figura 2.8).



**Figura 2.8 Esquema gráfico de desgaste por erosión**

#### **Posibles causas:**

Es provocado por el efecto abrasivo del tránsito sobre la losa de hormigón. Se puede deber a:

- Concreto pobre, ya sea por una inadecuada dosificación, o por errores en el proceso constructivo.
- Agregados expansivos o de características deficientes.
- Reparaciones ejecutadas sin el proceso técnico respectivo.

#### **Severidad:**

- Baja: Desprendimientos superficiales concentrados en áreas reducidas, como pequeñas reparaciones.
- Media: Desprendimiento extendido de manera generalizada en la losa que genera una superficie con textura irregular, pero que se limita a material fino.
- Alta: Desprendimiento extendido de manera generalizada en la losa que genera una superficie rugosa. Existe desprendimiento de agregado grueso, formando cavidades.

#### **Medición:**

Se mide en  $m^2$  de área afectada, registrando la severidad del daño.

### 2.1.5.1.3 Despostillamiento

Rotura o desintegración en los bordes de la losa del pavimento rígido que no se extiende verticalmente en todo su espesor, sino que interseca la junta en ángulo de manera superficial (Figura 2.9).

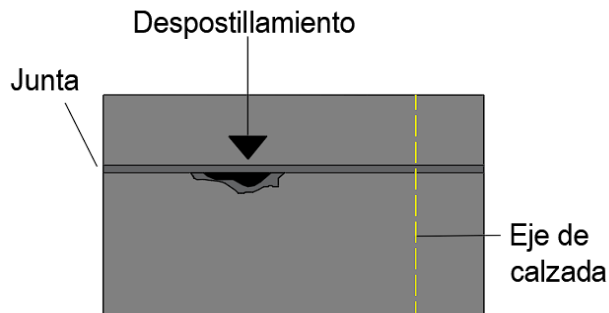


Figura 2.9 Esquema gráfico de despostillamiento

#### Posibles causas:

- Defectos constructivos que provocan debilitamiento del hormigón en el borde de la losa.
- Presencia de material incompresible en las juntas, que generan esfuerzos y la posterior rotura.
- Mal procedimiento de corte de junta.

#### Severidad:

- Baja: Fracturamientos pequeños que no superan los 8 cm a cada lado de la junta. Dan lugar a piezas que se mantienen firmes.
- Media: Fracturamientos que superan los 8 cm a cada lado de la junta, pero con una profundidad menor a 2.5 cm. Algunas piezas pueden faltar.
- Alta: Fracturamientos que superan los 8 cm a cada lado de la junta, con una profundidad mayor a 2.5 cm. Las piezas han sido removidas por el tránsito.

#### Medición:

Se mide la longitud en metros del segmento afectado de la junta y se reporta su severidad.

### 2.1.5.2 Hundimiento y levantamiento de losas

Consiste en una alteración del nivel (vertical) constante de una losa. Esto puede deberse al hundimiento o elevación de un área específica y suele ocurrir cerca de los bordes de esta.

#### 2.1.5.2.1 Hundimiento localizado

Desnivel entre dos superficies de la capa de rodadura del pavimento producido por el descenso de una zona definida de la losa de hormigón, suele ocurrir cerca de una junta (Figura 2.10).

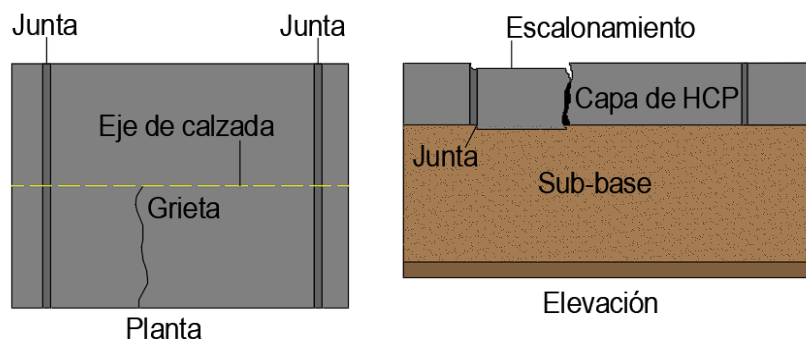


Figura 2.10 Esquema gráfico de hundimiento localizado

#### Posibles causas:

- Deficiencia en la distribución de cargas entre losas.
- Asentamiento diferencial de la subrasante.
- Falta de capacidad de soporte de la subrasante debida a la pérdida de material por infiltración de agua.

#### Severidad:

- Baja: desnivel menor a 0.5 cm.
- Media: desnivel entre 0.5 y 1 cm.
- Alta: desnivel mayor a 1 cm.

#### Medición:

Se mide el desnivel vertical, el ancho y el largo del área afectada. Considerar si este se debe a otros daños subyacentes, tales como desportillamiento o una grieta considerada como otro tipo de daño.

### 2.1.5.2.2 Levantamiento localizado

Desnivel entre dos superficies de la capa de rodadura del pavimento producido por el ascenso de un área definida de la losa de hormigón, suele ocurrir cerca de una junta (Figura 2.11).

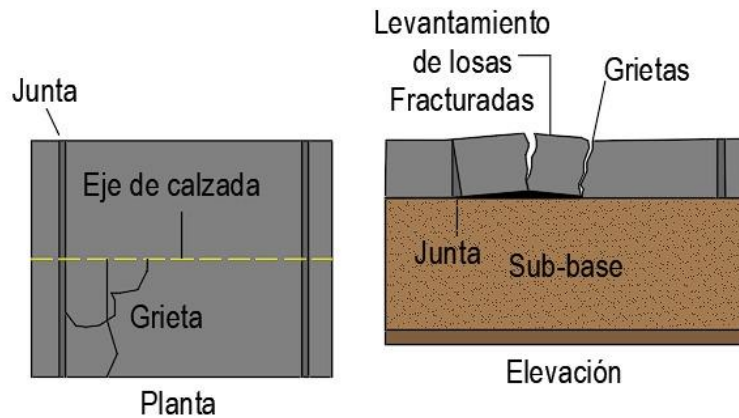


Figura 2.11 Esquema gráfico de levantamiento localizado

#### Posibles causas:

- Deficiencia en la distribución de cargas entre losas.
- Presencia de material expansivo a poca profundidad.

#### Severidad:

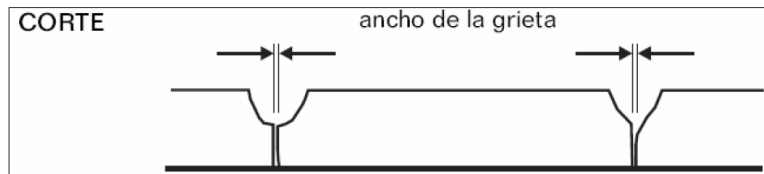
- Baja: desnivel menor a 0.5 cm.
- Media: desnivel entre 0.5 y 1 cm.
- Alta: desnivel mayor a 1 cm.

#### Medición:

Medir el desnivel y su longitud a lo largo del borde de la losa.

### 2.1.5.3 Fisuras y Grietas

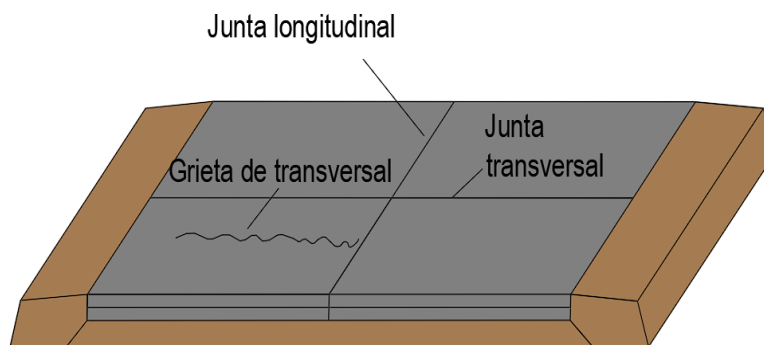
Aberturas en la losa de hormigón del pavimento que pueden ser superficiales o profundas. Se considerará una grieta cuando la abertura supere los 0.3 cm (3 mm) de ancho (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006) (Figura 2.12). Las grietas se consideran como daños de mayor gravedad que las fisuras, ya que suelen tener una mayor profundidad y afectar estructuralmente el pavimento. Una fisura no atendida puede aumentar su severidad con el paso del tiempo y convertirse en una grieta.



**Figura 2.12 Ancho de una grieta (INVIAS, 2006)**

### 2.1.5.3.1 Fisura o Grieta Transversal

Rotura de la losa del pavimento rígido predominantemente perpendicular al eje de la vía (Figura 2.13).



**Figura 2.13 Esquema gráfico de fisura o grieta transversal**

#### **Posibles causas:**

- Asentamiento diferencial en la subrasante.
- Losas con excesiva longitud.
- Espesor insuficiente de la losa.
- Cargas excesivas.
- Problemas de drenaje.

#### **Severidad:**

- Baja: aberturas selladas o con abertura menor a 0.3 cm (3 mm).
- Media: aberturas entre 0.3 y 1 cm.
- Alta: aberturas mayores a 1 cm o donde se ha producido un hundimiento.

#### **Medición:**

Se debe medir la longitud de la fisura o grieta en metros, reportando el nivel de severidad.

### 2.1.5.3.2 Fisura o Grieta Longitudinal

Rotura de la losa del pavimento rígido predominantemente paralela al eje de la vía (Figura 2.14).

Junta longitudinal

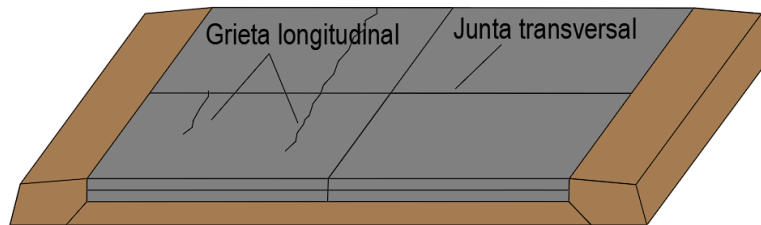


Figura 2.14 Esquema gráfico de fisura o grieta longitudinal

#### Posibles causas:

- Asentamiento diferencial en la subrasante.
- Losas con excesivo ancho.
- Espesor insuficiente de la losa.
- Cargas excesivas.
- Problemas de drenaje.

#### Severidad:

- Baja: aberturas selladas o con abertura menor a 0.3 cm (3 mm).
- Media: aberturas entre 0.3 y 1 cm.
- Alta: aberturas mayores a 1 cm o donde se ha producido un hundimiento.

#### Medición:

Se debe medir la longitud de la fisura o grieta en metros, reportando el nivel de severidad.

### 2.1.5.3.3 Fisura o Grieta de Esquina

Rotura de la losa de pavimento rígido en las esquinas de los paños, que interseca las juntas longitudinales con las transversales (Figura 2.15).

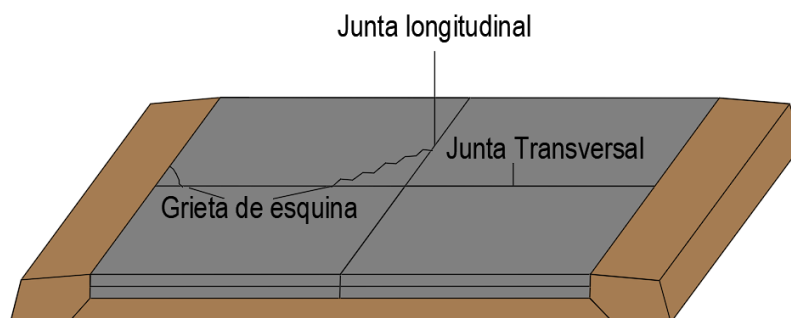


Figura 2.15 Esquema gráfico de fisura o grieta de esquina

#### Posibles causas:

- Pérdida de material de soporte debajo de la losa originado por la infiltración de agua. Puede estar acompañado de un hundimiento localizado.
- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre losas.

#### Severidad:

- Baja: aberturas selladas o con abertura menor a 0.3 cm (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- Media: aberturas entre 0.3 y 1 cm.
- Alta: aberturas mayores a 1 cm o donde se ha producido un hundimiento.

#### Medición:

Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de la abertura, reportando su severidad.

#### 2.1.5.4 Deficiencia en material de sello en juntas

Afectación en el material de sello de las juntas longitudinales o transversales. Si bien no son daños en la losa del pavimento, representan una condición que permite el ingreso de objetos extraños e infiltración de agua (Figura 2.16), propiciando la aparición de daños en la losa, tales como agrietamientos y hundimientos.

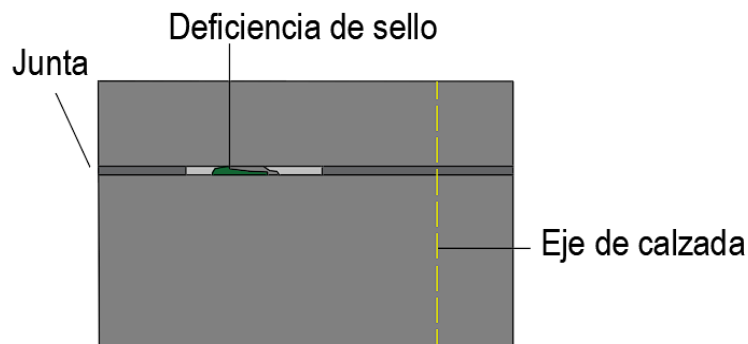


Figura 2.16 Esquema gráfico de deficiencia de sello

#### Posibles causas:

- Uso de material inadecuado para el sello.
- Errores en la aplicación del sello que perjudican su adherencia.
- Exceso de sello o procedimiento de aplicación deficiente.
- Crecimiento de vegetación en la junta.
- Falta de mantenimiento.

#### Severidad:

- Baja: longitud con deficiencia no supera el 5% de la longitud de la junta, no existe riesgo de ingreso de agua o material incompresible.
- Media: longitud con deficiencia entre el 5 y el 25% de la longitud de la junta.
- Alta: longitud con deficiencia mayor al 25% de la longitud de la junta.

#### Medición:

Se debe medir la longitud afectada de sello en metros, especificando el nivel de severidad. Se anotará la presencia de vegetación, material incompresible o ingreso de agua.

### 2.1.6 Evaluación del estado de pavimentos rígidos

La evaluación integral es indispensable para definir estrategias de intervención adecuadas con el fin de restituir la funcionalidad del pavimento rígido. Este proceso debe incluir:

- **Inspecciones visuales:** Identificación y clasificación de fallas superficiales mediante metodologías como el Pavement Condition Index (PCI) (L. Vásquez, 2002) y el Manual para la Inspección de Pavimentos Rígidos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006). Permite obtener una evaluación preliminar del estado del pavimento, clasificando los daños encentrados de acuerdo con su tipo y severidad.
- **Ensayos no destructivos:** Son ensayos en los que no se destruye el elemento o muestra evaluada. Suelen consistir en tintas penetrantes, técnicas radiográficas, tecnología de partículas magnéticas o ultrasonido.
- **Ensayos semi-destructivos y destructivos:** Son ensayos durante los cuales se destruye el elemento o muestra evaluada y se usan para determinar propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la torsión, cizalladura, flexión, desgaste o termofluencia. Un ensayo semi-destructivo es aquel en el que se destruye una muestra tomada del elemento de interés a evaluar, mas no la totalidad del elemento. En un ensayo destructivo, se rompe la totalidad del elemento de interés.
- **Herramientas tecnológicas:** Para el estudio del estado de los pavimentos, puede ser conveniente el uso de software modelado estructural, sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de monitoreo continuo (Batouli et al., 2017).

### 2.1.7 Técnicas de rehabilitación de pavimentos rígidos

Las estrategias para la rehabilitación de los pavimentos rígidos deben seleccionarse en función del tipo y severidad del deterioro. A grandes rasgos, podríamos clasificar las técnicas de rehabilitación de la losa de hormigón en los siguientes grupos:

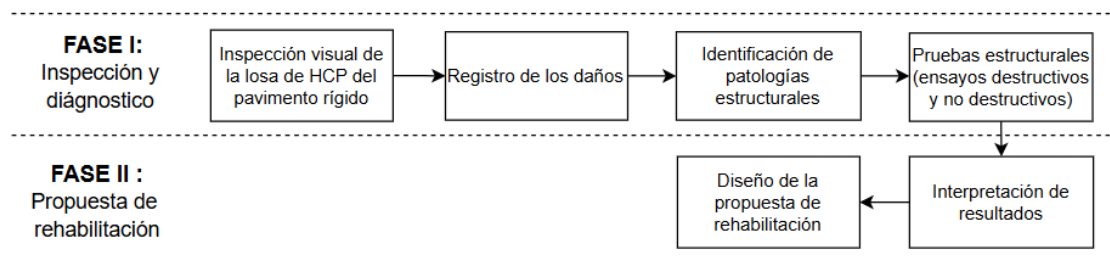
- **Mantenimiento superficial:** Conjunto de procedimientos de reparación o mantenimiento que se realizan en la superficie de la losa de hormigón.

Entre ellos se encuentra el sellado de fisuras y grietas, resellado de juntas y cepillado de superficie.

- **Rehabilitación profunda:** Intervención de la losa de hormigón, que puede ser a profundidad parcial o total. Esto podría implicar la demolición de uno o más paños de losa afectada y ejecución de una nueva fundición. Además, dependiendo de la profundidad a intervenir y el estado del material de soporte de la losa, podría requerirse la reconfiguración y compactación de las capas de base o sub-base del pavimento.
- **Gestión preventiva:** Programas planificados que prolonguen la vida útil y reduzcan costos futuros (De Solminihac et al., 2003). Estas intervenciones deben adaptarse a las condiciones locales de tránsito, clima y disponibilidad de recursos, buscando soluciones sostenibles que reduzcan el impacto ambiental y contribuyan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11).

## 2.2 Marco metodológico

La metodología se encuentra compuesta por 2 fases: Inspección y diagnóstico, y el desarrollo de la Propuestas de Rehabilitación. A continuación, se describe cada una de las fases (Figura 2.17).



**Figura 2.17 Esquema metodológico para la rehabilitación de la carretera.**

### Fase I: Inspección y Diagnóstico

Esta primera fase tiene como objetivo determinar las condiciones actuales de la losa de pavimento rígido en el tramo de estudio. La evaluación incluirá una inspección visual de la losa, y ensayos destructivos y no destructivos (ASOCCEM, 2014).

- a. **Inspección visual de la losa de HCP del pavimento rígido:** Se realiza un recorrido preliminar del tramo para identificar visualmente el estado general del pavimento, delimitando las zonas críticas de mayor afectación.
- b. **Registro de los daños:** Se documentan las fallas presentes en la losa mediante medición directa, clasificándolas según su tipo y severidad, utilizando metodologías reconocidas como el Pavement Condition Index (PCI) (L. Vásquez, 2002) y el Manual para la Inspección de Pavimentos Rígidos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006). Los daños deberán ser georreferenciados y se realizará un registro fotográfico de cada uno.
- c. **Identificación de patologías estructurales:** Se analizan las posibles causas de los daños observados, relacionándolos con factores como cargas vehiculares, condiciones climáticas, defectos en el proceso constructivo y falta de mantenimiento.
- d. **Pruebas estructurales (ensayos destructivos y no destructivos):**

Basados en la evaluación realizada se determina los ensayos a ejecutar, con el fin de obtener más información sobre el estado de la losa del pavimento para el desarrollo de la propuesta.

  - o **Ensayos no destructivos:** Se ejecuta el ensayo de Esclerometría según la norma ASTM C805, para hallar valores estimados de la resistencia a la compresión de la losa de hormigón. Además, se realiza el ensayo de Carbonatación.
  - o **Ensayos semi-destructivos y destructivos:** Se realiza el ensayo de Extracción y Rotura de Núcleos en la losa de hormigón para su análisis en laboratorio según la norma ASTM C42, determinando su resistencia a la compresión definitiva y verificando los valores obtenidos por el ensayo de Esclerometría.

## **Fase II – Propuesta de Rehabilitación**

Con base en los resultados de la Fase I, se procede a formular alternativas de intervención que permitan restituir la funcionalidad del pavimento.

- a. **Interpretación de resultados:** Primero, se analiza los resultados obtenidos de los ensayos realizados. Esta información es útil para el desarrollo de la propuesta de rehabilitación, ya que nos permite determinar las propiedades mecánicas de la losa de hormigón afectada.

**b. Diseño de la propuesta de rehabilitación:** Se propone diversas soluciones técnicas para cada tipo de daño encontrado en la losa, detallando su procedimiento. La propuesta de rehabilitación incluye un cronograma, presupuesto, especificaciones técnicas y planos del diseño.





### 2.3 Trabajo de campo

Para el presente proyecto se realizó actividades de campo con el fin de evaluar el estado actual de losa de pavimento rígido en el tramo de estudio. Primero se realizó una Inspección Visual de la losa en sitio. Posteriormente se analizó los datos levantados y se ejecutó los ensayos de Esclerometría, Extracción de Núcleo para su posterior rotura y Carbonatación (2.2.2). Los resultados obtenidos se presentarán en el Capítulo 3.

#### 2.3.1 Inspección visual de la losa de pavimento rígido

Para la inspección visual se ocupó los siguientes instrumentos (Figura 2.1):

**Tabla 2.1 Instrumentos utilizados**

Instrumento	Función principal	Fotografía
<b>Flexómetro</b>	Para medir dimensiones de fisuras, grietas y baches	
<b>Fisurómetro</b>	Para registrar detalles de anchos en juntas, fisuras y grietas	
<b>Cinta métrica (50 m)</b>	Para medición de longitudes mayores, como los tramos evaluados	
<b>Cámara y GPS</b>	Para el registro fotográfico y georreferenciado de las fallas detectadas. Se usó un dron para fotografías aéreas.	

Se recorrió peatonalmente la totalidad de la vía empezando en la abscisa 0+000 en los cuatro carriles (dos en cada sentido) y se registró los daños encontrados según su tipo y severidad. Para el levantamiento y clasificación de los daños, se ocupó como base técnica el Manual para la Inspección de Pavimentos Rígidos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006) y el Pavement Condition Index

(PCI) (L. Vásquez, 2002). El formato utilizado (Anexo 1) tiene 100 filas para registro de daños por cada hoja, donde se detalla la coordenada, abscisa, losas afectada y dimensiones del daño, que fueron obtenidas por medición directa. Además, se tomó registro fotográfico de cada daño y se dejó un apartado para posibles observaciones adicionales, tales como presencia de crecimiento de vegetación, posible origen del daño, entre otros.

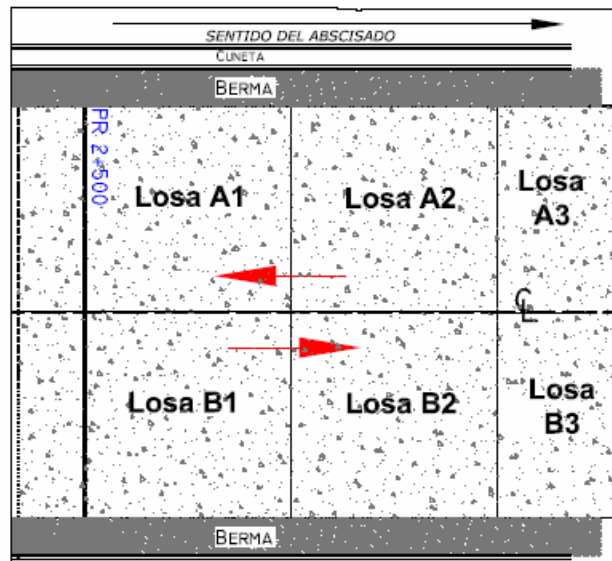
Para los daños de tipo Deterioro Superficial, se registró las dimensiones de longitud (paralelo al eje de la vía), ancho (perpendicular al eje de la vía) y profundidad, excepto para los daños de desgaste por erosión, en los que la profundidad no excede 1.5 cm. Para los daños de levantamiento y hundimiento localizado de losas, se midió el largo, ancho y desnivel vertical de la losa afectada (profundidad). Para las Deficiencias en Material de Sello y Fisuras y Grietas, que son lineales, se midió la longitud del deterioro. En particular, para las fisuras y grietas, se tomó registro de su espesor. Las dimensiones de las losas se registraron únicamente cuando se evidenció un cambio significativo en sus medidas (Figura 2.18).



**Figura 2.18 Levantamiento de daños en la losa de hormigón.**

Para el levantamiento de daños de deficiencia en materia de sello, si la junta es transversal, se tomó como losa afectada la losa posterior a la junta en el sentido de la vía. En caso de que la junta sea longitudinal, se tomó la losa del lado derecho en el sentido de la vía.

Para la numeración de las losas, se siguió una denominación alfanumérica, donde cada carril tiene asignado una letra y cada fila de losas tiene asignado un número (Figura 2.19).



**Figura 2.19 Numeración de losas (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006).**

También se realizó mediciones del espesor de la losa en las abscisas 0+302 y 0+870, donde la abertura existente por daños lo permitió (Figura 2.20).



**Figura 2.20 Medición directa de espesor de losa (abscisa 0+302)**

### **2.3.2 Ensayo de Esclerometría**

Con el objetivo de obtener un valor aproximado de la resistencia a la compresión de la losa de concreto del pavimento, se realizó el ensayo de Esclerometría cada 150 metros a lo largo de la vía, iniciando en la abscisa 0+000 (11 puntos en total,

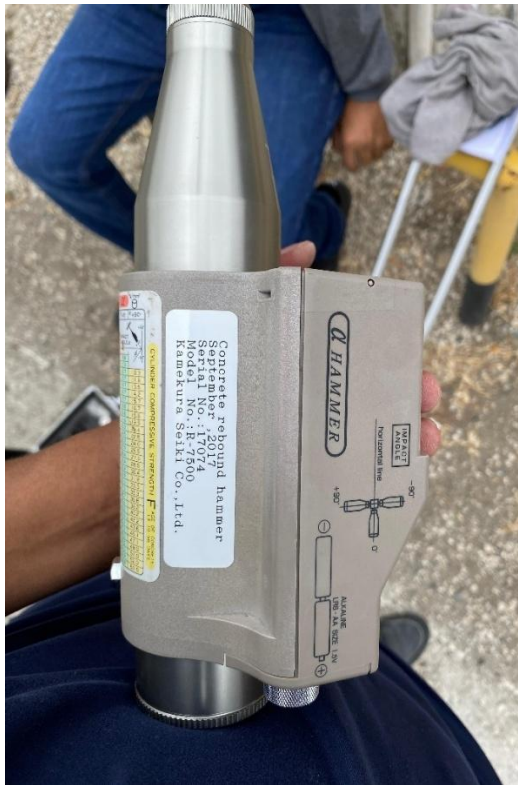
Tabla 2.9). Este ensayo no destructivo se ejecutó en conformidad con la norma ASTM C805 por un técnico calificado.

**Materiales:**

- Esclerómetro calibrado (Kamekura Seiki, modelo R-7500) (Figura 2.20)
- Piedra abrasiva
- Tiza

**Procedimiento:**

- Se preparó la superficie utilizando una piedra abrasiva para eliminar rugosidades y eliminar la capa carbonatada del concreto.
- Se procedió a tomar las lecturas sosteniendo el esclerómetro de manera perpendicular a la superficie (Figura 2.21).
- Se registró el número de rebote indicado por el esclerómetro.
- Se tomó 12 lecturas en cada área de ensayo con una distancia mínima de 2.5 cm entre sí. Si las lecturas diferían en 6 unidades, se descartaban. En caso de existir dos lecturas que difieran en 6 unidades en promedio, se descartaría el conjunto de lecturas.
- Se analizó la superficie del concreto posterior al ensayo, en caso de que existieran agrietamientos o fisuras, se descartaría el conjunto de lecturas.



**Figura 2.21** Equipo utilizado para ensayo de Esclerometría



**Figura 2.22** Toma de lecturas con esclerómetro

### **2.3.3 Ensayo de Extracción y Rotura de Núcleos de Hormigón**

Los valores de resistencia obtenidos por medio del Ensayo de Esclerometría son aproximaciones y no son confiables debido a su susceptibilidad a factores externos, tales como la porosidad de la superficie, la humedad y el rango de resistencia real del elemento (Sánchez & Tarranza, 2014). Por lo tanto, con el fin de corroborar estos resultados se realizó 2 extracciones de núcleo en la losa de hormigón evaluada, en las abscisas 0+724 y 1+460, y una extracción en la losa de pavimento del interior de ESPOL a 69 m del inicio de la vía, todas con un diámetro de 100mm (Tabla 2.10). Este ensayo semi-destructivo se ejecutó de conformidad con la norma ASTM C42 por un técnico calificado. Para la ejecución de este ensayo semidestructivo, se contó con la autorización formal de la Dirección de Servicios Generales de ESPOL.

#### **Materiales:**

- Equipos de protección personal: Casco de seguridad, gafas de seguridad, guantes y mascarilla con filtro para partículas.
- Extractor de núcleos de hormigón (Milwaukee Dymodrill 2" to 10", spindle thread) (Figura 2.22).
- Broca cilíndrica con corona de diamante (Husqvarna Vari-Drill D65 57x500 1 1/4").
- Martillo de goma
- Suministro de agua
- Suministro de energía (generador portátil)
- Sistema de anclaje: taco de expansión, perno y llave de la misma medida
- Taladro manual

#### **Procedimiento:**

- Se marcó el área de la losa donde se realizaría la extracción. Para esto se tomó un punto que estuviera a aproximadamente 50 cm del borde de la losa, que no esté afectado por grietas, fisuras u otro daño aparente.
- Se marcó el punto de fijación del equipo, con respecto al punto de extracción del núcleo.

- Se perforó con un taladro manual el punto de fijación marcado. Se introdujo el taco de expansión y se ancló el equipo de extracción de núcleos con un perno.
- Se conectó al equipo de extracción de núcleos el suministro de agua y energía.
- Se prendió el equipo extractor de núcleo y se procedió a iniciar la perforación con velocidad constante.
- Una vez alcanzada la profundidad deseada, se extrajo la broca del elemento y se apagó el motor del extractor.
- Con la ayuda de un martillo de goma, se golpeó cuidadosamente la broca para retirar el núcleo (Figura 2.23).
- Se cubrió el agujero con mortero expansivo de alta resistencia (35 MPa en 7 días), para contrarrestar la contracción por secado.



**Figura 2.23** Equipo utilizado para extracción de núcleos de hormigón



**Figura 2.24 Núcleo de hormigón extraído (abscisa 1+460)**

### **2.3.4 Ensayo de Carbonatación**

Para determinar la afectación del dióxido de carbono al concreto, se evaluó el pH de las 3 muestras extraídas por medio del Ensayo de Carbonatación.

#### **Materiales:**

- Solución de Fenolftaleína al 1% con en hidro-alcohol (70% de alcohol y 30% de agua) (Figura 2.24)
- Jeringuilla o Rociador
- Regla

#### **Procedimiento:**

- Se aplicó la solución de Fenolftaleína en la superficie del cilindro extraído, asegurando que el cilindro estuviera seco previamente.
- Se midió la profundidad del cilindro afectada por la carbonatación (área no tintada de magenta) con una precisión de 1 mm (Figura 2.25).
- Este proceso se realizó para cada uno de los tres cilindros extraídos.



**Figura 2.25 Fenolftaleína usada para ensayo de Carbonatación**



**Figura 2.26 Núcleo de hormigón ensayado para Carbonatación (interior de ESPOL, a 70 m del inicio de la vía)**

### 2.3.5 Ensayo de Ultrasonido

El ensayo de Medición de Velocidad de Onda, también llamada Ensayo de Ultrasonido en hormigón se utilizó para determinar la profundidad de fisuras y grietas existentes en el concreto. Para el ensayo se escogió fisuras y grietas con características comunes a lo largo de la vía en las abscisas 0+254, 1+163, 1+229, 1+335, 1+452. Este ensayo se ejecutó de conformidad con la norma ASTM C597 por un técnico calificado.

#### **Materiales:**

- Generador de pulso (marca Toyoko Elmes) (Figura 2.26)
- Transductores (Figura 2.27)
- Cables BNC de 1.5 m
- Gel de acoplamiento (Figura 2.28)
- Cilindro de calibración
- Piedra abrasiva
- Cepillo de acero
- Fuente de energía portátil (UPS)

#### **Procedimiento:**

- Primero, armó el equipo conectando los transductores al generador de pulso con los cables NBC, y el generador de pulso a una fuente de energía portátil (UPS).
- Se preparó la superficie del área donde se realizaría el ensayo. Para esto, se pulió con una piedra abrasiva cualquier irregularidad existente y luego se lijó con el cepillo de cerdas de acero hasta tener una superficie lisa.
- Se aplicó el gel de acoplamiento en los transductores.
- Se posicionó los transductores a una distancia de 3 cm (X) a cada lado de la grieta o fisura con orientación perpendicular a la misma y se registró el tiempo de llegada de la onda ( $t_1$ ).
- Se posicionó los transductores al doble de la distancia inicial (2X) de la fisura o grieta y se registró el tiempo de llegada de la onda ( $t_2$ ) (Figura 2.29).
- El equipo generador de pulso la función de cálculo automática de profundidad de fisura o grieta, aplicando el proceso explicado en la sección 2.2.2.4. Se registró la profundidad de la fisura o grieta evaluada.



Figura 2.27 Generador de pulso marca Toyoko Elmes



Figura 2.28 Transductores



Figura 2.29 Gel de acoplamiento



Figura 2.30 Ensayo de Ultrasonido en fisura transversal (Abscisa 1+163)

## 2.4 Trabajo de laboratorio o gabinete

En este apartado presentaremos el tratamiento que se realizó a los datos obtenidos por medio del trabajo realizado en campo (2.2.1).

Para el procesamiento de los datos recolectados en el campo se apoyó en herramientas digitales con licencia estudiantil facilitada por ESPOL, lo que facilitó la integración de información, y análisis de costos del proyecto (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2 Software utilizado en este estudio**

Software	Función	Licencia del producto
Excel	Procesamiento, análisis y agrupación de datos recolectados en campo y laboratorio, elaboración de tablas comparativas, y cálculo de indicadores de condición del pavimento.	5CEAE035-A080-40AD-ADC3-59C1B8F36F7B
AutoCAD/Civil 3D	Generación de planos técnicos detallados de la vía, localización de fallas y elaboración de detalles constructivos para la propuesta de rehabilitación.	63389103073239 (ID de Suscripción)

### 2.4.1 Tratamiento de datos de inspección visual del pavimento

Para el análisis de la información levantada de los daños presentes en la losa, primero dividió la totalidad de la carretera en 10 tramos de estudio (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3 Tramos de estudio de la vía.**

No. Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final
1	0+000	0+150
2	0+150	0+300
3	0+300	0+450
4	0+450	0+600
5	0+600	0+750
6	0+750	0+900
7	0+900	1+050
8	1+050	1+200
9	1+200	1+350
10	1+350	1+553

Luego, los daños levantados (Anexo 1) se agruparon según el tipo de daño (Tablas 2.11 a 2.22). Para los daños de la familia de Deterioro Superficial, se calculó el área afectada de cada daño (Ecuación 2.1) y su suma total.

$$\text{Área del daño} = \text{Longitud} \times \text{Ancho} \quad (2.1)$$

En el caso de los daños de las familias Fisuras y Grietas y Daños en Juntas, se sumó la longitud de todos los daños.

Con el fin de identificar los segmentos de la vía más afectados, para cada tramo se registró el número total de losas existentes y el número de losas afectadas. La suma del número total de losas de todos los tramos es el número total de losas en la carretera (Ecuación 2.2). Luego, se calculó el porcentaje de afectación en cada tramo con respecto al total de losas presentes en ese tramo (Ecuación 2.3), y con respecto al total de losas de la carretera (Ecuación 2.4).

Es decir, para cada tramo se calculó:

Donde  $i$  es el número del tramo correspondiente:

$$\text{No. de losas totales} = \sum_1^{10} \text{No. losas del tramo}_i \quad (2.2)$$

$$\% \text{afectación con respecto a losas del tramo} = \frac{\text{No. Losas Afectadas}}{\text{No. Losas del tramo}} \quad (2.3)$$

$$\% \text{afectación con respecto a losas totales} = \frac{\text{No. de losas afectadas}}{\text{No. de losas totales}} \quad (2.4)$$

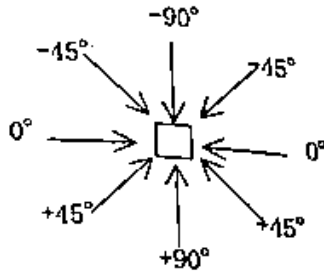
Esta estadística se realizó de manera individual con cada familia de daños (Tablas 3.2 a 3.5), y de manera global considerando todos los daños encontrados (Tabla 3.6).

#### **2.4.2 Ensayo de Esclerometría**

Una vez registradas las doce lecturas representativas (2.2.1.2) para cada uno de los once puntos estudiados, se calculó el número de rebote promedio (R) para cada punto (Anexo 3).

Luego se siguió el procedimiento propuesto por el manual fabricante del esclerómetro (Kamekura Seiki Concrete Test Hammer R-7500) para la estimación de la resistencia a la compresión del hormigón.

Primero, se escogió la orientación durante la lectura del Esclerómetro, en este caso, de  $-90^\circ$  (Figura 2.30).



**Figura 2.31 Ángulo de lectura del esclerómetro**

Después, se determinó un factor de corrección por dirección de impacto ( $\Delta R$ ) (Tabla 2.4):

**Tabla 2.4 Factor de corrección por dirección de impacto ( $\Delta R$ )**

R	$\Delta R$			
	+90	+45	-45	-90
20	-6	-4	+2	+3
30	-5	-3	+2	+3
40	-4	-3	+2	+2
50	-3	-2	+1	+2
60	-2	-2	+1	+2

Para nuestro caso, la toma de lecturas fue realizada verticalmente con el esclerómetro apuntando hacia abajo. Por lo tanto, se tomó la orientación de  $-90^\circ$ , para nuestros datos  $\Delta R$  será +3.

Consideramos un factor de corrección por humedad ( $\Delta R_w$ ) (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5 Factor de corrección por humedad ( $\Delta R_w$ )**

Humedad aparente	$\Delta R_w$
La superficie se encuentra seca	+0
La superficie se encuentra húmeda	+3
La superficie se encuentra mojada	+5

En este caso, se tomó  $\Delta R_w = 0$ . Luego se calculó el R corregido (Ecuación 2.5):

$$R \text{ corregido} = R + \Delta R + \Delta R_w \quad (2.5)$$

Se consideró un factor de edad del hormigón ( $\alpha_n$ ) (Tabla 2.6):

**Tabla 2.6 Factor de edad ( $\alpha_n$ )**

Edad n (días)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
$\alpha_n$	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

La losa evaluada fue fundida hace más de 3000 días, tomamos  $\alpha_n = 0.63$ . Y se realizó la conversión de unidades:  $f'c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = f'c \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 10.1972$ .

Finalmente, para cada punto de análisis se ocupó la siguiente fórmula para hallar la resistencia a la compresión estimada (Ecuación 2.6):

$$f'_c \text{ (N/mm}^2\text{)} = 0.098 (-184 + 13 R \text{ Corregido}) \times \alpha_n \text{ (2.6)}$$

Estos datos luego fueron promediados, obteniendo un valor promedio para la resistencia del concreto.

### 2.4.3 Ensayo de Extracción y Rotura de Núcleos de Hormigón

En laboratorio, tras haberse realizado el proceso de secado de las muestras durante 4 días, se procedió con la rotura de los cilindros en la prensa, con el fin de valores más certeros de la resistencia a la compresión del hormigón de la losa del pavimento.

Tras la rotura, se tomó registro de la medida de resistencia de la prensa (Figura 2.31).

Finalmente, se aplicó factores de corrección de acuerdo con la relación entre la longitud y el diámetro del cilindro ensayado, según lo indicado por la norma ASTM C42 (Tabla 2.7). El reporte detallado de los resultados de este ensayo se encuentra adjunto como Anexo 4.

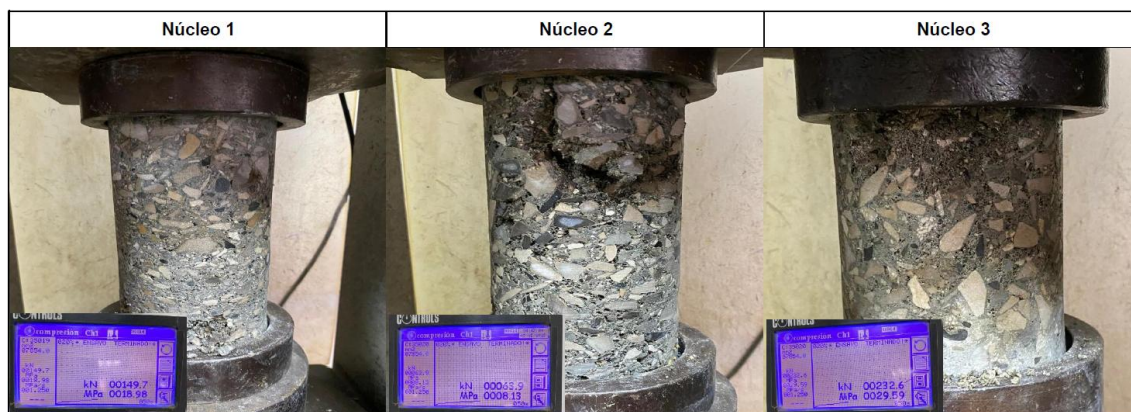


Figura 2.32 Lecturas de prensa para rotura de núcleos de hormigón

Tabla 2.7 Factor de corrección de resistencia (ASTM, 2009)

Relación Longitud / Diámetro (L/D)	Factor de corrección de resistencia
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

#### 2.4.4 Ensayo de Ultrasonido

Si bien en el caso del ensayo de ultrasonido el valor de la profundidad de la fisura o grieta medida fue calculado de manera automática por el equipo generador de pulso, el cálculo se realiza como de la siguiente manera (Ecuación 2.7):

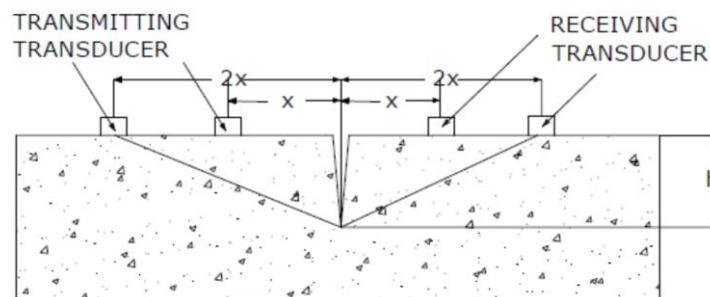
Sea:

X: Distancia inicial entre la fisura o grieta y cada transductor.

t<sub>1</sub>: Tiempo de llegada de onda con los transductores ubicados a una distancia X de la fisura o grieta.

t<sub>2</sub>: Tiempo de llegada de onda con los transductores ubicados a una distancia 2X de la fisura o grieta.

h: Profundidad de la fisura o grieta (Figura 2.32).



**Figura 2.33 Medición de profundidad de fisura o grieta por ultrasonido (Raja et. al, 2023)**

$$h = X * \left( \frac{4t_1^2 - t_2^2}{4t_2^2 - t_1^2} \right)^{0.5} \quad (2.7)$$

El reporte detallado de los resultados de este ensayo se encuentra adjunto como Anexo 5.

#### 2.5 Tabulación de datos

En esta sección se presenta los datos tabulados de lo realizado en Trabajo de Campo (sección 2.3) y Trabajo de Laboratorio y Gabinete (sección 2.4)

##### 2.5.1 Ensayo de Esclerometría

La información recolectada durante el trabajo de campo y de laboratorio se organizó en tablas para su posterior análisis (sección 3.1). De los ensayos realizados se obtuvo los valores R (número de rebote) promedio (Tabla 2.8):

**Tabla 2.8 R promedio de Ensayo de Esclerometría**

No.	Abscisa	R promedio
1	0+042	47.08
2	0+180	35.00
3	0+335	34.83
4	0+493	36.42
5	0+645	35.92
6	0+793	35.17
7	0+936	34.75
8	1+089	36.17
9	1+248	30.25
10	1+404	26.92
11	1+546	22.83

Los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón estimada en cada punto de estudio (2.2.2.2) se presentan en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9 Resistencia a la compresión estimada por Esclerometría**

No.	Abscisa	R promedio	$\Delta R$	$\Delta R_w$	R corregido	f'c (MPa)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	0+042	47.08	3	0	49.08	28.03	285.85
2	0+180	35.00	3	0	38.00	19.14	195.10
3	0+335	34.83	3	0	37.83	19.51	199.01
4	0+493	36.42	3	0	39.42	20.28	206.85
5	0+645	35.92	3	0	38.92	19.88	202.56
6	0+793	35.17	3	0	38.17	19.28	196.60
7	0+936	34.75	3	0	37.75	18.94	193.13
8	1+089	36.17	3	0	39.17	20.08	204.78
9	1+248	30.25	3	0	33.25	15.33	156.86
10	1+404	26.92	3	0	29.92	12.65	128.50
11	1+546	22.83	3	0	25.83	9.37	95.50
<b>f'c promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>							187.70

### 2.5.2 Ensayo de Rotura de Núcleos de Hormigón

Por otro lado, tras el ensayo de rotura de núcleos de hormigón (2.2.2.3) se obtuvo los siguientes resultados de resistencia a la compresión (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10 Resultados de ensayo de rotura de núcleos de hormigón**

No.	Abscisa	Longitud extraída (mm)	Longitud ensayada (mm)	Diámetro (mm)	Factor de corrección	Carga de rotura (kN)	Carga de rotura corregida (kN)	Resistencia a la compresión	
								(Mpa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
1	0+724	260.	200	100	1.00	149.70	149.70	19.07	194.4
2	1+460	230	200	100	1.00	63.90	63.90	8.14	83.0
3	Losa interior ESPOL	135	130	100	0.94	232.60	218.12	27.79	283.2

### 2.5.3 Ensayo de Carbonatación

En el ensayo de Carbonatación se obtuvo las siguientes profundidades de penetración (Tabla 2.11)

**Tabla 2.11 Resultados de ensayo de carbonatación**

No.	Abscisa	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Carbonatación (Penetración)
				(mm)
1	0+724	200.0	100.00	3
2	1+460	200.0	100.00	3
3	Losa interior ESPOL	130.0	100.00	3

### 2.5.4 Ensayo de Ultrasonido

Luego, del ensayo de ultrasonido en hormigón (sección 2.2.1.5) se obtuvo los siguientes resultados de profundidad de fisuras y grietas (Tabla 2.12):

**Tabla 2.12 Resultados de profundidad de fisuras y grietas, Ensayo de Ultrasonido**

No. Punto	Abscisa	Tipo de Daño	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
1	0+254	Fisura Transversal	340	0.2	6.15
2	1+164	Fisura Transversal	340	0.2	1.80
3	1+229	Grieta de Esquina	172	0.4	4.15
4	1+335	Fisura Longitudinal	440	0.2	8.60
5	1+453	Fisura Transversal	340	0.2	4.06
<b>Promedio</b>					4.95

### 2.5.5 Levantamiento visual de daños

A continuación, se presentan los datos tabulados del levantamiento visual de la losa de pavimento HCP para cada tipo de daño con su severidad.

Los datos levantados de baches según su severidad se muestran en la Tabla 2.13 junto con sus dimensiones y área de afectación.

**Tabla 2.13 Agrupación de daños, Baches.**

TRAMO	ABSCISA	DIMENSIONES DEL BACHE			SEVERIDAD	ÁREA (m2)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PROFUNDIDAD (cm)		
0+000 - 0+150	0+006	31	20	3	Media	0.06
	0+053	75	39	4	Media	0.29
	0+056	53	21	3	Media	0.11
	0+057	61	38	5	Alta	0.23
	0+057	80	150	5	Alta	1.20
	0+058	58	43	5	Alta	0.25
	0+061	39	52	3	Media	0.20
	0+066	99	76	2	Baja	0.75
	0+066	121	45	2	Baja	0.54
	0+066	119	39	2	Baja	0.46
	0+070	77	119	5	Alta	0.92
	0+070	39	34	3	Media	0.13
	0+090	57	49	3	Media	0.28
	0+091	48	39	3	Media	0.19
	0+096	90	76	3	Media	0.68
0+150 - 0+300	0+109	46	34	5	Alta	0.16
	0+153	29	17	3	Media	0.05
	0+158	29	21	2	Baja	0.06
	0+179	62	49	3	Media	0.30
	0+179	85	30	3	Media	0.26
	0+179	16	39	2	Baja	0.06
	0+181	66	77	6	Alta	0.51
0+300 - 0+450	0+275	89	87	4	Media	0.77
	0+322	28	28	2	Baja	0.08
	0+325	69	49	3	Media	0.34
	0+329	37	15	3	Media	0.06
	0+329	18	48	4	Media	0.09
	0+343	147	87	5	Alta	1.28
	0+348	68	48	5	Alta	0.33
	0+351	38	39	3	Media	0.15
	0+352	118	18	4	Media	0.21
	0+368	98	43	3	Media	0.42
	0+369	48	38	3	Media	0.18
	0+377	49	39	3	Media	0.19
	0+384	19	18	3	Media	0.03
	0+395	28	47	3	Media	0.13
	0+414	119	18	3	Media	0.21
0+450 - 0+600	0+423	77	37	3	Media	0.28
	0+435	127	68	5	Alta	0.86
	0+470	79	79	3	Media	0.62
	0+480	44	22	4	Media	0.10
	0+541	48	49	2	Baja	0.24
	0+553	37	37	4	Media	0.14
	0+553	37	27	4	Media	0.10
	0+553	37	39	5	Alta	0.14
	0+553	52	29	6	Alta	0.15
	0+558	49	19	2	Baja	0.09
	0+558	69	39	3	Media	0.27
	0+559	47	38	2	Baja	0.18
	0+564	89	29	2	Baja	0.26
	0+564	47	38	5	Alta	0.18
	0+564	48	39	2	Baja	0.19
0+592	49	88	2	Baja	0.43	

<b>0+600 - 0+750</b>	0+639	58	57	4	Media	0.33
	0+663	58	22	2	Baja	0.13
	0+689	77	18	4	Media	0.14
	0+689	49	29	2	Baja	0.14
	0+693	128	59	3	Media	0.76
	0+703	58	28	2	Baja	0.16
	0+705	32	17	2	Baja	0.05
	0+729	89	38	3	Media	0.34
<b>0+750 - 0+900</b>	0+844	108	52	3	Media	0.56
	0+858	89	39	4	Media	0.35
	0+862	57	28	5	Alta	0.16
	0+862	22	29	4	Media	0.06
	0+865	58	59	3	Media	0.34
	0+895	59	27	3	Media	0.16
	0+898	49	28	7	Alta	0.14
<b>0+900 - 1+050</b>	0+914	58	17	5	Alta	0.10
	0+915	67	37	5	Alta	0.25
	0+917	119	149	6	Alta	1.77
	0+924	37	15	2	Baja	0.06
	0+941	49	38	3	Media	0.19
	0+942	49	38	3	Media	0.19
	0+950	58	17	2	Baja	0.10
<b>0+900 - 1+050</b>	0+990	47	39	5	Alta	0.18
	0+994	37	48	3	Media	0.18
	1+011	37	38	3	Media	0.14
<b>1+050 - 1+200</b>	1+091	48	67	3	Media	0.32
	1+100	48	58	3	Media	0.28
	1+109	29	8	3	Media	0.02
	1+129	49	39	2	Baja	0.19
	1+134	38	47	2	Baja	0.18
	1+144	58	29	3	Media	0.17
	1+147	69	39	5	Alta	0.27
	1+152	59	68	5	Alta	0.40
	1+156	17	14	4	Media	0.02
	1+170	39	38	2	Baja	0.15
	1+171	59	67	10	Alta	0.40
	1+171	109	87	3	Media	0.95
	1+182	27	27	2	Baja	0.07
	1+183	79	38	3	Media	0.30
	1+197	39	28	3	Media	0.11
<b>1+200 - 1+350</b>	1+210	59	37	5	Alta	0.22
	1+219	37	29	10	Alta	0.11
	1+223	17	47	3	Media	0.08
	1+271	49	48	3	Media	0.24
	1+277	69	47	5	Alta	0.32
	1+278	48	38	5	Alta	0.18
	1+294	79	47	10	Alta	0.37
	1+294	99	49	6	Alta	0.49
	1+318	58	17	2	Baja	0.10
	1+320	59	18	2	Baja	0.11
	1+321	44	28	2	Baja	0.12
	1+323	27	9	3	Media	0.02
	1+324	29	27	4	Media	0.08
	1+327	39	22	5	Alta	0.09
	1+340	29	38	4	Media	0.11
	1+344	49	33	3	Media	0.16
	1+346	39	23	2	Baja	0.09
<b>1+350 - 1+488</b>	1+354	74	59	5	Alta	0.44

1+373	37	39	4	Media	0.14
1+374	68	27	3	Media	0.18
1+381	69	48	4	Media	0.33
1+385	48	38	3	Media	0.18
1+386	48	28	3	Media	0.13
1+389	22	18	3	Media	0.04
1+391	39	38	4	Media	0.15
1+391	49	22	2	Baja	0.11
1+392	27	19	3	Media	0.05
1+393	29	5	3	Media	0.01
1+393	38	39	5	Alta	0.15
1+394	39	28	3	Media	0.11
1+413	19	4	3	Media	0.01
1+416	119	98	2	Baja	1.17
1+420	59	38	3	Media	0.22
1+422	27	19	2	Baja	0.05
1+425	16	21	2	Baja	0.03
1+438	38	47	4	Media	0.18
1+449	29	33	4	Media	0.10
1+477	44	69	3	Media	0.30
1+481	39	59	3	Media	0.23
<b>SUMA</b>					<b>34.41</b>

En la Tabla 2.14 se muestran los daños de desgaste por erosión del tráfico con su severidad, dimensiones y área de afectación.

**Tabla 2.14 Agrupación de daños, Desgaste por erosión.**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DEL DESGASTE POR EROSIÓN		SEVERIDAD	ÁREA (m2)
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)		
<b>0+000 - 0+150</b>	0+042	211	118	Alta	2.49
	0+046	370	95	Alta	3.52
	0+050	232	73	Alta	1.69
	0+065	421	252	Alta	10.61
	0+068	414	230	Alta	9.52
	0+143	149	87	Media	1.30
	0+145	148	110	Alta	1.63
<b>0+150 - 0+300</b>	0+153	152	110	Alta	1.67
<b>0+300 - 0+450</b>	0+367	100	340	Alta	3.40
	0+367	100	340	Alta	3.40
	0+372	91	340	Alta	3.09
	0+372	93	340	Alta	3.16
	0+389	116	340	Alta	3.94
	0+389	122	340	Alta	4.15
	0+398	102	340	Alta	3.47
	0+398	117	340	Alta	3.98
	0+402	122	340	Alta	4.15
	0+402	102	340	Alta	3.47
<b>0+450 - 0+600</b>	0+469	440	340	Alta	14.96
<b>0+600 - 0+750</b>	0+654	214	49	Media	1.05
	0+658	213	53	Media	1.13
	0+664	143	83	Media	1.19
	0+665	29	73	Media	0.21

	0+689	117	87	Media	1.02
	0+690	128	101	Media	1.29
	0+701	237	111	Alta	2.63
	0+701	213	108	Alta	2.30
<b>0+750 - 0+900</b>	0+821	157	78	Media	1.22
	0+821	172	3	Media	0.05
	0+870	213	33	Media	0.70
<b>0+900 - 1+050</b>	0+919	217	156	Alta	3.39
<b>1+050 - 1+200</b>	1+155	17	21	Media	0.04
	1+187	21	11	Media	0.02
<b>1+200 - 1+350</b>	1+204	217	201	Alta	4.36
	1+253	40	29	Media	0.12
	1+280	440	98	Alta	4.31
	1+281	47	47	Media	0.22
	1+281	37	57	Media	0.21
	1+284	440	85	Alta	3.74
	1+289	440	82	Alta	3.61
	1+293	440	80	Alta	3.52
	1+302	37	39	Media	0.14
	1+303	89	39	Media	0.35
	1+314	39	39	Media	0.15
	1+315	49	48	Media	0.24
	1+317	84	49	Media	0.41
	1+320	24	17	Media	0.04
	1+337	282	28	Media	0.79
	1+341	40	48	Media	0.19
	1+342	119	59	Media	0.70
1+345	147	87	Media	1.28	
<b>1+350 - 1+488</b>	1+351	48	38	Media	0.18
	1+354	128	91	Media	1.16
	1+376	169	52	Media	0.88
	1+380	202	61	Media	1.23
	1+384	128	78	Media	1.00
	1+386	232	88	Alta	2.04
	1+386	231	88	Alta	2.03
	1+388	253	122	Alta	3.09
	1+389	38	27	Media	0.10
	1+390	97	43	Media	0.42
	1+394	282	34	Media	0.96
	1+424	82	169	Media	1.39
	1+426	48	28	Media	0.13
	1+456	98	83	Media	0.81
1+479	128	257	Alta	3.29	
<b>SUMA</b>					<b>142.94</b>

En la Tabla 2.15 se muestran los despostillamientos encontrados en bordes de losa con su severidad, dimensiones y área de afectación.

**Tabla 2.15 Agrupación de daños, Despostillamiento.**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DEL DESPOSTILLAMIENTO			SEVERIDAD	ÁREA (m <sup>2</sup> )
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PROFUNDIDAD (cm)		
0+300 - 0+450	0+323	21	9	1	Media	0.02
0+600 - 0+750	0+618	20	3	2	Baja	0.01
0+750 - 0+900	0+842	21	10	3	Alta	0.02
	0+868	24	8	2	Baja	0.02
	0+868	34	7	2	Baja	0.02
1+050 - 1+200	1+082	21	4	4	Alta	0.01
1+350 - 1+488	1+405	15	4	2	Baja	0.01
	1+453	17	2	2	Baja	0.00
	1+465	32	3	2	Baja	0.01
	1+469	17	3	5	Alta	0.01
	1+474	15	5	2	Baja	0.01
	1+479	17	2	3	Alta	0.00
	1+480	15	6	3	Alta	0.01
	1+483	14	7	3	Alta	0.01
<b>SUMA</b>						0.15

En la Tabla 2.16 se muestran las juntas longitudinales que presentaron deterioro en su material de sello con su severidad.

**Tabla 2.16 Agrupación de daños, Deficiencia de material de sello en junta longitudinal.**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE LA DEFICIENCIA EN SELLO LONGITUDINAL	SEVERIDAD
		LARGO (cm)	
0+150 - 0+300	0+257	440	Alta
	0+261	440	Alta
	0+266	440	Alta
	0+274	440	Alta
	0+279	440	Alta
	0+288	440	Alta
	0+292	440	Alta
	0+296	440	Alta
0+600 - 0+750	0+613	440	Alta
0+750 - 0+900	0+871	440	Alta
	0+875	440	Alta
	0+879	440	Alta
	0+884	440	Alta
	0+888	440	Alta
	0+893	440	Alta
	0+895	440	Alta
	0+897	440	Alta
0+900 - 1+050	0+901	440	Alta
	0+904	440	Alta
	0+908	440	Alta

	0+913	440	Alta
	0+913	440	Alta
	0+917	440	Alta
	0+926	440	Alta
	0+979	440	Alta
	1+014	440	Alta
<b>1+050 - 1+200</b>	1+142	440	Alta
	1+146	440	Alta
<b>1+200 - 1+350</b>	1+203	370	Alta
	1+327	130	Alta
<b>1+350 - 1+488</b>	1+353	250	Alta
	1+366	440	Alta
	1+370	440	Alta
	1+375	440	Alta
	1+379	440	Alta
	1+384	440	Alta
	1+388	440	Alta
	1+392	440	Alta
	1+397	440	Alta
	1+410	440	Alta
	1+414	440	Alta
	1+414	440	Alta
	1+419	440	Alta
	1+423	440	Alta
	1+427	440	Alta
	1+432	440	Alta
	1+445	440	Alta
	1+450	440	Alta
	1+454	440	Alta
	1+458	440	Alta
1+464	440	Alta	
1+467	440	Alta	
1+475	440	Alta	
1+478	440	Alta	
<b>SUMA (m)</b>		231.9	

En la Tabla 2.17 se muestran las juntas transversales que presentaron deterioro en su material de sello con su severidad. En la Tabla 2.18 se muestran las fisuras encontradas con orientación transversal en la losa, su longitud, ancho y severidad.

**Tabla 2.17 Agrupación de daños, Deficiencia de material de sello en junta transversal.**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE LA DEFICIENCIA EN SELLO TRANSVERSAL	SEVERIDAD
		LARGO (cm)	
<b>0+000 - 0+150</b>	0+154	340	Alta
	0+158	340	Alta
<b>0+150 - 0+300</b>	0+321	340	Alta

	0+321	340	Alta
<b>0+450 - 0+600</b>	0+568	340	Alta
	0+568	340	Alta
	0+651	340	Alta
	0+678	340	Alta
<b>0+600 - 0+750</b>	0+682	340	Alta
	0+806	340	Alta
	0+814	340	Alta
	0+836	340	Alta
<b>0+750 - 0+900</b>	0+836	340	Alta
	0+840	340	Alta
	0+840	340	Alta
	0+840	340	Alta
<b>1+350 - 1+488</b>	1+531	340	Alta
	1+549	340	Alta
<b>SUMA (m)</b>		199.62	

**Tabla 2.18 Agrupación de daños, Fisuras Transversales**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE FISURA TRANSVERSAL		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
<b>0+000 - 0+150</b>	0+005	316	0.2	Baja
	0+051	340	0.2	Baja
	0+051	340	0.2	Baja
	0+053	340	0.2	Baja
	0+057	312	0.1	Baja
	0+069	340	0.2	Baja
	0+069	340	0.2	Baja
	0+086	103	0.1	Baja
	0+092	340	0.2	Baja
	0+095	340	0.1	Baja
	0+095	340	0.1	Baja
	<b>0+150 - 0+300</b>	0+235	340	0.1
0+254		340	0.2	Baja
0+271		340	0.1	Baja
0+286		340	0.1	Baja
0+286		340	0.1	Baja
<b>0+300 - 0+450</b>	0+302	221	0.1	Alta
	0+309	340	0.1	Baja
	0+309	340	0.1	Baja
	0+324	340	0.1	Baja
	0+324	340	0.1	Baja
	0+351	340	0.1	Baja
	0+438	340	0.1	Baja
<b>0+450 - 0+600</b>	0+561	340	0.2	Baja
	0+561	340	0.2	Baja
	0+562	340	0.2	Baja
	0+562	340	0.2	Baja
	0+594	340	0.1	Baja
<b>0+600 - 0+750</b>	0+610	340	0.1	Baja
	0+610	340	0.1	Baja
	0+620	340	0.1	Baja
	0+661	154	0.2	Baja
	0+680	340	0.1	Baja
	0+681	340	0.1	Baja

	0+687	340	0.1	Baja
	0+693	340	0.1	Baja
	0+702	340	0.2	Baja
	0+702	340	0.2	Baja
	0+705	340	0.1	Baja
	0+718	340	0.1	Baja
	0+718	340	0.1	Baja
	0+726	340	0.2	Baja
	0+726	340	0.1	Baja
	0+737	340	0.2	Baja
	0+745	340	0.1	Baja
<b>0+750 - 0+900</b>	0+849	340	0.1	Baja
<b>0+900 - 1+050</b>	0+984	340	0.1	Baja
	1+012	340	0.1	Baja
<b>1+050 - 1+200</b>	1+146	340	0.2	Baja
	1+153	47	0.1	Baja
	1+153	45	0.1	Baja
	1+154	340	0.1	Baja
	1+154	51	0.1	Baja
	1+164	340	0.2	Baja
	1+167	192	0.2	Baja
	1+177	40	0.2	Baja
	1+177	37	0.2	Baja
<b>1+350 - 1+488</b>	1+362	137	0.1	Baja
	1+398	340	0.2	Baja
	1+398	340	0.2	Baja
	1+404	340	0.1	Baja
	1+422	112	0.2	Baja
	1+450	340	0.2	Baja
	1+453	340	0.2	Baja
<b>SUMA (m)</b>		191.07		

En la Tabla 2.19 se muestran las fisuras encontradas con orientación longitudinal en la losa, su longitud, ancho y severidad.

**Tabla 2.19 Agrupación de daños, Fisuras Longitudinales**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE FISURA LONGITUDINAL		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
<b>0+000 - 0+150</b>	0+051	183	0.1	Baja
<b>0+150 - 0+300</b>	0+181	440	0.2	Baja
	0+185	440	0.2	Baja
	0+250	131	0.2	Baja
	0+311	55	0.2	Baja
<b>0+300 - 0+450</b>	0+354	440	0.1	Baja
	0+358	440	0.1	Baja
	0+363	440	0.1	Baja
	0+367	440	0.1	Baja
	0+420	440	0.2	Baja
	0+424	440	0.2	Baja
	<b>0+450 - 0+600</b>	0+468	261	0.1
<b>0+600 - 0+750</b>	0+724	440	0.1	Baja
<b>0+900 - 1+050</b>	0+922	440	0.1	Baja
	0+993	152	0.1	Baja

<b>1+050 - 1+200</b>	1+103	164	0.2	Baja
	1+150	440	0.2	Baja
	1+155	215	0.2	Baja
	1+159	325	0.1	Baja
	1+164	335	0.1	Baja
	1+168	110	0.1	Baja
	1+178	132	0.1	Baja
	1+178	100	0.2	Baja
	1+185	205	0.2	Baja
<b>1+200 - 1+350</b>	1+291	440	0.2	Baja
	1+331	440	0.2	Baja
	1+335	440	0.2	Baja
<b>SUMA (m)</b>		85.28		

En la Tabla 2.20 se muestran las fisuras encontradas en las esquinas en la losa, su longitud, ancho y severidad.

**Tabla 2.20 Agrupación de daños, Fisuras de Esquina**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE FISURA DE ESQUINA		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
<b>0+150 - 0+300</b>	0+253	25	0.1	Baja
<b>0+300 - 0+450</b>	0+340	51	0.1	Baja
<b>1+050 - 1+200</b>	1+128	18	0.2	Baja
	1+177	75	0.2	Baja
	1+185	103	0.1	Alta
	1+185	86	0.1	Alta
	1+185	99	0.1	Alta
	1+185	81	0.1	Alta
<b>1+200 - 1+350</b>	1+233	83	0.2	Alta
	1+233	79	0.2	Alta
	1+234	80	0.2	Alta
	1+269	70	0.2	Baja
	1+308	123	0.2	Baja
<b>1+350 - 1+488</b>	1+353	104	0.2	Baja
	1+405	30	0.2	Baja
	1+449	22	0.2	Baja
<b>SUMA (m)</b>		11.29		

En la Tabla 2.21 se muestran las grietas encontradas con orientación transversal en la losa, su longitud, ancho y severidad.

En la Tabla 2.22 se muestran las grietas encontradas con orientación longitudinal en la losa, su longitud, ancho y severidad. En la Tabla 2.23 se muestran las grietas encontradas en las esquinas de la losa, su longitud, ancho y severidad. En la Tabla 2.24 se muestran los hundimientos de la losa según su severidad, dimensiones y área afectada. Finalmente, no se encontró daños de tipo Levantamiento Localizado de Losa en el pavimento evaluado.

**Tabla 2.21 Agrupación de daños, Grietas Transversales**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE GRIETA TRANSVERSAL		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
0+300 - 0+450	0+335	340	0.3	Media
	0+335	340	0.3	Media
	0+440	81	0.4	Media
0+900 - 1+050	0+981	340	0.3	Media
	0+981	340	0.3	Media
1+200 - 1+350	1+220	63	0.5	Media
	1+220	58	0.5	Media
	1+221	41	0.5	Media
	1+222	55	0.5	Media
	1+255	125	0.5	Media
1+350 - 1+488	1+373	63	0.5	Media
	1+378	47	0.3	Media
	1+378	142	0.3	Media
	1+385	85	0.5	Media
	1+390	84	0.3	Media
	1+391	193	0.5	Media
	1+398	182	0.4	Media
	1+417	192	0.5	Media
1+418	141	0.3	Media	
<b>SUMA (m)</b>		29.12		

**Tabla 2.22 Agrupación de daños, Grietas Longitudinales**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE GRIETA LONGITUDINAL		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
1+200 - 1+350	1+222	224	0.5	Media
	1+234	440	0.3	Media
	1+238	440	0.3	Media
	1+243	440	0.3	Media
	1+254	191	0.5	Media
	1+335	440	0.5	Media
1+350 - 1+488	1+340	440	2	Alta
	1+344	440	3	Alta
	1+378	440	0.4	Alta
	1+401	60	0.5	Media
	1+403	440	0.6	Media
	1+423	163	0.4	Media
<b>SUMA (m)</b>		41.58		

**Tabla 2.23 Agrupación de daños, Grietas de Esquina**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DE GRIETA DE ESQUINA		SEVERIDAD
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	
0+300 - 0+450	0+336	91	0.3	Media
0+750 - 0+900	0+855	165	0.3	Alta

<b>1+050 - 1+200</b>	0+857	107	0.3	Alta
	1+198	123	0.5	Media
	1+198	141	0.5	Media
<b>1+200 - 1+350</b>	1+229	172	0.4	Media
	1+234	85	0.3	Alta
	1+247	92	0.7	Media
	1+247	68	0.5	Media
	1+247	89	0.7	Media
	1+247	72	0.6	Media
	1+251	86	0.5	Media
	1+251	61	0.6	Media
	1+255	99	0.7	Media
	1+348	52	2	Alta
<b>SUMA (m)</b>		15.03		

**Tabla 2.24 Agrupación de daños, Hundimiento localizado de losa**

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	DIMENSIONES DEL HUNDIMIENTO			SEVERIDAD	ÁREA (m <sup>2</sup> )
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PROFUNDIDAD (cm)		
<b>0+300 - 0+450</b>	0+439	31	34	1	Baja	0.11
<b>0+750 - 0+900</b>	0+925	52	85	1	Baja	0.44
<b>1+050 - 1+200</b>	1+177	104	38	0.5	Baja	0.40
	1+254	51	75	1	Baja	0.38
	1+198	30	37	0.7	Baja	0.11
<b>1+200 - 1+350</b>	1+221	217	51	0.6	Baja	1.11
	1+303	52	162	1	Baja	0.84
	1+269	10	45	0.7	Baja	0.05
	1+340	440	176	1	Baja	7.74
	1+344	440	179	3	Media	7.88
	1+348	41	33	1	Baja	0.14
<b>SUMA</b>						19.19

## 2.6 Solución a diseñar

Después de analizar la información tabulada (sección 2.5), la solución planteada propone un conjunto de procedimientos de rehabilitación para restaurar la losa HCP. Las técnicas de rehabilitación propuestas son:

### 2.6.1 Sustitución total de losa

Consiste en el reemplazo total de una losa y su posterior reposición con hormigón hidráulico. Esta solución es eficaz para tratar daños profundos y generalizados y puede incluir la reconfiguración de la capa de subbase.

### 2.6.2 Sustitución parcial de losa

Esta solución involucra la rotura de una parte de la losa en todo su espesor y posterior reposición con hormigón hidráulico. Permite reparar daños que no

afectan a la losa en toda su área y ofrece la posibilidad de restituir su funcionalidad de manera más económica que una sustitución total. Este proceso logra mejorar la comodidad del tránsito, evitar la progresión de deterioros y genera bordes adecuados para el sellado de juntas.

### **2.6.3 Sellado de juntas**

Esta solución es eficaz para evitar el ingreso de agua o material extraño debajo de la losa del pavimento, previniendo la pérdida de material de soporte y agrietamientos. Consiste en aplicar un sello fluido en juntas.

### **2.6.4 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno**

Consiste en el sellado de juntas longitudinales con un perfil preformado de neopreno aplicado con adherente epóxico. Esta solución es de rápida aplicación, económica y efectiva para evitar el ingreso de agua y material incompresible en juntas de mayor ancho en las que no sería factible utilizar sellantes fluidos (solución 2.6.1).

### **2.6.5 Sellado de fisuras y grietas**

Por medio de la aplicación de un material sellante fluido, se ofrece una solución económica y de rápida aplicación para evitar el ingreso de agua y material incompresible dentro de la losa y la evolución de fisuras y agrietamientos.

# CAPÍTULO 3

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Resultados

#### 3.1.1 Ensayos de laboratorio

A continuación, se presenta los resultados más relevantes obtenidos de los ensayos de laboratorio (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio**

Ensayo	Norma / Referencia	Ubicación	Parámetro Medido	Valor Obtenido	Observaciones
Extracción de núcleos	ASTM C42	Losa interior 0+724 1+460	Resistencia a la Compresión Simple	283.2 kgf/cm <sup>2</sup> 194.4 kgf/cm <sup>2</sup> 83.0 kgf/cm <sup>2</sup>	Se observa oquedades en el hormigón.  Espesores de losa de estudio de 23 y 26 cm.
Esclerometría	ASTM C805	0+042 0+180 0+335 0+493 0+645 0+793 0+936 1+089 1+248 1+404 1+546	Resistencia a la Compresión Simple	187.70 kgf/cm <sup>2</sup>	Se toma valor promedio de referencia.  Lecturas cerca de extracciones de núcleos se aproximan en un rango aceptable.
Carbonatación	UNE-EN 112011	Losa interior 0+724 1+460	Profundidad de carbonatación	3 mm	No se observó penetración profunda.
Ultrasonido en hormigón	ASTM C597	0+254 1+163 1+229 1+335 1+452	Profundidad de fisuras y grietas	6.15 cm 1.80 cm 4.15 cm 8.60 cm 4.06 cm	Se registró fisuras y grietas superficiales y profundas.  Profundidad promedio de 4.95 cm

Además, se calculó el porcentaje de afectación de losas por tramo (sección 2.2.2.1) para cada familia de daños.

### 3.1.2 Levantamiento visual de datos

El porcentaje de afectación de losas por tramos para daños del grupo Deterioro Superficial se muestra en la tabla 3.2. Este grupo incluye: Baches, Desgaste por Erosión y Despostillamientos.

**Tabla 3.2 Afectación de losas por grupo de daños: Deterioro Superficial**

Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	No. Losas afectadas	No. Losas del tramo	Afectación con respecto a losas del tramo	Afectación con respecto a losas totales	No. Losas afectadas según nivel de severidad		
							Baja	Media	Alta
1	0+000	0+150	19	156	12.18%	1.31%	2	9	9
2	0+150	0+300	6	140	4.29%	0.41%	2	3	2
3	0+300	0+450	25	140	17.86%	1.72%	1	12	13
4	0+450	0+600	11	148	7.43%	0.76%	6	4	3
5	0+600	0+750	12	136	8.82%	0.83%	4	9	2
6	0+750	0+900	11	136	8.09%	0.76%	1	8	3
7	0+900	1+050	10	154	6.49%	0.69%	2	4	4
8	1+050	1+200	16	160	10.00%	1.10%	4	10	4
9	1+200	1+350	28	148	18.92%	1.93%	3	15	12
10	1+350	1+553	34	134	25.37%	2.34%	8	22	8
<b>SUMA</b>			<b>172</b>	<b>1452</b>		<b>11.85%</b>	<b>33</b>	<b>96</b>	<b>60</b>

El porcentaje de afectación de losas por tramos para daños del grupo Deficiencia de material de sello en juntas se muestra en la tabla 3.3. Este grupo incluye deficiencias en el sello tanto en juntas longitudinales como transversales.

**Tabla 3.3 Afectación de losas por grupo de daños: Deficiencia de material de sello en juntas**

Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	No. Losas afectadas	No. Losas del tramo	Afectación con respecto a losas del tramo	Afectación con respecto a losas totales	No. Losas afectadas según nivel de severidad		
							Baja	Media	Alta
1	0+000	0+150	2	156	1.28%	0.14%	0	0	2
2	0+150	0+300	10	140	7.14%	0.69%	0	0	10
3	0+300	0+450	0	140	0.00%	0.00%	0	0	0
4	0+450	0+600	3	148	2.03%	0.21%	0	0	3
5	0+600	0+750	5	136	3.68%	0.34%	0	0	5
6	0+750	0+900	12	136	8.82%	0.83%	0	0	12
7	0+900	1+050	9	154	5.84%	0.62%	0	0	9
8	1+050	1+200	2	160	1.25%	0.14%	0	0	2
9	1+200	1+350	2	148	1.35%	0.14%	0	0	2
10	1+350	1+553	25	134	18.66%	1.72%	0	0	25
<b>SUMA</b>			<b>70</b>	<b>1452</b>		<b>4.82%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70</b>

Durante la inspección visual se observó la presencia de juntas longitudinales de un ancho anormal ( $\geq 1$  cm) entre la losa y el bordillo cuneta en ambos sentidos de la vía, por esa razón se tomó esta medida cada 200 metros (Tabla 3.4). Esta condición pasó a ser un nuevo grupo en la clasificación de los problemas identificados en la losa.

**Tabla 3.4 Separación losa-bordillo**

Abscisa	Separación en junta longitudinal entre bordillo y losa (cm)	
	Calzada de Ingreso	Calzada de Salida
0+000	1.5	1.5
0+200	0.7	1
0+400	1	3
0+600	3	1
0+800	2	3
1+000	3	2
1+200	2	2
1+400	2	2
1+488	1	3

El porcentaje de afectación de losas por tramos para daños del grupo Fisuras y Grietas se muestra en la tabla 3.5. Este grupo incluye fisuras y grietas, transversales, longitudinales y de esquina.

**Tabla 3.5 Afectación de losas por grupo de daños: Fisuras y Grietas**

Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	No. Losas afectadas	No. Losas del tramo	Afectación con respecto a losas del tramo	Afectación con respecto a losas totales	No. Losas afectadas según nivel de severidad		
							Baja	Media	Alta
1	0+000	0+150	11	156	7.05%	0.76%	11	0	0
2	0+150	0+300	9	140	6.43%	0.62%	9	0	0
3	0+300	0+450	17	140	12.14%	1.17%	14	4	1
4	0+450	0+600	4	148	2.70%	0.28%	4	0	0
5	0+600	0+750	14	136	10.29%	0.96%	14	0	0
6	0+750	0+900	7	136	5.15%	0.48%	1	0	6
7	0+900	1+050	6	154	3.90%	0.41%	4	2	0
8	1+050	1+200	19	160	11.88%	1.31%	14	2	4
9	1+200	1+350	20	148	13.51%	1.38%	5	12	4
10	1+350	1+553	21	134	15.67%	1.45%	10	11	1
<b>SUMA</b>			<b>128</b>	<b>1452</b>		<b>8.82%</b>	<b>86</b>	<b>31</b>	<b>16</b>

El porcentaje de afectación de losas por tramos para levantamientos y hundimientos de losa se muestra en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6 Afectación de losas por grupo de daños: Levantamiento y Hundimiento de Losa**

Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	No. Losas afectadas	No. Losas del tramo	Afectación con respecto a losas del tramo	Afectación con respecto a losas totales	No. Losas afectadas según nivel de severidad		
							Baja	Media	Alta
1	0+000	0+150	0	156	0.00%	0.00%	0	0	0
2	0+150	0+300	0	140	0.00%	0.00%	0	0	0
3	0+300	0+450	1	140	0.71%	0.07%	1	0	0
4	0+450	0+600	0	148	0.00%	0.00%	0	0	0
5	0+600	0+750	0	136	0.00%	0.00%	0	0	0
6	0+750	0+900	1	136	0.74%	0.07%	1	0	0
7	0+900	1+050	0	154	0.00%	0.00%	0	0	0
8	1+050	1+200	3	160	1.88%	0.21%	3	0	0
9	1+200	1+350	3	148	2.03%	0.21%	3	0	0
10	1+350	1+553	0	134	0.00%	0.00%	0	0	0
<b>SUMA</b>			<b>8</b>	<b>1452</b>	<b>0.55%</b>	<b>1452</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Luego, se calculó el porcentaje de afectación global de cada tramo con considera todos los grupos de daños (Tabla 3.7).

**Tabla 3.7 Afectación global de losas del pavimento por tramos**

Tramo	Abscisa Inicial	Abscisa Final	No. Losas afectadas	No. Losas del tramo	Afectación con respecto a losas del tramo	Afectación con respecto a losas totales
1	0+000	0+150	26	156	16.67%	1.79%
2	0+150	0+300	23	140	16.43%	1.58%
3	0+300	0+450	39	140	27.86%	2.69%
4	0+450	0+600	15	148	10.14%	1.03%
5	0+600	0+750	26	136	19.12%	1.79%
6	0+750	0+900	26	136	19.12%	1.79%
7	0+900	1+050	22	154	14.29%	1.52%
8	1+050	1+200	33	160	20.63%	2.27%
9	1+200	1+350	46	148	31.08%	3.17%
10	1+350	1+448	61	134	45.52%	4.20%
<b>SUMA</b>			<b>317</b>	<b>1452</b>		<b>21.83%</b>

Se midió la longitud y el ancho de las losas evaluadas cada 200 metros, ya que durante el recorrido se observó dimensiones variables (Tabla 3.8).

**Tabla 3.8 Dimensiones de losas del pavimento**

Abscisa	Calzada de Salida			Calzada de Salida		
	Ancho (m)		Longitud (m)	Ancho (m)		Longitud (m)
	Carril Izquierdo	Carril Derecho		Carril Izquierdo	Carril Derecho	
0+000	3.60	3.50	4.70	3.40	3.38	4.20
0+200	3.40	3.40	4.29	3.40	3.40	4.31
0+400	3.40	3.37	4.65	3.40	3.40	4.51
0+600	3.40	3.37	4.40	3.20	3.23	4.40
0+800	3.33	3.30	4.18	3.20	3.21	4.85
1+000	3.30	3.46	4.10	3.36	3.40	4.23
1+200	3.40	3.40	4.53	3.38	3.41	4.40
1+400	3.40	3.40	4.50	3.40	3.40	4.56
1+488	3.40	3.40	4.35	3.40	3.40	4.35
<b>Promedio</b>	<b>3.40</b>	<b>3.40</b>	<b>4.41</b>	<b>3.35</b>	<b>3.35</b>	<b>4.42</b>

Durante el levantamiento se evidenció la rotura de la losa en todo su espesor con agrietamientos de severidad grave y el desprendimiento de la losa con el bordillo (Tabla 3.4). Esto permitió la medición directa del espesor de la losa, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Espesor de losa obtenido por medición directa**

No. Punto	Abscisa	Espesor (cm)	Observación
1	0+858	23	Se presenta desprendimiento de losa con bordillo cuneta, ancho máximo 5 cm.
2	0+861	22	
3	0+864	23	
4	0+869	21	
5	0+874	22	
6	0+884	23	
7	0+886	23	
8	0+890	23	
9	1+340	22	
10	1+342	23	
11	1+343	22	
12	1+345	21	
13	1+345	21	
14	1+349	20	
15	1+351	21	
16	1+352	19	
<b>Promedio</b>		<b>21.81</b>	

### 3.2 Análisis de resultados

En esta sección se interpretará los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y del levantamiento visual en la losa para cada familia de daños.

### 3.2.1 Ensayo de Rotura de Núcleos de Hormigón

En el ensayo de Extracción de Núcleos de Hormigón se evidencia gran variación en los resultados obtenidos de resistencia a la compresión del hormigón de la losa en las 2 perforaciones realizadas (Tabla 3.1). Para la primera perforación (abscisa 0+724), se obtuvo un espesor de losa de 26 cm y una resistencia a la compresión de 194.4 kgf/ cm<sup>2</sup>, algo baja en comparación a la resistencia esperada para un pavimento rígido sometido a tráfico pesado (alrededor de 300 kgf/cm<sup>2</sup>). Además, en este punto se evidencia la presencia de oquedades en el hormigón (Figura 3.1).

En el segundo punto de extracción (abscisa 1+460) se registró un espesor de losa de 23 cm, una resistencia a la compresión de 83 kgf/ cm<sup>2</sup> y la presencia de pronunciadas oquedades en el hormigón (Figura 3.2). Estos vacíos se podrían atribuir a una deficiente compactación durante el proceso constructivo del pavimento HCP, lo que explicaría los valores de resistencia tan bajos obtenidos. Debido a que se observó gran variabilidad en el espesor de la losa entre el primer y segundo punto (26 y 23 cm respectivamente), se procedió a medir el espesor en varios sitios a lo largo de la vía el espesor de la losa existente en aberturas o agrietamientos severos (Tabla 3.4), obteniendo espesores variados con un promedio de 21.81 cm, esto refuerza la idea de que hubo deficiencias en el control de calidad durante la construcción. Por ese motivo con, el fin de diferenciar los daños superficiales de los profundos, se considerará de manera conservadora que la losa tiene un espesor de 21 cm. El espesor de la losa excede el límite recomendado en pavimentos rígidos con juntas de trabazón de agregados para asegurar una correcta transferencia de las cargas (18 cm) (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2014), lo que sugiere un posible error de diseño.

Por otro lado, también se extrajo un espécimen de hormigón en la losa existente de HCP del interior de ESPOL ubicado a 69 metros del inicio de la vía de estudio con el fin de comparar los resultados. En dicho punto la losa de hormigón HCP tuvo 13.5 cm de espesor y 283.2 kgf/ cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión. Se debe considerar que la losa de pavimento rígido HCP del interior de ESPOL fue construida solo un año antes de la losa exterior (losa de estudio), así que su valor

de resistencia sirve como referencia del valor aproximado que debería tener la losa exterior, que es de espesor mayor.

Por lo tanto, se observa que el hormigón de la losa estudiada tiene espesores altamente variables y presenta valores de resistencia a la compresión muy por debajo de lo esperado, atribuibles a una deficiente compactación durante su proceso constructivo, fallas en el control de calidad y fiscalización.

Finalmente, con base en estos resultados se tomó  $300 \text{ kgf/cm}^2$  como valor mínimo de resistencia a la compresión para el hormigón a utilizarse en las técnicas de rehabilitación.



**Figura 3.1 Oquedades en el hormigón (abscisa 0+724)**



**Figura 3.2 Oquedades en el hormigón (abscisa 1+460)**

### **3.2.2 Ensayo de Esclerometría**

Por medio del ensayo de Esclerometría se obtuvo un valor promedio de resistencia a la compresión del hormigón de la losa de 187.70 kgf/ cm<sup>2</sup>. De manera puntual, los resultados de resistencia obtenidos por esclerometría en los puntos no. 1, 6 y 11 (Tabla 3.1) se aproximan a los obtenidos en las extracciones de núcleo realizadas en la misma ubicación dentro de un margen aceptable. La diferencia podría atribuirse a que la esclerometría es menos confiable que la extracción de núcleos para medir la resistencia del concreto. La incertidumbre puede deberse al posible impacto del esclerómetro contra árido grueso y el hecho de que el procedimiento seguido para el cálculo de la resistencia fue el propuesto por el fabricante del martillo. Dicho proceso fue desarrollado bajo condiciones diferentes a las del sitio de nuestro ensayo, lo que provocaría la obtención de valores no confiables y justifica la necesidad de los ensayos de extracción de núcleo realizados.

### **3.2.3 Ensayo de Carbonatación**

En el ensayo de Carbonatación se encontró que el hormigón tiene una afectación mínima, de unos 3 mm (Tabla 3.1). Debido al tipo de juntas de las losas estudiadas (por trabazón de agregados sin pasadores metálicos), la carbonatación del hormigón no afecta el funcionamiento de las juntas ya que estas no tienen elementos susceptibles a la corrosión. Por lo tanto, la Carbonatación no tendría un rol relevante para explicar los daños presentes en la losa del pavimento.

### **3.2.4 Ensayo de Ultrasonido**

El ensayo de Ultrasonido nos permitió determinar la profundidad de fisuras y grietas en la losa del pavimento. Los resultados (Tabla 3.1) muestran una profundidad promedio de 4.95 cm en los puntos evaluados. La profundidad máxima registrada fue 8.60 cm, en el punto no. 4, en una zona en la que se encontró agrietamientos a espesor completo de la losa. Por lo tanto, se observa que si bien la mayoría de las fisuras y grietas ensayados fueron superficiales (profundidad menor al primer tercio de la losa) también existen fisuras y grietas profundas que requerirán un tratamiento distinto.

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio permitirán evaluar y solucionar los cinco grupos de daños identificados en la losa: Deterioro Superficial, Deficiencia de material de sello en juntas, Fisuras y Grietas, Levantamiento y Hundimiento de Losa y Separación losa-bordillo.

### 3.2.5 Deterioro Superficial

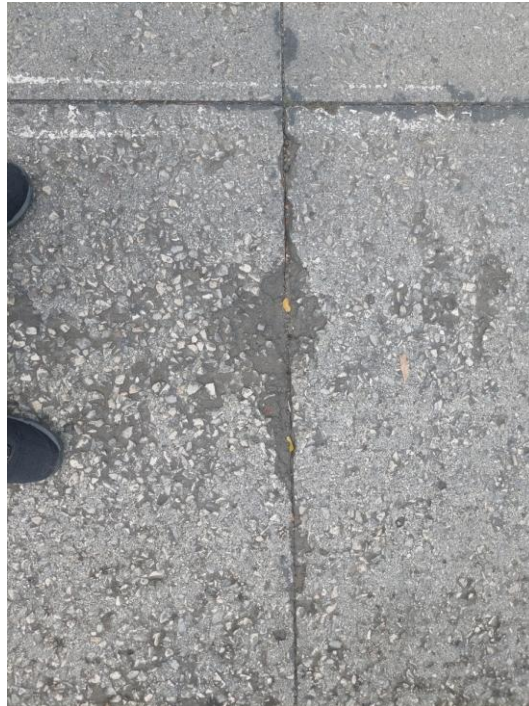
En la Tabla 3.2 se observa que alrededor de una de cada 10 losas presenta afectaciones por patologías de este grupo (11.85%), siendo el grupo de daños más recurrente en la losa de estudio. El tramo más afectado por este grupo fue el no. 10 con un 25.37% de losas deterioradas, la mayoría por daños de severidad media. Durante el levantamiento se registró baches de hasta 10 cm de profundidad, lo que demuestra el avanzado deterioro de la losa de hormigón (Figura 3.3), principalmente en los últimos tramos de la carretera. La presencia de baches tan grandes genera un alto riesgo para los usuarios y perjudica la comodidad del tránsito. Los daños de Desgaste por Erosión fueron en su mayoría de severidad Alta, ya que presentaban pérdida tanto de pasta como de agregado grueso en una gran extensión de la losa (Figura 3.4). Los daños por Despostillamiento se presentaron con menor frecuencia, principalmente en los tramos finales de la vía (Figura 3.5).



**Figura 3.3 Bache de severidad Alta (Abscisa 1+170)**



**Figura 3.4 Bache de severidad Alta (Abscisa 0+664)**



**Figura 3.5 Despostillamiento de severidad Alta (Abscisa 1+082)**

En los resultados obtenidos de la extracción de núcleos (sección 3.2.1) se evidenció deficiencias en la compactación durante el proceso constructivo de la losa, lo que afectaría la resistencia del hormigón del pavimento. En particular, el tramo más afectado por daños de deterioro superficial (tramo no. 10) es también el tramo donde se obtuvo una resistencia a la compresión del hormigón muy baja (83 kgf/ cm<sup>2</sup>). Por este motivo, se considera que estos errores en el proceso constructivo y su impacto en la resistencia de la losa del pavimento serían la

principal causa de la gran afectación de daños en su superficie: baches, desgaste por erosión y despostillamiento. Además, durante el levantamiento de los daños (Tabla 3.8) se evidenció un ancho y longitud de las losas altamente variable que excede el margen admitido bajo un control de calidad adecuado. El ancho de las losas registradas oscila entre 3.20 y 3.50 m, con un promedio de 3.40 m, mientras que su longitud varía entre 4.10 y 4.85 m, con un promedio de 4.40 m. También se encontró variación en el espesor de la losa, que oscila entre los 19 cm medidos directamente (Tabla 3.9) y 26 cm del espécimen No. 2 de las extracciones de núcleos (Tabla 3.1). Esto respalda la hipótesis de que no existió un control de calidad y fiscalización adecuados durante su proceso constructivo. Una solución aparentemente simple a los daños superficiales en la losa del pavimento sería aplicar una capa de carpeta asfáltica. No obstante, no lo consideramos la mejor alternativa, ya que esta solución por sí misma sería de efecto temporal y solo retrasaría la aparición de los daños, que serían reflejo de las patologías que padece la losa que la soporta. Un ejemplo de aquello es la carpeta asfáltica presente en la vía encima a la altura del puente que atraviesa el lago de ESPOL (abscisa 1+040), en la que ya se evidencian los baches y las juntas de la losa subyacente (Figura 3.6). Por lo tanto, se vuelve necesario aplicar técnicas de rehabilitación para restituir la capacidad de la losa del pavimento que ya existe, que es lo que se ha propuesto en este proyecto. Cabe mencionar que este tramo de vía no fue considerado en el levantamiento de daños realizado a la losa de HCP.



**Figura 3.6 Daños superficiales y juntas de la losa reflejados en carpeta asfáltica sobrepuesta (Abscisa 1+040)**

Como solución a esta familia de daños, se propone el reemplazo parcial o total de la losa en todo su espesor, según el área y severidad de los daños encontrados (sección 2.6.1 y 2.6.2). En el caso de que se haya visto afectado el material de soporte de la losa, los trabajos incluirán la reconfiguración de la subbase. Esta solución busca restituir la capacidad estructural de la losa del pavimento y la planicidad, para generar comodidad en los usuarios. No obstante, se debe considerar que esta solución debe ir acompañada de las otras soluciones que se proponen a los distintos grupos de daños, tales como el mantenimiento de material de sello en junta y sellado de fisuras y grietas (secciones 2.6.3 a 2.6.5). De otra manera, el ingreso de agua a la losa provocaría la aparición de nuevos deterioros superficiales, agrietamiento y hundimientos.

En casos muy puntuales de losas que son afectadas por daños superficiales pequeños se podría considerar una reparación con concreto epóxico. No obstante, se observó que la mayoría de las losas afectadas tienen daños severos que afectan gran parte de su área, lo que hace más económico y eficiente una intervención en todo su espesor, que son las soluciones explicadas en este trabajo.

Es importante señalar que para la sustitución parcial de losa debe seguir las especificaciones técnicas detalladas en la sección 3.4, como las características del hormigón y dimensiones de la reparación. De otra forma, se podría incurrir en reparaciones que luego se vean deterioradas como, por ejemplo, lo mostrado en las Figuras 3.7 a 3.16, donde se aprecia reemplazos parciales de losa de longitud insuficiente realizados en la losa HCP del interior del campus.

En la Figura 3.7 se aprecia una sustitución parcial de losa que se realizó en una longitud reducida, a la altura de las residencias estudiantiles. Se observan agrietamientos y erosión severa del hormigón producto de la dilatación y contracción de la losa.



**Figura 3.7 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 1 de 10.**

En la figura 3.8 se observa otra sustitución parcial de losa de longitud insuficiente en la que no se ha restituido la funcionalidad de juntas transversales. Se observan un vertido y corte irregular del hormigón.



**Figura 3.8 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 2 de 10.**

En la Figura 3.9 se observan dos reparaciones de longitud insuficiente y un picado superficial de losa de trabajos aparentemente sin concluir.



**Figura 3.9 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 3 de 10.**

En la figura 3.10 se observan más de cerca unas de las dos franjas de la foto anterior, donde se nota que no se restableció el funcionamiento de las juntas y no se sustituyó la losa en la longitud mínima requerida.



**Figura 3.10 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 4 de 10.**

En la Figura 3.11 se observa la segunda franja de la Figura 3.9. Se aprecia nuevamente una longitud de sustitución de losa insuficiente, pérdida de las juntas transversales, y corte y vertido irregular del hormigón.



**Figura 3.11 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 5 de 10.**

En las Figuras 3.12 a 3.14 se observa baches severos en una sustitución parcial de losa ejecutada con los errores constructivos que la figura pasada.



**Figura 3.12 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 6 de 10.**



**Figura 3.13 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 7 de 10.**



**Figura 3.14 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 8 de 10.**

En la Figura 3.15 se observa una fisura que se intentó selló con material asfáltico sin seguir el proceso técnico requerido.



**Figura 3.15 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 9 de 10.**

En la Figura 3.16 se observa una sustitución parcial que se ha vuelto a agrietar y hundir debido a su geometría y porque no se realizó el correcto proceso de sellado de juntas.



**Figura 3.16 Reparación parcial de losa realizada al interior del campus. 10 de 10.**

Las figuras mostradas previamente muestran que las soluciones propuestas en este proyecto, si se ejecutan sin considerar las especificaciones técnicas y proceso constructivos adecuados, no tendrán los resultados esperados. Es fundamental la supervisión de un ingeniero especialista que dirija los trabajos de rehabilitación.

### 3.2.6 Deficiencia de material de sello en juntas

Un 4.82% de las losas de la carretera muestran deterioros en el material sellante de sus juntas (Tabla 3.3). Se observa que existe deterioro en el material sellante de juntas longitudinales, principalmente en los tramos no. 2 (0+150 - 0+300), 6 (0+750 - 1+900) y 10 (1+350 - 1+448) (Tabla 2.15). Por otro lado, hay una menor cantidad de losas con deterioro de material sellante en sus juntas transversales (Tabla 3.3). El tramo más afectado por daños en juntas fue el no. 10, con un 18.66% de losas afectadas, y donde todos los daños encontrados fueron de severidad Alta.

En las juntas transversales inspeccionadas se observó la ejecución de un proceso deficiente de mantenimiento del material de sello, con aglomeraciones sobre la losa y aparente aplicación directa sin una correcta preparación de la superficie (Figura 3.17). Esto perjudicaría la adherencia del material de sello y aceleraría su pérdida producto de la erosión por el contacto con el tránsito.

En las juntas longitudinales se registró la presencia de material incompresible y crecimiento de vegetación, y se observó que la mayoría no habían recibido mantenimiento (Figura 3.18).



**Figura 3.17 Mantenimiento deficiente de material de sello en junta transversal, carril de ingreso (Abscisa 0+085)**



**Figura 3.18 Deficiencia en material de sello, junta longitudinal (Abscisa 1+414)**

Para esta familia de daños, se propone el proceso de Sellado de juntas (sección 2.6.3). De esta manera, se evitará que siga ingresando agua debajo de la losa, lo que provoca el bombeo del material de soporte y posterior agrietamiento, así como el ingreso de material incompresible, que genera despostillamientos.

### **3.2.7 Separación losa-bordillo**

Además, se encontró juntas de ancho excesivo (de 3 y 4 cm) entre la losa y el bordillo cuneta (Figuras 3. 19 a 3.21) entre las abscisas a lo largo de la vía (Tabla 3.4), posiblemente producto de errores constructivos y del control de calidad durante la pavimentación. Estos grandes espacios en la junta sumados a la falta de mantenimiento en juntas normales permiten el ingreso de agua que luego socava la capa de subbase y provoca agrietamientos por flexión y hundimientos de la losa, además de dificultar su mantenimiento con selladores fluidos.

En el caso particular de las juntas con un ancho excesivo, se propone el sellado de juntas con perfil preformado de neopreno (sección 2.6.5).



**Figura 3.19 Junta longitudinal con ancho normal (<7 mm) (Abscisa 0+330)**



**Figura 3.20 Junta longitudinal con ancho anormal (3 cm), carril de ingreso (Abscisa 0+530)**



**Figura 3.21 Junta longitudinal con ancho anormal (3 cm), carril de ingreso (Abscisa 0+850)**

### **3.2.8 Fisuras y Grietas**

En el caso de Fisuras y Grietas, el tramo más afectado fue el no. 9, con un 15.67% de losas afectadas (Tabla 3.5). Para esta familia, la mayoría de los daños son de severidad media (Figura 3.22). Por otro lado, aproximadamente el 9% de las losas del pavimento están afectadas por algún tipo de fisura o grieta. Esto posiciona a este grupo de daños como el segundo más común, detrás de los Daños Superficiales. Los datos levantados sugieren que la falta de mantenimiento o mantenimiento inadecuado del material de sello en juntas sería la principal causa de las fisuras o grietas existentes en la losa. Esto se debe a que los sellos deficientes en juntas permiten el ingreso de agua, que erosiona el material de soporte de la losa y genera esfuerzos de flexión que provocan su agrietamiento.

Con base en los resultados obtenidos del ensayo de Ultrasonido en hormigón (Tabla 3.1), se observa que la losa presenta fisuras y grietas tanto superficiales como profundas. Como solución para fisuras y grietas superficiales (profundidad menor al primer tercio del espesor de la losa) se propone el sellado en frío con

silicona de bajo módulo, lo que permitiría evitar el ingreso de agua con un sellador con propiedades elástica que admita las deformaciones por temperatura de las losas y evite que los daños evolucionen a una mayor profundidad, generando daños más graves.

En el caso de grietas longitudinales profundas (menor deformación por temperatura) con longitud mayor a 50 cm, se propone su relleno con sellador epóxico. Este material rellena toda la profundidad de la grieta y se endurece a altas resistencias, restableciendo la capacidad estructural de la losa y evitando el ingreso de agua. Si la grieta muestra signos de pérdida de material de soporte o hundimientos, se procederá con un reemplazo a profundidad total (sección 2.6.1).



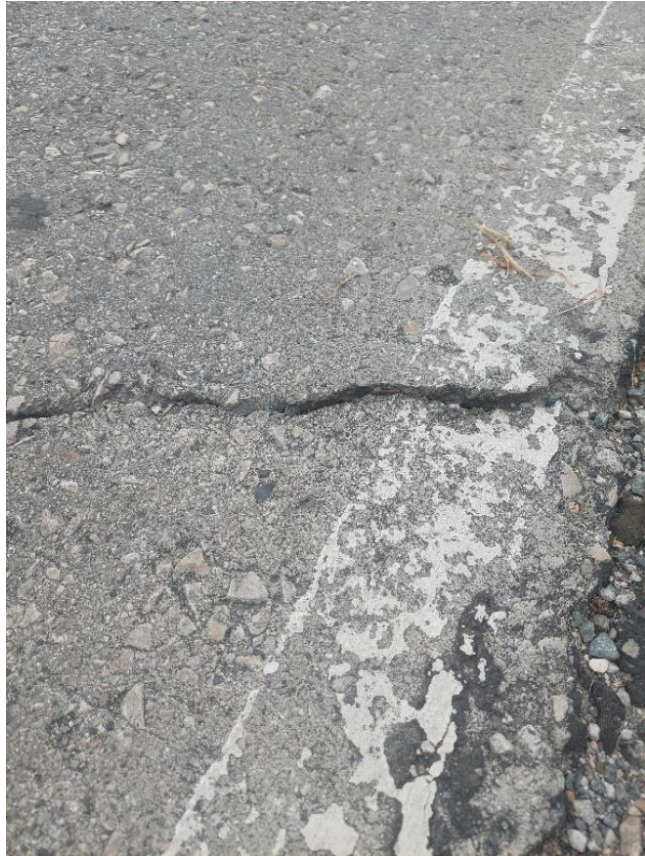
**Figura 3.22 Fisura transversal de severidad baja (abscisa 1+163)**

### 3.2.9 Levantamiento y Hundimiento y de Losa

Se encontró que hay un reducido número (0.55%) de losas afectadas por hundimiento localizado (Tabla 3.6) y no se encontró daños por levantamiento localizado. Además, 8 únicos daños encontrados son de severidad baja. Los hundimientos localizados se dieron siempre adyacentes a juntas sin un sello adecuado, lo que apunta, al igual que en otros tipos de daños, a que la principal causa sería el ingreso de agua y posterior pérdida de material de soporte de la losa. Este efecto se evidenció tanto en las juntas longitudinales entre la losa y el bordillo (Figuras 3.23 y 3.24), como en la intersección de juntas longitudinales y transversales, en la parte central de la calzada (Figura 3.25). La existencia de juntas longitudinales de ancho excesivo entre la losa y el bordillo en algunos tramos de la vía también provocaron el hundimiento de las losas al permitir el ingreso de agua, siendo un ejemplo claro y crítico la afectación en la abscisa 1+337 (Figuras 3.26 y 3.27), que generó un hundimiento y grietas de severidad alta que atraviesan a la losa en toda su longitud y espesor. Debido a que los hundimientos localizados en la losa que se encontraron demuestran que ya ha sido agrietada en todo su espesor, la solución a este tipo de daños sería una Sustitución total de losa (sección 2.6.1) que incluiría la reconformación de la capa de subbase.



**Figura 3.23 Hundimiento de losa 1 cm en junta con ancho anormal, carril de ingreso (Abscisa 0+856)**



**Figura 3.24 Imagen ampliada de Figura 3.13 (Abscisa 0+856)**



**Figura 3.25 Hundimiento de losas 1 cm (Abscisa 1+234)**



**Figura 3.26 Hundimiento de losa 1 cm, carril de salida (Abscisa 1+377)**



**Figura 3.27 Hundimiento de losa 1 cm, foto tomada con dron (Abscisa 1+377)**

Finalmente, se identificó que el más afectado de la carretera a nivel global es el no. 10 (absiccas 1+350 – 1+548) (Tabla 3.7), en el que casi la mitad (45.52%) de las losas posee algún tipo de deterioro. A este le sigue el tramo no. 9, con un 31% de losas afectadas. También se identificó que los daños más comunes en el pavimento pertenecen al grupo de Deterioro Superficial (11.85%), seguido de los daños de Fisuras y Grietas (8.82%), y en menor medida, los Daños en Juntas (4.82%).

Podemos concluir que los daños en la losa son consecuencia de posibles errores constructivos y de control de calidad del HCP, así como la falta de mantenimiento en juntas, que ha permitido el ingreso de agua, pérdida de material de soporte y el posterior agrietamiento de la losa.

### 3.3 Diseño de la solución

A continuación, se propone el cuadro resumen de técnicas de rehabilitación propuestas a los diferentes grupos de daños encontrados en la losa del pavimento HCP según su severidad (Tabla 3.10):

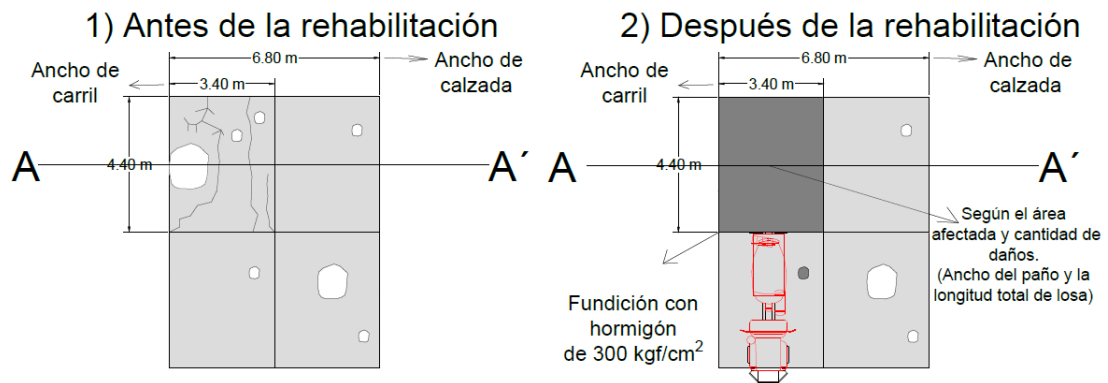
**Tabla 3.10 Técnicas de rehabilitación propuesta según el tipo de daño**

Grupo	Tipo de daño	Severidad	Técnica de Rehabilitación
<b>1. Deterioro Superficial</b>	Baches	Baja	Reparación con concreto epóxico (En casos puntuales de losas afectadas solo por unos cuantos daños superficiales localizados)
		Media	Sustitución parcial de losa (según el área afectada y cantidad de daños) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte del área a intervenir. Ancho total de losa y longitud de 220 cm.</li> <li>• Demolición del área a intervenir.</li> <li>• Reconformación de capa de soporte con Subbase Clase 2 (si fuera necesario).</li> <li>• Fundición de losa con hormigón premezclado de 300 kgf/ cm<sup>2</sup>.</li> </ul> Sellado de juntas.
		Alta	Sustitución total de losa (según el área afectada y cantidad de daños) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte y demolición total de losa.</li> <li>• Reconformación de capa de soporte con Subbase Clase 2 (si fuera necesario).</li> <li>• Fundición de losa con hormigón premezclado de 300 kgf/ cm<sup>2</sup>.</li> <li>• Sellado de juntas.</li> </ul>
	Desgaste por erosión	Alta	Sustitución parcial de losa (según el área afectada y cantidad de daños)
	Despostillamiento	Baja	
		Media	
Alta			

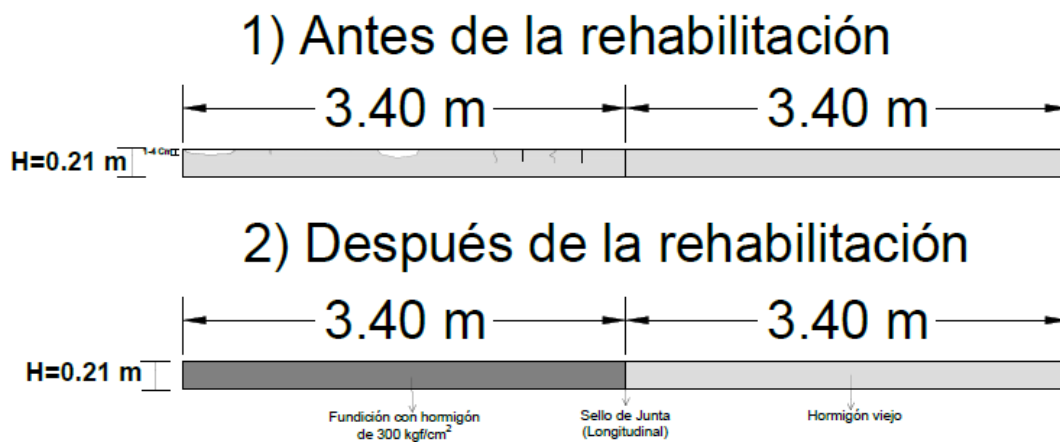
<b>2. Levantamiento y hundimiento de losa</b>	Hundimiento de losa	Baja		
		Media		
		Alta		
<b>3. Deficiencia de material de sello en juntas</b>	Deficiencia de material de sello en junta transversal	Baja	<b>Sellado de juntas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de junta</li> <li>• Sellado de juntas con sello asfáltico fluido, deformación admisible 20-30% y cordón de respaldo de polipropileno.</li> </ul>	
		Media		
		Alta		
	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	Baja		
		Media		
		Alta		
<b>4. Separación de losa y bordillo</b>			<b>Sellado de junta con perfil preformado de neopreno</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparación de vértices de junta con concreto epóxico de alta resistencia a la compresión (750 kgf/ cm<sup>2</sup>) (en caso de que exista despostillamientos en los bordes de la losa)</li> <li>• Limpieza de junta.</li> <li>• Aplicación de adherente epóxico (después de haber arreglado los bordes de la losa o directamente sobre los bordes existentes en buen estado)</li> <li>• Instalación de perfil preformado de neopreno, ancho 1-3 cm</li> </ul>	
<b>5. Fisuras y Grietas</b>	Fisura Transversal	Baja Ancho < 3 mm	<b>Sellado de fisuras y grieta (silicona de bajo módulo)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de fisura o grieta</li> <li>• Limpieza y lavado de fisura o grieta.</li> <li>• Sellado con silicona de bajo módulo.</li> </ul>	
	Fisura Longitudinal			
	Fisura de Esquina			
	Grieta Transversal	Media Ancho entre 3 y 10 mm		
		Alta Ancho > 10 mm		
	Grieta Longitudinal	Media Ancho entre 3 y 10 mm		<b>Sellado de fisuras y grieta con resina epóxica y concreto epóxico para baches o despostillamientos superficiales (si aplica)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza y lavado de fisura o grieta.</li> <li>• Sellado por gravedad con sello de resina epóxica de alta resistencia a la compresión (750 kgf/ cm<sup>2</sup>).</li> </ul>
		Alta Ancho > 10 mm		
	Grieta de Esquina	Media Ancho entre 3 y 10 mm		<b>Sellado de fisuras y grieta (silicona de bajo módulo)</b>
Alta Ancho > 10 mm		<b>Sellado de fisuras y grieta (resina epóxica)</b>		

A continuación, se provee los planos y especificaciones técnicas de los procedimientos de rehabilitación propuestos (sección 3.4).

Para la solución de Sustitución Total de Losa, se muestran los siguientes extractos del Plano 1 (Figura 3.28 a 3.29)



**Figura 3.28 Sustitución Total de Losa, vista en planta.**



**Figura 3.29 Sustitución Total de Losa, corte transversal A-A'.**

Para la solución de Sustitución Parcial de Losa, se muestran los siguientes extractos del Plano 2 (Figura 3.30 a 3.31)

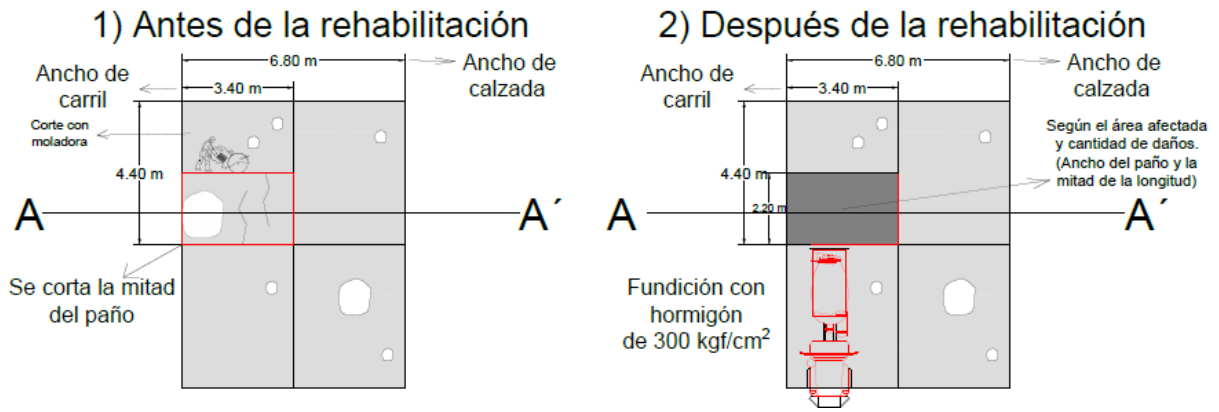


Figura 3.30 Sustitución Parcial de Losa, vista en planta.

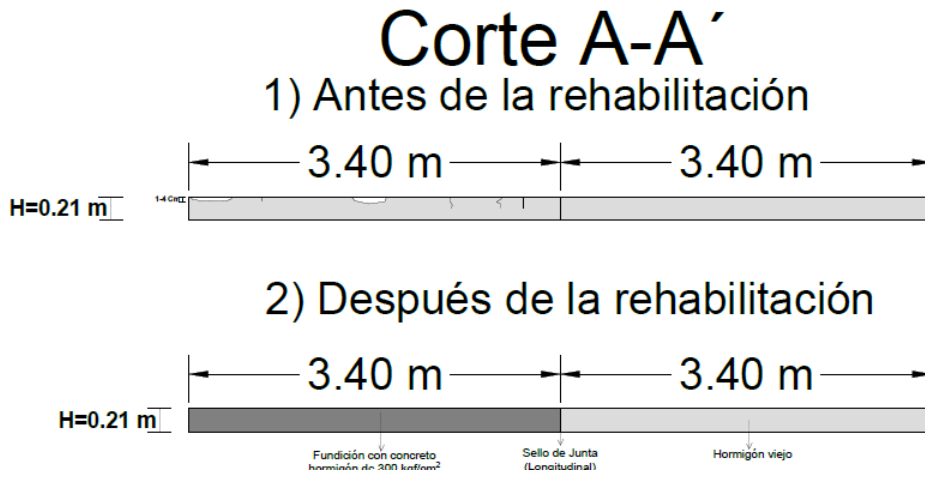


Figura 3.31 Sustitución Parcial de Losa, corte transversal.

Para la solución de Sellado de Junta, se muestran los siguientes extractos del Plano 3 (Figura 3.32 a 3.34)

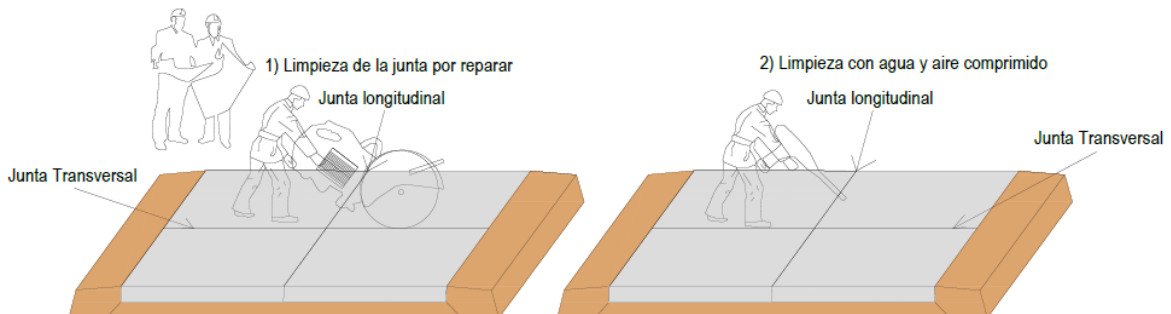
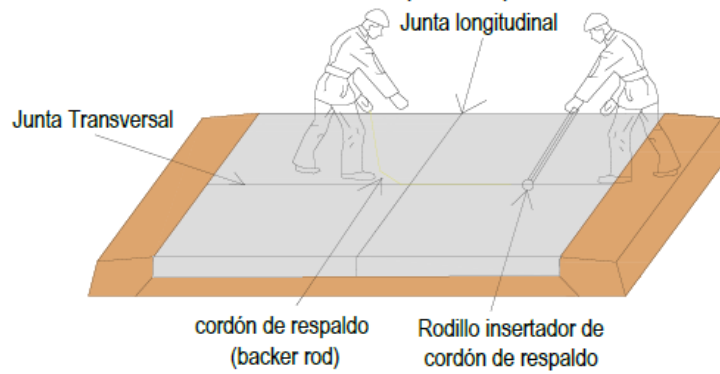
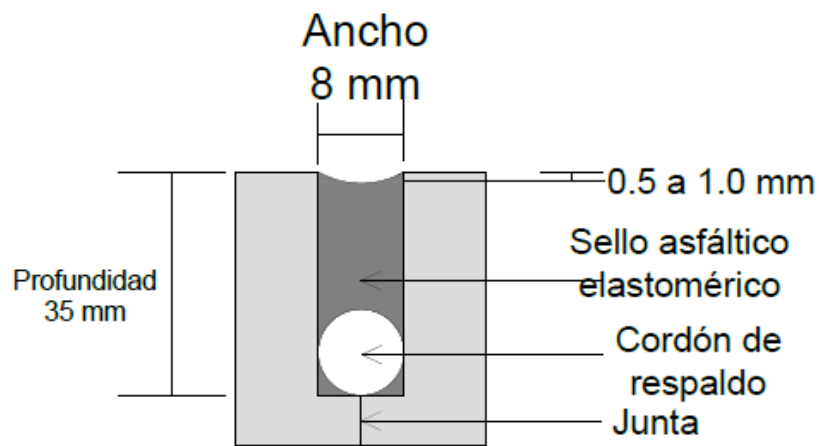


Figura 3.32 Sellado de Juntas, pasos 1 y 2.

3) Colocación del cordón de respaldo de polipropileno y aplicación de sello asfáltico elastomérico modificado con polímero aplicado en caliente



**Figura 3.33 Sellado de Juntas, paso 3.**



**Figura 3.34 Sellado de Juntas, corte transversal.**

Para la solución de Sellado de Fisuras y Grietas, se muestran los siguientes extractos del Plano 4 (Figura 3.35 a 3.39)

1) Ensanchamiento (Corte deberá tener un ancho de 6 mm y una profundidad de 25 mm) y pulido de fisura

Grieta y fisura    Grieta y fisura

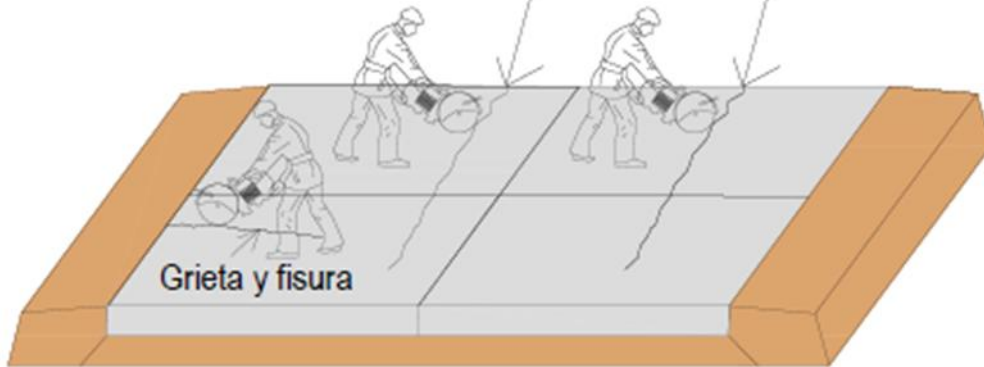


Figura 3.35 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 1.

2) Limpieza con agua y aire comprimido

Grieta y fisura    Grieta y fisura

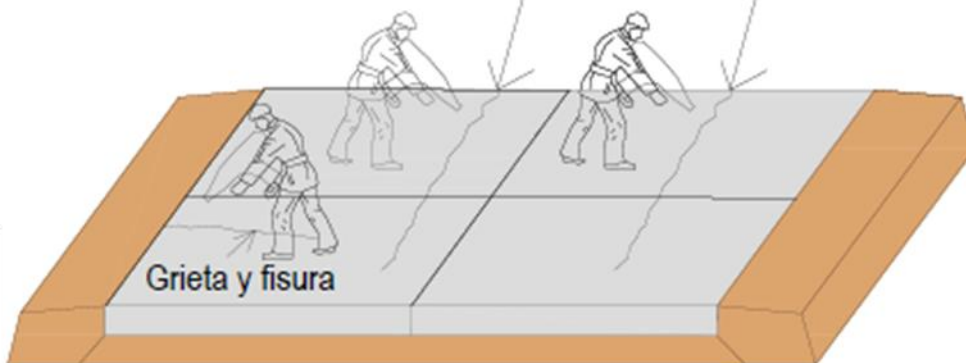
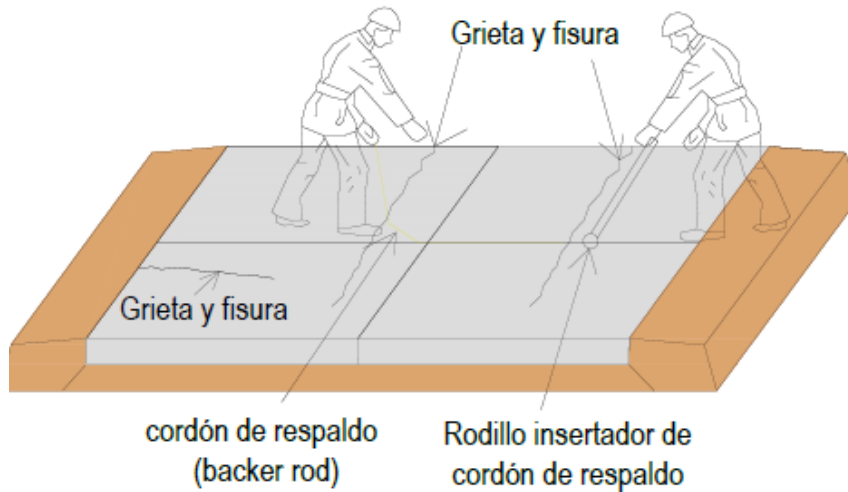
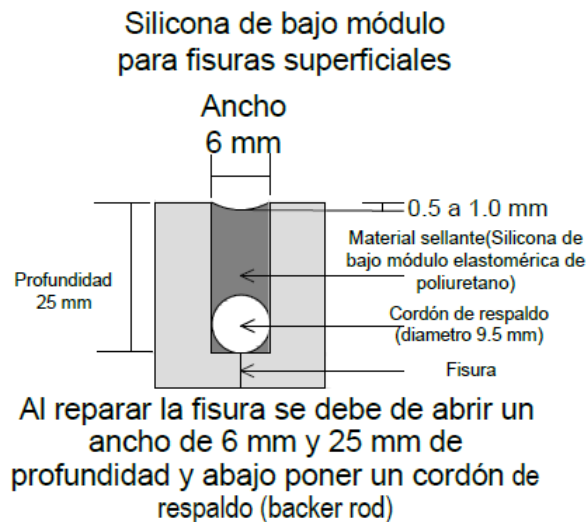


Figura 3.36 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 2.

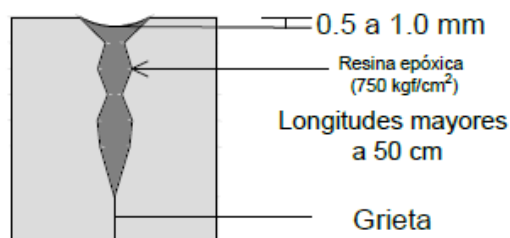
3) Colocación del cordón de respaldo de polipropileno  
 Para fisura de **severidad baja y media**: Aplicación de  
 silicona de bajo módulo elastomérica de poliuretano.  
 Para Grieta de **severidad Alta**: Aplicación sellado con resina epóxica



**Figura 3.37 Sellado de Fisuras y Grietas, paso 3.**

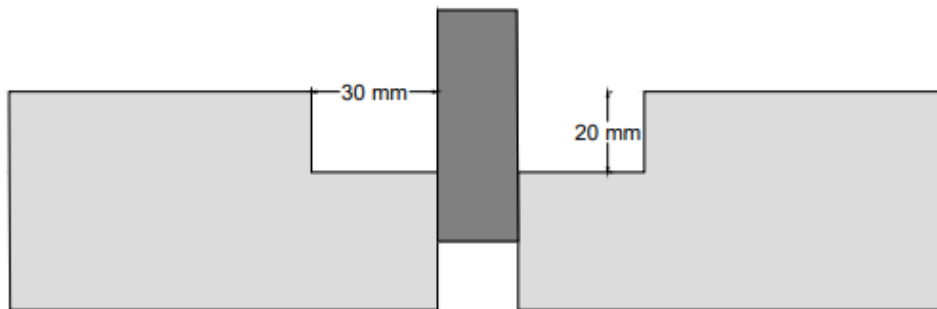


**Figura 3.38 Sellado de Fisuras y Grietas, Silicona de bajo módulo, corte transversal.**

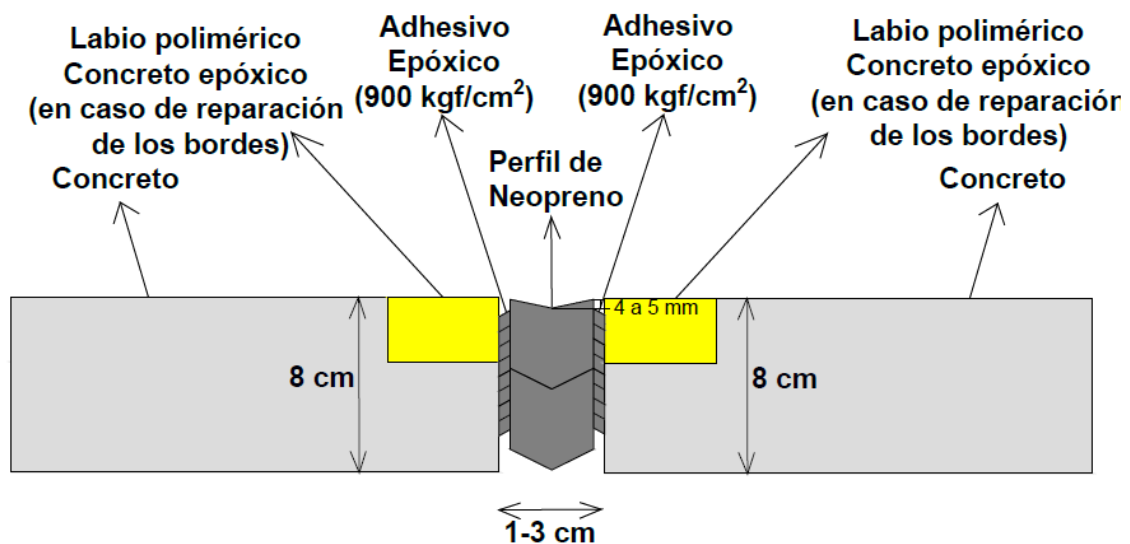


**Figura 3.39 Sellado de Fisuras y Grietas, Sellador de Resina Epóxica, corte transversal.**

Para la solución de Sellado de junta con perfil preformado de neopreno, se muestran el siguiente extracto del Plano 5 (Figura 3.40 a 3.41)



**Figura 3.40 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno, reparación de vértices.**



**Figura 3.41 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno, instalación del perfil.**

### 3.4 Especificaciones técnicas

A continuación, se detalla los materiales, equipos, herramientas y proceso constructivo de las técnicas de rehabilitación que se propondrá como parte de la solución. Se tomó como referencia técnica la Guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico (Universidad de Costa Rica, 2021) y se consideró las características particulares del pavimento a intervenir.

### **3.4.1 Sustitución total de losa**

Este proceso se aplicará para reparar daños profundos en la losa que afectan de manera generalizada la mayor parte de su área.

#### **Materiales:**

- Concreto hidráulico. Este deberá tener una resistencia a la compresión mayor o igual a la resistencia de diseño de la losa (se adopta valor de 300 kgf/cm<sup>2</sup>, sección 3.2.1). En caso de que se requiera una pronta apertura al tránsito, se deberá usar concreto de alta resistencia inicial.
- Material de subbase granular con las mismas características que la capa existente, se considera Subbase Clase 2.
- Productos químicos para el curado

#### **Equipos y herramientas:**

- Equipo de corte de pavimento rígido con disco de punta de diamante
- Martillo de demolición pesado
- Martillo neumático (máximo 7 kg)
- Retroexcavadora
- Volqueta
- Carretilla
- Camión mezclador de concreto
- Vibrador de concreto
- Pistola de aire comprimido
- Herramientas manuales
- Compactadora mecánica
- Productos químicos para el curado

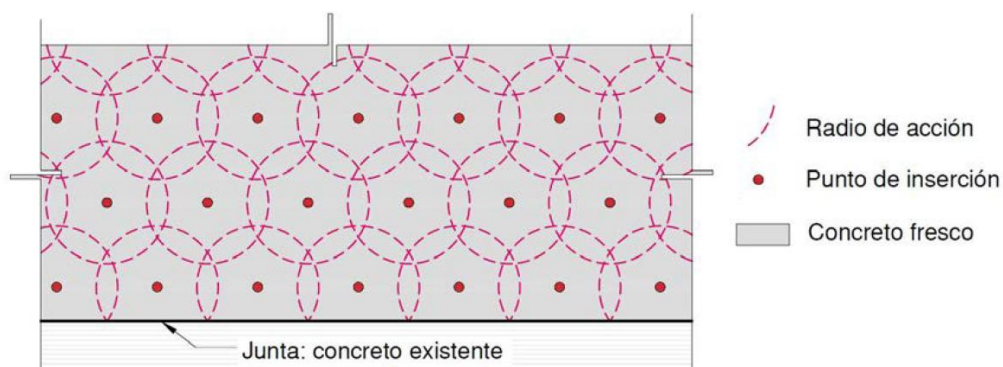
#### **Mano de obra:**

- 1 ingeniero constructor
- 1 maestro de obra
- 3 ayudantes de obra

#### **Proceso constructivo:**

1. Delimitación del área de trabajo. Se demarca el área de demolición, que tendrá las dimensiones de toda la losa. En el caso de la losa de estudio no se requiere detección de aceros ya que las juntas trabajan por trabazón de agregados y no tienen pasadores.

2. Demolición de hormigón afectado. Usando la cortadora de hormigón, se debe aserrar un perímetro 15 cm interior a la losa en todas sus dimensiones. Para el perímetro interior, se cortará todo el espesor de la losa. Luego se procederá a demoler el perímetro interior desde el centro con ayuda de un martillo pesado. Cerca del perímetro exterior (juntas de la losa) se deberá usar un martillo liviano para evitar dañar las losas adyacentes.
3. Limpieza. Se retiran los escombros de demolición con la ayuda de la retroexcavadora y carretilla. Se remueven pedazos sueltos con la pistola chorro de arena. Previo a la fundición se debe limpiar los bordes de la losa de sello antiguo y se deberá dejar un material incompresible para asegurar que se mantengan las juntas existentes.
4. Preparación de la superficie. En caso de que durante la demolición o retiro de escombros se vea afectado el material de soporte de la losa, se deberá reconformar las capas de base o subbase según corresponda. Estas capas deberán tener material con las mismas propiedades que las capas anteriores y su compactación no deberá ser menor al 97% de la densidad máxima según el Ensayo de Proctor Modificado.
5. Colocación del concreto. Se deberá ocupar un camión mezclador, que deberá llegar al sitio cuando todo esté listo para la fundición.
6. Vibración del material de relleno. Se ocupará vibradores pequeños de inmersión y herramientas manuales. La vibración se realizará por medio de inmersiones distribuidas uniformemente en la losa a una distancia no mayor de 50 cm entre sí (Figura 3.42).



**Figura 3.42 Vibrado del hormigón, Sustitución Total de Losa (Universidad de Costa Rica, 2021).**

7. Texturizado. La textura superficial deberá ajustarse a la textura de las losas existentes. En el caso de la losa de estudio no hay texturizado.
8. Curado. Inmediatamente después se debe iniciar con el curado, se recomienda el uso de membranas con base solvente con irrigador mecánico o manual con una razón de 1 L/m<sup>2</sup>, (1 mm de espesor).
9. Sellado de juntas. Seguir procedimiento de sellado de juntas (3.4.3).
10. Apertura al tránsito. El concreto deberá haber alcanzado una resistencia suficiente para su exposición al tráfico, que dependerá de las condiciones climáticas y el tipo de tránsito de la carretera. Para un espesor de losa de 20 cm, se recomienda no abrir al tráfico hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia a la compresión de 14.8 MPa (Instituto del Cemento Portland de Argentina, 2014). El tiempo de espera para la apertura al tránsito no deberá ser menor a 24 horas, incluso con mezclas de hormigón de alta resistencia inicial.

**Unidad y forma de pago:** La unidad es en m<sup>3</sup>. Se pagará lo medido en obra por el constructor con la aprobación del fiscalizador en \$ / m<sup>3</sup>.

### **3.4.2 Sustitución parcial de losa**

Este proceso se aplicará para reparar daños profundos en la losa que afectan solo una sección de su área.

#### **Materiales:**

- Concreto hidráulico. Este deberá tener una resistencia a la compresión mayor o igual a la resistencia de diseño de la losa (se adopta valor de 300 kgf/cm<sup>2</sup>, sección 3.2.1). En caso de que se requiera una pronta apertura al tránsito, se deberá usar concreto de alta resistencia inicial.
- Material de subbase granular con las mismas características que la capa existente, se considera Subbase Clase 2.
- Productos químicos para el curado

#### **Equipos y herramientas:**

- Equipo de corte de pavimento rígido con disco de punta de diamante
- Martillo de demolición pesado
- Martillo neumático (máximo 7 kg)

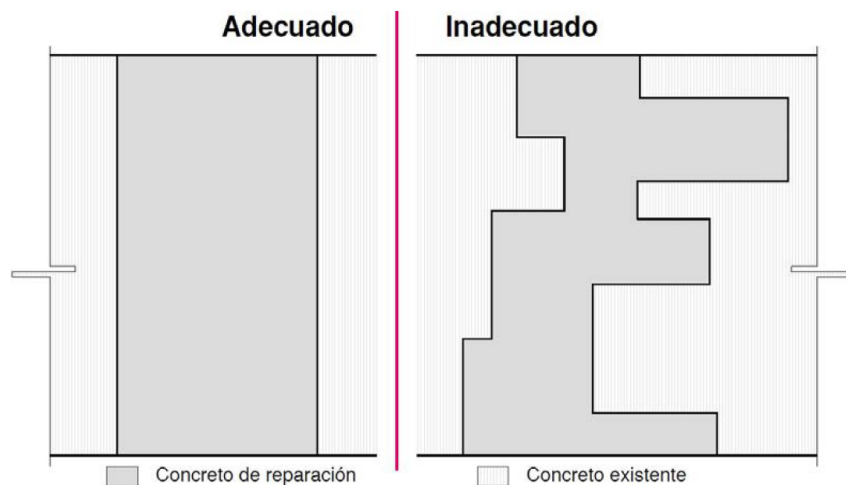
- Retroexcavadora
- Volqueta
- Carretilla
- Camión mezclador de concreto
- Vibrador de concreto
- Pistola de aire comprimido
- Herramientas manuales
- Compactadora mecánica
- Productos químicos para el curado

**Mano de obra:**

- 1 ingeniero constructor
- 1 maestro de obra
- 3 ayudantes de obra

**Proceso constructivo:**

1. Delimitación del área de trabajo. Se demarca el área de demolición, con el ancho de la losa a intervenir y una longitud mínima de 2.2 m. En el caso de la losa de estudio no se requiere detección de aceros ya que las juntas trabajan por trabazón de agregados y no tienen pasadores (Figura 3.43).



**Figura 3.43 Geometría de corte, Sustitución Parcial de Losa (Universidad de Costa Rica, 2021).**

2. Demolición de hormigón afectado. Usando la cortadora de hormigón, se cortará un perímetro 15 cm interior todas sus dimensiones. Para el perímetro interior, se cortará todo el espesor de la losa. Luego se procederá a demoler el perímetro interior desde el centro de la losa con

- ayuda de un martillo pesado. Cerca del perímetro exterior se deberá usar un martillo liviano para evitar dañar hormigón sano.
3. Limpieza de la superficie. Se retiran los escombros de demolición con la ayuda de la retroexcavadora y carretilla. Se remueven pedazos sueltos con la pistola chorro de arena. Previo a la fundición se debe limpiar los bordes de la losa de sello antiguo y se deberá dejar un material incompresible para asegurar que se mantengan las juntas existentes.
  4. Preparación de la superficie. En caso de que durante la demolición o retiro de escombros se vea afectado el material de soporte de la losa, se deberá reconformar las capas de base o subbase según corresponda. Estas capas deberán tener material con las mismas propiedades que las capas anteriores y su compactación no deberá ser menor al 97% de la densidad máxima según el Ensayo de Proctor Modificado.
  5. Colocación del concreto. Se deberá ocupar un camión mezclador, que deberá llegar al sitio cuando todo esté listo para la fundición.
  6. Vibración del material de relleno. Se ocupará vibradores pequeños de inmersión y herramientas manuales. La vibración se realizará por medio de inmersiones distribuidas uniformemente en la losa a una distancia no mayor de 50 cm entre sí.
  7. Texturizado. La textura superficial deberá ajustarse a la textura de las losas existentes. En el caso de la losa de estudio no hay texturizado.
  8. Curado. Inmediatamente después se debe iniciar con el curado, se recomienda el uso de membranas con base solvente con irrigador mecánico o manual con una razón de 1 L/m<sup>2</sup>, (1 mm de espesor).
  9. Sellado de juntas. Seguir procedimiento de sellado de juntas (3.4.3).
  10. Apertura al tránsito. El concreto deberá haber alcanzado una resistencia suficiente para su exposición al tráfico, que dependerá de las condiciones climáticas y el tipo de tránsito de la carretera. Para un espesor de losa de 20 cm, se recomienda no abrir al tráfico hasta que el hormigón haya alcanzado una resistencia a la compresión de 14.8 MPa (Instituto del Cemento Portland de Argentina, 2014). El tiempo de espera para la apertura al tránsito no deberá ser menor a 24 horas, incluso con mezclas de hormigón de alta resistencia inicial.

**Unidad y forma de pago:** La unidad es en m<sup>3</sup>.

Se pagará lo medido en obra por el constructor con la aprobación del fiscalizador en \$ / m<sup>3</sup>.

### **3.4.3 Sellado de juntas**

Aplicación de sello fluido en juntas longitudinales y transversales. La unidad de pago de los trabajos será m.

#### **Materiales:**

- Sellador asfáltico elastomérico modificado con polímero aplicado en caliente (deformación admisible entre 10 y 20%), tiempo de vida útil de 3 a 5 años con mantenimiento anual.
- Cordón de respaldo de polipropileno Ø 5/16"

#### **Equipos y herramientas:**

- Amoladora manual, con disco de corte de diamante 4" o 7".
- Pistola de aire comprimido con presión mínima de 120 psi
- Equipo de aplicación de sellante en caliente y fuente de combustión
- Cepillo de acero y escoba
- Herramientas manuales
- Rueda para aplicación de cordón de respaldo

#### **Mano de obra:**

- 1 ingeniero constructor
- 1 maestro de obra
- 3 obreros

#### **Proceso constructivo:**

1. Limpieza. Se realiza de manera cuidadosa, removiendo todo el material sellante antiguo y cualquier otro objeto o material extraño de la junta. Se debe usar la amoladora manual de manera que no afecte las paredes de las losas. Se desaconseja el uso de herramientas de impacto que puedan afectar la integridad del concreto. La limpieza se complementará con el paso de un cepillo de acero y luego aplicación de aire comprimido. Tras la limpieza, se debe inspeccionar que los alrededores de la junta estén libres de impurezas, agrietamientos y humedad que pueda perjudicar la adherencia con el material sellante.

2. Aplicación de cordón de respaldo. Primero se aplicará un cordón de respaldo para que el material sellante se mantenga en su lugar hasta su adherencia completa, este tendrá un 25% más de ancho que la abertura de la junta e ingresará a presión. Para su instalación puede usar una rueda, de manera que quede suficiente profundidad para que entre el cordón y el material de sello.
3. Se aplicará el material sellante en caliente según las indicaciones del fabricante dejando 5 mm por encima de su superficie para evitar su remoción por el desgaste del tránsito y se echará arena encima del sello para evitar su adherencia con las llantas de los autos.

#### **3.4.4 Sellado de junta con perfil preformado de neopreno**

Aplicación de sello de perfil de neopreno en juntas longitudinales. La unidad de pago de los trabajos será m.

##### **Materiales:**

- Perfil preformado de neopreno del tamaño de la junta. Este perfil trabajará a compresión durante toda su vida útil (15 a 20 años), entre un 20-50% de ancho original. Se debe escoger el ancho correcto en función a la junta.
- Adherente epóxico

##### **Equipos y herramientas:**

- Espátula
- Pistola de aire comprimido con presión mínima de 120 psi

##### **Mano de obra:**

- 1 ingeniero constructor
- 1 maestro de obra
- 3 obreros

##### **Proceso constructivo:**

1. Primero se debe asegurar que la superficie de las caras de las losas esté limpia y seca, y retirar cualquier material extraño que pueda perjudicar la adherencia con el perfil preformado. Para esto se puede usar una pistola de aire comprimido. Si las superficies laterales han sufrido despostillamiento, se deberá realizar la reparación previamente. Para este fin, se puede realizar una reparación de sus vértices con mortero epóxico

introduciendo un objeto incompresible para dejar espacio para la junta, como se muestra a continuación (Figuras 3.22 y 3.23):

2. Se aplica el adhesivo epóxico sobre los lados del perfil de neopreno siguiendo las indicaciones del fabricante. Se deberá realizar pruebas previas para asegurar el uso de la cantidad adecuada.
3. Se instala el perfil dentro de la junta siguiendo las indicaciones del fabricante. El perfil debe quedar 5 mm por debajo del nivel de la losa para evitar su desgaste por la erosión del tránsito.
4. Se retira el exceso de adhesivo con la espátula. Se debe esperar al menos 24 horas (o el tiempo indicado por el fabricante) para el curado del adhesivo antes de su apertura al tráfico.

### 3.4.5 Sellado fisuras y grietas

Aplicación de sello fluido en fisuras y grietas. La unidad de pago de los trabajos será m.

#### Materiales:

- Material sellante de aplicación en frío (Tabla 3.11)
- Cordón de respaldo sello de silicona

**Tabla 3.11 Material sellante según su aplicación**

Tipo de daño	Tipo de material sellante	Tiempo de vida útil
Fisuras y Grietas	Silicona elastomérica de poliuretano de curado químico y aplicación en frío (deformación admisible de 35%)	8 a 10 años, mantenimiento bianual
Grietas longitudinales L ≥ 50 cm	Sellador epóxico de baja viscosidad, alto módulo y alta resistencia a la compresión (750 kgf/ cm <sup>2</sup> )	8 a 10 años, mantenimiento bianual

#### Equipos y herramientas:

- Amoladora manual, con disco de corte de diamante 4" o 7".
- Pistola de aire comprimido con presión mínima de 120 psi
- Equipo para aplicación de material sellante en frío
- Cepillo de acero y escoba
- Herramientas manuales

**Mano de obra:**

- 1 ingeniero constructor
- 1 maestro de obra
- 3 obreros

**Proceso constructivo:**

1. Limpieza. Se realiza de manera cuidadosa, removiendo cualquier objeto o material extraño de la fisura o grietas. La limpieza se complementará con el paso de un cepillo de acero y aplicación de aire comprimido. Tras la limpieza, se debe inspeccionar que los alrededores de fisura o grieta estén libres de impurezas, agrietamientos y humedad que pueda perjudicar la adherencia del material sellante.
2. Preparación de la fisura o grieta. En caso de que el material sellante sea de silicona, antes de su aplicación de debe cortar los bordes de la fisura o grieta con una amoladora manual para asegurar tener una superficie regular que pueda alojar el sello y un cordón de respaldo. El corte deberá tener un ancho de 6mm y una profundidad de 25mm. El espesor del material de sello será de 6 mm y el diámetro del cordón de respaldo será de  $\varnothing 3/8$ ". Si es material sellante es un sellador epóxico no se realiza corte en los bordes ni instalación de cordón de respaldo.
3. Aplicación del material de sello. Con una pistola de aplicación de silicona de introduce el sello en la grieta sobre el cordón de respaldo. En el caso de usar un sellante epóxico, la aplicación se realizará con jeringas y se permitirá que el sello llene por completo la fisura o grieta por acción de la gravedad. En ambos casos, se deberá dejar 5mm encima de la superficie del sello para evitar su remoción acelerada por el desgaste del tránsito.
4. Apertura al tráfico. Se deberá esperar el tiempo recomendado por el fabricante del sello para permitir el tráfico. En el caso del sellador epóxico, es fundamental esperar el tiempo de curado de sello para obtener un rendimiento óptimo.

### 3.4.6 Análisis de precios unitarios y Presupuesto

Para esa sección se desarrolló un presupuesto referencial para cada solución de rehabilitación, que se presentan en las Tablas 3.12 a 3.16.

Se observa que la solución más costosa es la sustitución parcial de losa (Tabla 3.12) (\$125,694.34) debido a la cantidad de losas que requieren esta intervención, seguida del sellado de junta longitudinal con junta preformada de neopreno (Tabla 3.15) (\$45,308.01) ya que la separación losa-bordillo es una condición generalizada a lo largo del pavimento. La solución menos costosa es el sellado de juntas (Tabla 3.14) (\$2,556.81). No obstante, se recomienda aplicar esta solución luego de haber aplicado las demás para evitar el deterioro del material de sello durante los trabajos en las otras técnicas de rehabilitación.

**Tabla 3.12 Presupuesto referencial. Sustitución de total de losa.**

PRESUPUESTO DE OBRA		1. SUSTITUCIÓN TOTAL DE LOSA			
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		REHABILITACIÓN DE LOSA DE HORMIGÓN HCP DEL PAVIMENTO RÍGIDO DESDE LA ENTRADA PRINCIPAL DE LA ESPOL HASTA LA UNIÓN CON EL INTERCAMBIADOR DE LA PROSPERINA (L=1.5 KM)			
FECHA: DD/MM/AAAA		9/11/2025			
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>REMOCIÓN DE HORMIGÓN AFECTADO</b>				
1.01	Corte longitudinal en pavimento rígido	m	345.00	\$2.53	\$872.99
1.02	Rotura mecánica de pavimento rígido (Inc. desalojo)	m3	72.26	\$70.55	\$5,097.75
<b>2</b>	<b>RECONFORMACIÓN DE CAPA DE SOPORTE</b>				
2.01	Subbase (e = 15 cm)	m3	10.32	\$38.48	\$397.21
<b>3</b>	<b>FUNDICIÓN DE LOSA</b>				
3.01	Hormigón premezclado fc' = 300 kg/cm <sup>2</sup>	m3	72.26	\$175.29	\$12,665.69
<b>4</b>	<b>JUNTAS</b>				
4.01	Limpieza de junta	m	358.80	\$2.10	\$751.95
4.02	Sellado asfáltico de junta	m	358.80	\$6.73	\$2,414.72
<b>TOTAL sin IVA</b>					<b>\$31,858.98</b>

**Tabla 3.13 Presupuesto referencial. Sustitución de parcial de losa.**

PRESUPUESTO DE OBRA		2. SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LOSA			
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		REHABILITACIÓN DE LOSA DE HORMIGÓN HCP DEL PAVIMENTO RÍGIDO DESDE LA ENTRADA PRINCIPAL DE LA ESPOL HASTA LA UNIÓN CON EL INTERCAMBIADOR DE LA PROSPERINA (L=1.5 KM)			
FECHA: DD/MM/AAAA		9/11/2025			
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>REMOCIÓN DE HORMIGÓN AFECTADO</b>				
1.01	Corte longitudinal en pavimento rígido	m	1666.00	\$2.53	\$4,215.68
1.02	Rotura mecánica de pavimento rígido (Inc. desalojo)	m3	384.85	\$70.55	\$27,151.04
<b>2</b>	<b>FUNDICIÓN DE LOSA</b>				
2.01	Preparación de superficie con ligante epóxico (Inc. limpieza)	m2	157.97	\$16.78	\$2,651.24
2.02	Hormigón premezclado $f'c = 300$ kgf/cm <sup>2</sup>	m3	384.85	\$175.29	\$67,458.58
<b>3</b>	<b>JUNTAS</b>				
3.01	Limpieza de junta	m	2744.00	\$2.10	\$5,750.68
3.02	Sellado asfáltico de junta	m	2744.00	\$6.73	\$18,467.12
<b>TOTAL sin IVA</b>					<b>\$125,694.34</b>

**Tabla 3.14 Presupuesto referencial. Sellado de juntas.**

PRESUPUESTO DE OBRA		3. SELLADO DE JUNTAS			
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		REHABILITACIÓN DE LOSA DE HORMIGÓN HCP DEL PAVIMENTO RÍGIDO DESDE LA ENTRADA PRINCIPAL DE LA ESPOL HASTA LA UNIÓN CON EL INTERCAMBIADOR DE LA PROSPERINA (L=1.5 KM)			
FECHA: DD/MM/AAAA		9/11/2025			
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>JUNTAS</b>				
1.01	Limpieza de junta	m	289.70	\$2.10	\$607.13
1.02	Sellado asfáltico de junta	m	289.70	\$6.73	\$1,949.68
<b>TOTAL sin IVA</b>					<b>\$2,556.81</b>

**Tabla 3.15 Presupuesto referencial. Sellado de junta con perfil preformado de neopreno.**

PRESUPUESTO DE OBRA		5. SELLADO CON PERFIL PREFORMADO DE NEOPRENO			
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		REHABILITACIÓN DE LOSA DE HORMIGÓN HCP DEL PAVIMENTO RÍGIDO DESDE LA ENTRADA PRINCIPAL DE LA ESPOL HASTA LA UNIÓN CON EL INTERCAMBIADOR DE LA PROSPERINA (L=1.5 KM)			
FECHA: DD/MM/AAAA		9/11/2025			
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>JUNTAS</b>				
1.01	Limpieza de junta	m	m	2000	\$2.10
1.02	Sellado de junta con perfil preformado de neopreno	m	m	2000	\$20.56
<b>TOTAL sin IVA</b>					<b>\$45,308.01</b>

**Tabla 3.16 Presupuesto referencial. Sellado de fisuras y grietas**

PRESUPUESTO DE OBRA		4. SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS			
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN		REHABILITACIÓN DE LOSA DE HORMIGÓN HCP DEL PAVIMENTO RÍGIDO DESDE LA ENTRADA PRINCIPAL DE LA ESPOL HASTA LA UNIÓN CON EL INTERCAMBIADOR DE LA PROSPERINA (L=1.5 KM)			
FECHA: DD/MM/AAAA		9/11/2025			
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS UNITARIOS	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>FISURAS Y GRIETAS</b>				
1.01	Limpieza de fisura/grieta (Inc. Corte de bordes)	m	339.53	\$2.04	\$692.13
1.02	Sellado de fisuras y grietas de severidad baja y media con silicona de bajo módulo	m	306.75	\$4.91	\$1,505.70
1.03	Sellado grietas longitudinales de severidad alta con resina epóxica	m	32.78	\$22.92	\$751.18
<b>TOTAL sin IVA</b>					<b>\$2,949.01</b>

Por lo tanto, el monto referencial de presupuesto de las soluciones sería de \$208,367.15.

# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se evaluó el estado de la losa de pavimento rígido de HCP con una longitud de 1488 m. Se identificó errores constructivos y aparentes deficiencias en la fiscalización que permitieron dimensiones irregulares de los paños con ancho entre 3.20 y 3.50 m y longitud entre 4.10 y 4.85 m, espesor irregular de la losa entre 19 y 26 cm, oquedades que perjudican la resistencia del hormigón (hasta los 83 kgf/cm<sup>2</sup> en un espécimen extraído en el tramo no. 10) y anchos de junta excesivos entre la losa y el bordillo cuneta de entre 1 y 3 cm, que favorecen el ingreso de agua y el posterior agrietamiento por proceso de bombeo.
- Por medio de una inspección visual y ensayos destructivos y no destructivos se identificó que el tramo más afectado del pavimento es al final de la vía (entre las abscisas 1+350 y 1+488) con un 45.52% de losas afectadas por algún tipo de daño. Los daños predominantes en la losa son de deterioro superficial y se evidenció la presencia de fisuras y grietas tanto superficiales como profundas y procesos de mantenimiento deficiente en el sello de juntas longitudinales y transversales que favorece la evolución de los daños.
- Como solución a los daños superficiales y hundimientos localizados se propone la sustitución parcial o total de la losa según su área de afectación y severidad.
- Se calculó un presupuesto referencial de rehabilitación total de \$208,367.15 y se presentó planos y especificaciones técnicas de las soluciones.

## 4.2 Recomendaciones

Para la óptima ejecución de las soluciones propuestas se recomienda:

- La realización de más ensayos de extracción de núcleos de hormigón con autorización de Gerencia Administrativa ESPOL para evaluar la resistencia del hormigón y espesor de la losa HCP a lo largo de la vía.
- La ejecución de más ensayos de ultrasonido y georradar (GPR) en la losa de hormigón para establecer con mayor precisión la profundidad de fisuras y grietas existentes en la losa de pavimento rígido.
- La rehabilitación urgente de la losa HCP, para evitar la evolución de los daños existentes y en su ejecución en período de vacaciones estudiantiles, en el que existe un menor tránsito.
- Mejorar el proceso de mantenimiento de juntas asfálticas y reparaciones que involucran cortes en la losa del pavimento, siguiendo los procedimientos técnicos adecuados.
- Sería fácil cubrir con carpeta asfáltica todo el pavimento en los dos sentidos con un costo manejable. Pero en ese caso todos problemas analizados en este proyecto de tesis reflejarían en esta superficie flexible y se formarían nuevamente baches, fisuras, grietas y demás daños, perdiéndose la inversión. Por lo tanto, primero se debe arreglar técnicamente los problemas de daños analizados en este proyecto y aprovechar el agarre por rugosidad que tiene un pavimento rígido, en este caso, losa de HCP. Quedando a libertad de las autoridades aplicar luego una capa moderada de hormigón asfáltico.

# BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2009). *Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete (ASTM C42)*.
- Asociación de Productores de Cemento. (2014). *Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos*.
- Asociación Argentina de Carreteras. (2021). *Diseño y construcción de juntas en pavimentos de hormigón*.
- American Society for Testing and Materials. (2019). ASTM C805/C805M-18: *Standard test method for rebound number of hardened concrete*.  
[https://www.astm.org/c0805\\_c0805m-18.html](https://www.astm.org/c0805_c0805m-18.html)
- Batouli, M., Bienvenu, M., & Mostafavi, A. (2017). Putting sustainability theory into roadway design practice: Implementation of LCA and LCCA analysis for pavement type selection in real world decision making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 289–302.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.018>
- Beskou, N. D., & Muho, E. V. (2023). Review on dynamic response of road pavements to moving vehicle loads; part 2: Flexible pavements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 175, 108248.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108248>
- De Solminihac, H., Bustos, M. G., Altamira, A. L., & Covarrubias, J. P. (2003). Functional distress modelling in Portland cement concrete pavements. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(4), 696–703.  
<https://doi.org/10.1139/I03-016>
- Escuela Superior Politécnica del Litoral. (2022, diciembre). *Memoria de Sostenibilidad 2022*.  
<https://sostenibilidad.espol.edu.ec/sites/default/files/reportes/MemoriaSostenibilidad2022.pdf>
- Instituto del Cemento Portland Argentino (2014). *Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón*. Buenos Aires, Argentina: Autor.
- Instituto Nacional de Vías. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Transporte.

<https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-internacional-del-tropico-americano/ingenieria-de-transito/estudio-e-investigacion-del-estado-actual-de-las-obras-de-la-red-nacional-de-carreteras-02/83179687>

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Resolución A/RES/70/1). <https://sdgs.un.org/es/2030agenda>
- Raja, M., Sarma, C., Dwivedi, S., & Vidyarthi, U. (2023). Estimation of Surface Open Crack Depth in Concrete Structure using Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Technique. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 9(03). <https://doi.org/10.46501/IJMTST0903022>
- Ministerio de Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12)*.
- Sánchez, C., & Tarranza, N. (2014). *Reliability of rebound hammer test in concrete compressive strength estimation*. *Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg*, 1(2). <http://dx.doi.org/10.15242/IJAAEE.C1114040>
- Stöckner, M., Buttgerit, A., & Stöckner, U. (2025). *Asset Management of Municipal Road Infrastructure* (pp. 228–240). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-84224-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-84224-5_18)
- Universidad de Costa Rica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR. (2021). *Guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico*. (1.ª ed.). Universidad de Costa Rica, LanammeUCR.
- Valdés, G., & Valdés, R. (2002). *Comportamiento de los pavimentos de adoquines de hormigón. Ponencia presentada en el XI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Buenos Aires, Argentina*.
- Vallejo Calle P., Gárces Vargas J., & Sánchez Baquerizo, C. (1998). *Diseño de la vía ESPOL – Prosperina [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra]*. DSpace ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/61990>
- Vásquez, C., & Garnica, A. (2010). *Proceso constructivo de una capa de rodadura con hormigón compactado con pavimentadora (HCP): Caso práctico de construcción de 3.273,30 m<sup>2</sup> de pavimento rígido en la ciudad*

*Satélite Los Ángeles, km 22 vía a la costa, Guayaquil, Ecuador [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)]. DSpace ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14626/1/T-68514> VASQUEZ - GARNICA.pdf*

Vásquez, L. (2002). *Pavement condition index (PCI)*. <https://snavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>

Velasco, O., & Eguez, H. (2009). *Propiedades mecánicas de un diseño de hormigón compactado con pavimentadora y fast track trabajando en conjunto* [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)]. DSpace ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/142>

Walker, M. (1985). *The economics of pavement type selection*. [Informe técnico]. Transportation Research Board. <https://trid.trb.org/view/716121>

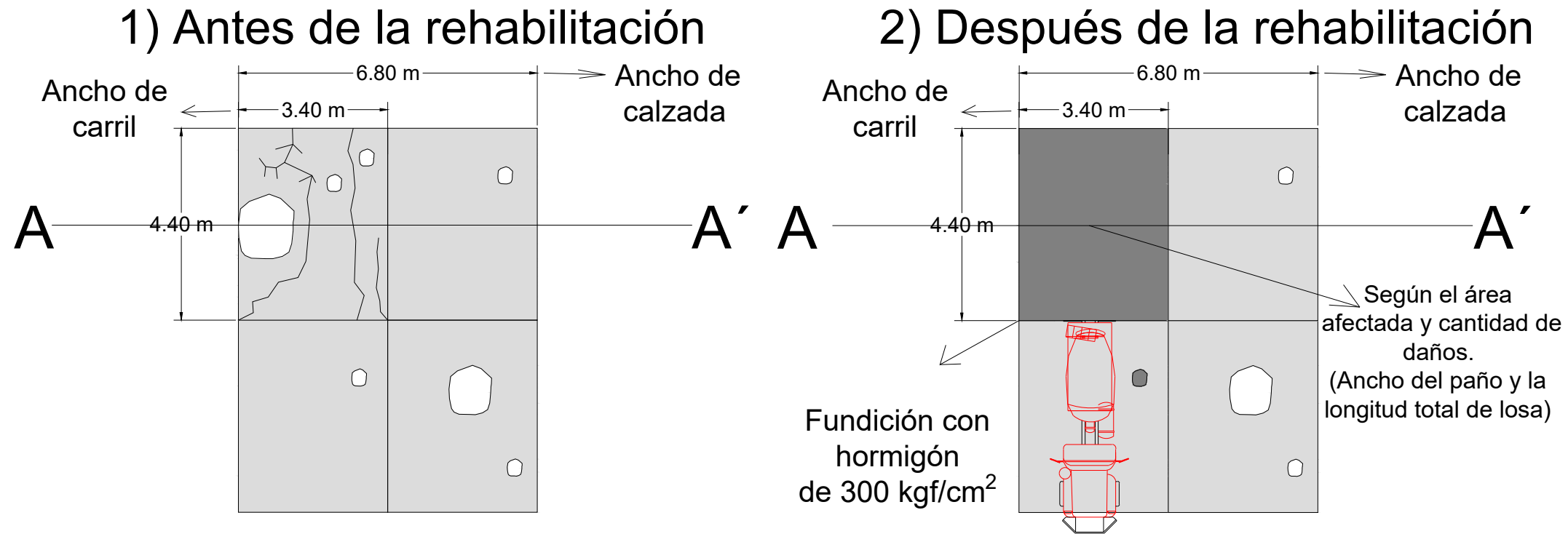
Zambrano Mendoza, T., & Basantes Espinoza, C. (2013). *Análisis y soluciones propuestas a las deformaciones de la losa de hormigón compactado con pavimentadora (HCP) de pavimento rígido. Caso de estudio: vía principal del campus Gustavo Galindo Velasco de la Escuela Superior Politécnica del Litoral* [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)]. DSpace ESPOL. <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32517>

# **PLANOS Y ANEXOS**

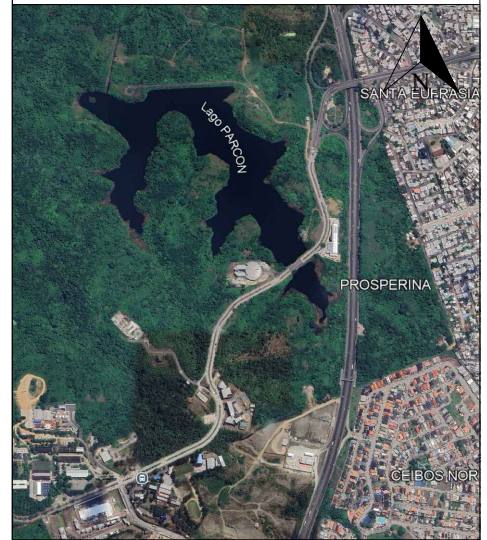
**PLANO 1**  
**SUSTITUCIÓN TOTAL DE LOSA**

# Plano 1

## Vista en planta



### UBICACIÓN REFERENCIAL

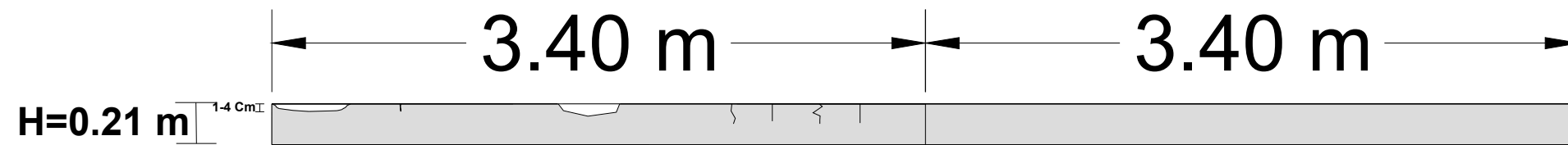


espol

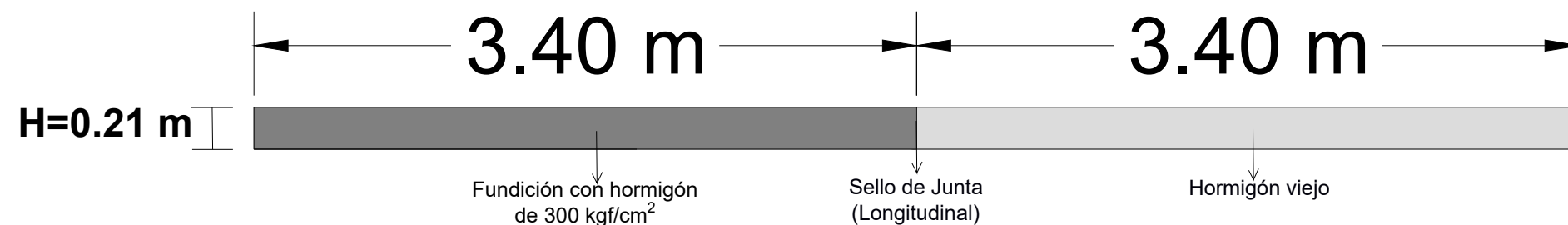
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

# Corte A-A'

## 1) Antes de la rehabilitación



## 2) Después de la rehabilitación



### PROYECTO:

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

### CONTENIDO:

- 1) Sustitución total de losa

### ESTUDIANTES:

Ing. Jhon Franco Montalvo  
Ing. Brayan Pinto Ponce

### TUTOR:

PhD. Eduardo Santos Baquerizo

FECHA DE ELABORACIÓN:

NOVIEMBRE 2025

FECHA DE ENTREGA:

NOVIEMBRE 2025

N° DE LAMINA:

1/5

ESCALA:

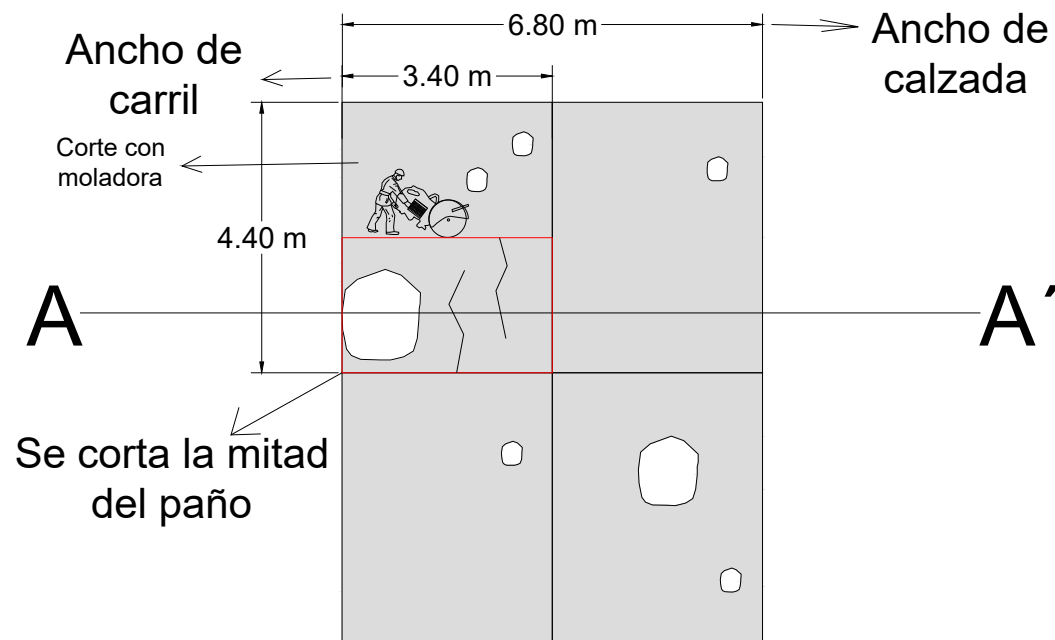
1/40

**PLANO 2**  
**SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LOSA**

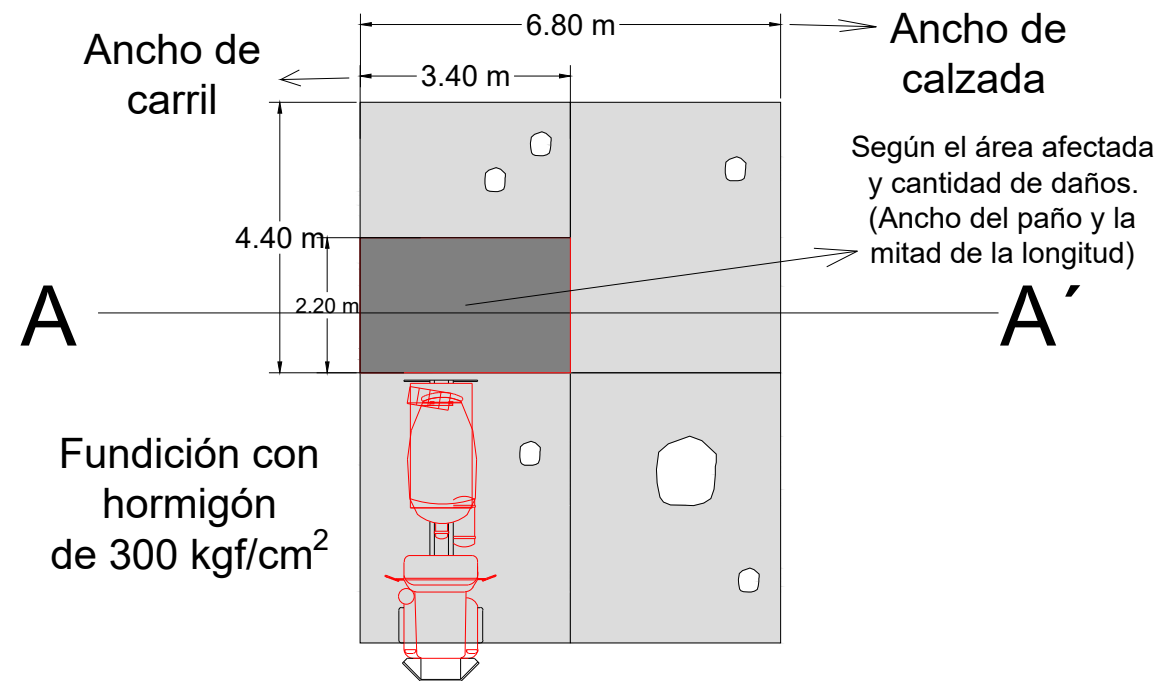
# Plano 2

## Vista en planta

### 1) Antes de la rehabilitación



### 2) Después de la rehabilitación



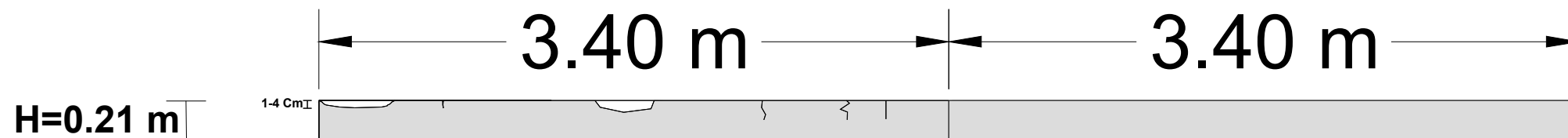
#### UBICACIÓN REFERENCIAL



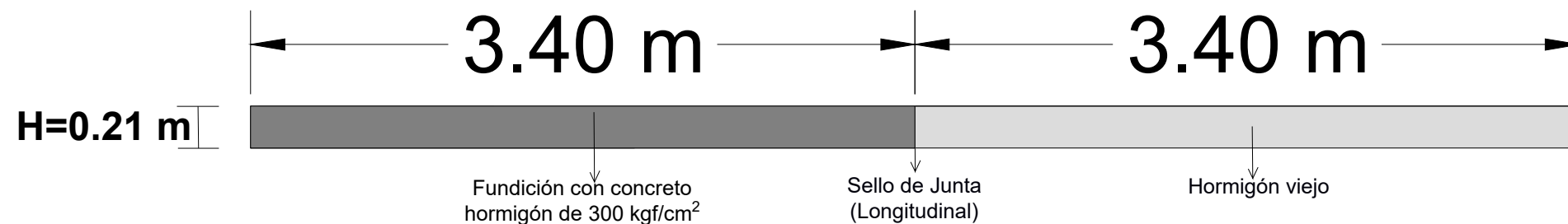
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

## Corte A-A'

### 1) Antes de la rehabilitación



### 2) Después de la rehabilitación



#### PROYECTO:

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

#### CONTENIDO:

2) Sustitución parcial de losa

#### ESTUDIANTES:

Ing. Jhon Franco Montalvo  
Ing. Brayan Pinto Ponce

#### TUTOR:

PhD. Eduardo Santos Baquerizo

#### FECHA DE ELABORACIÓN:

NOVIEMBRE 2025

#### FECHA DE ENTREGA:

NOVIEMBRE 2025

#### N° DE LAMINA:

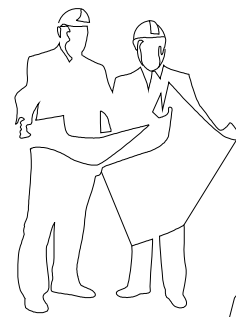
2/5

#### ESCALA:

1/40

**PLANO 3**  
**SELLADO DE JUNTA**

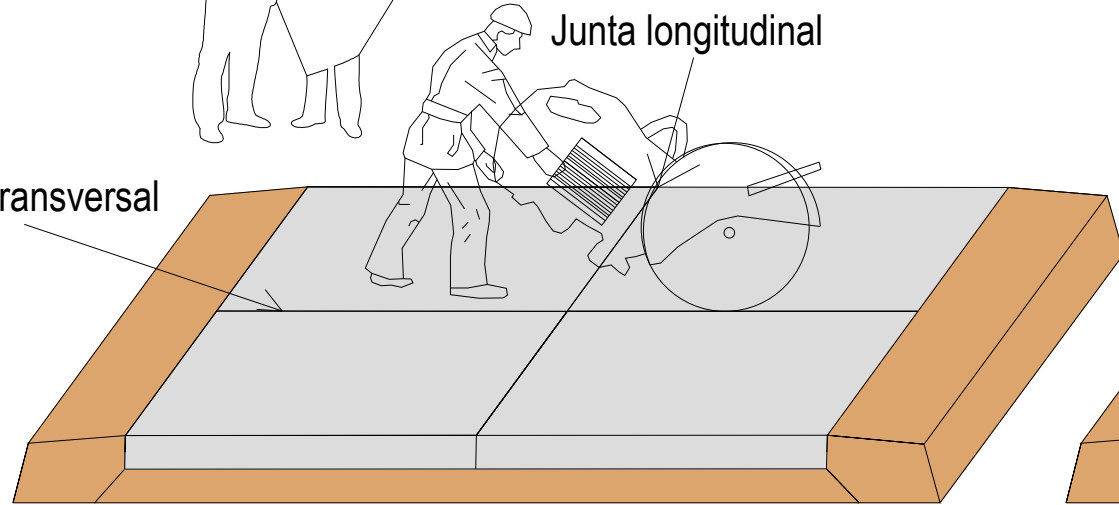
# Plano 3



1) Limpieza de la junta por reparar

Junta longitudinal

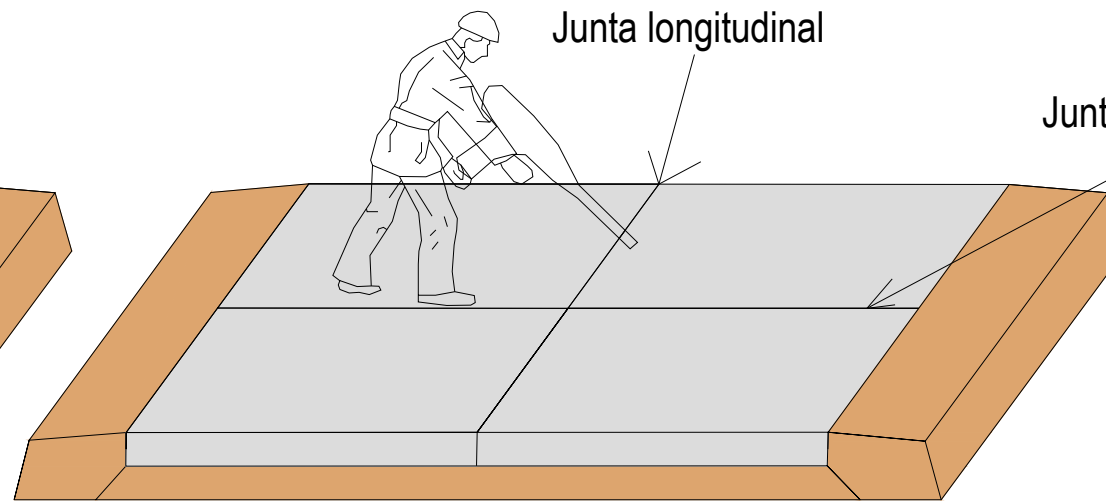
Junta Transversal



2) Limpieza con agua y aire comprimido

Junta longitudinal

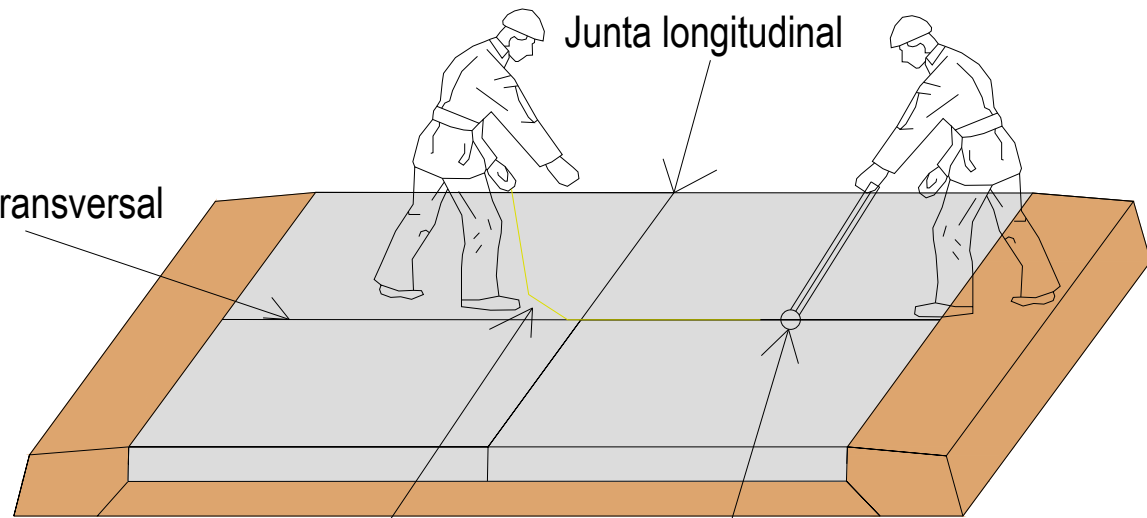
Junta Transversal



3) Colocación del cordón de respaldo de polipropileno y aplicación de sello asfáltico elastomérico modificado con polímero aplicado en caliente

Junta longitudinal

Junta Transversal



cordón de respaldo  
(backer rod)

Rodillo insertador de  
cordón de respaldo

4) Detalle del relleno en la junta

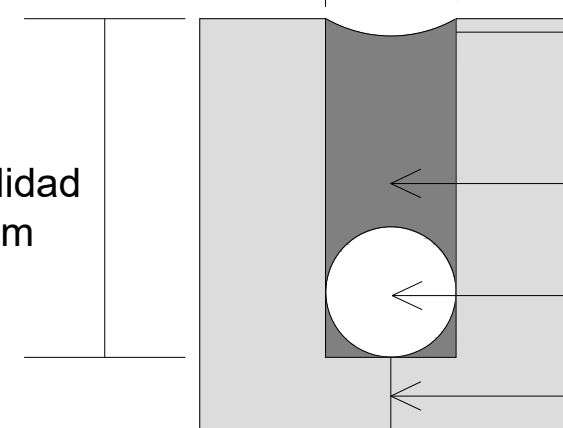
Ancho  
8 mm

Profundidad  
35 mm

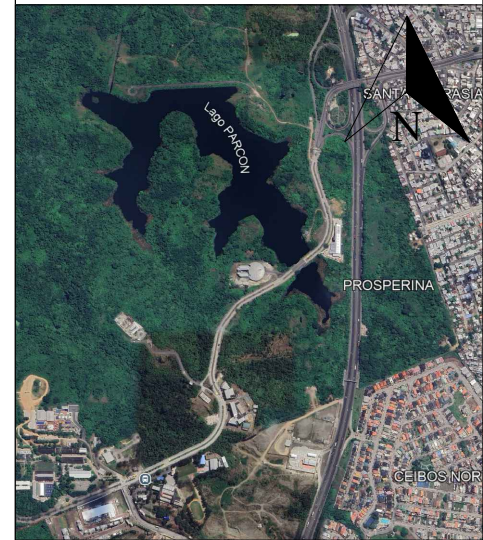
0.5 a 1.0 mm

Sello asfáltico  
elastomérico

Cordón de  
respaldo  
Junta



UBICACIÓN REFERENCIAL



Facultad de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra

PROYECTO:

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

CONTENIDO:

3) Sellado de Junta

ESTUDIANTES:

Ing. Jhon Franco Montalvo  
Ing. Brayan Pinto Ponce

TUTOR :

PhD. Eduardo Santos Baquerizo

FECHA DE ELABORACIÓN:

NOVIEMBRE 2025

FECHA DE ENTREGA:

NOVIEMBRE 2025

N° DE LAMINA:

3/5

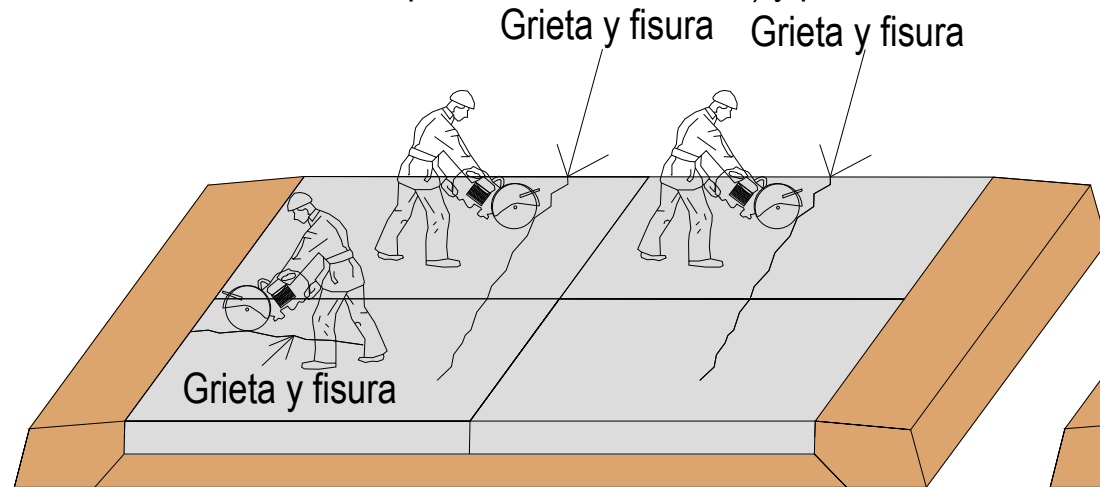
ESCALA:

1/40

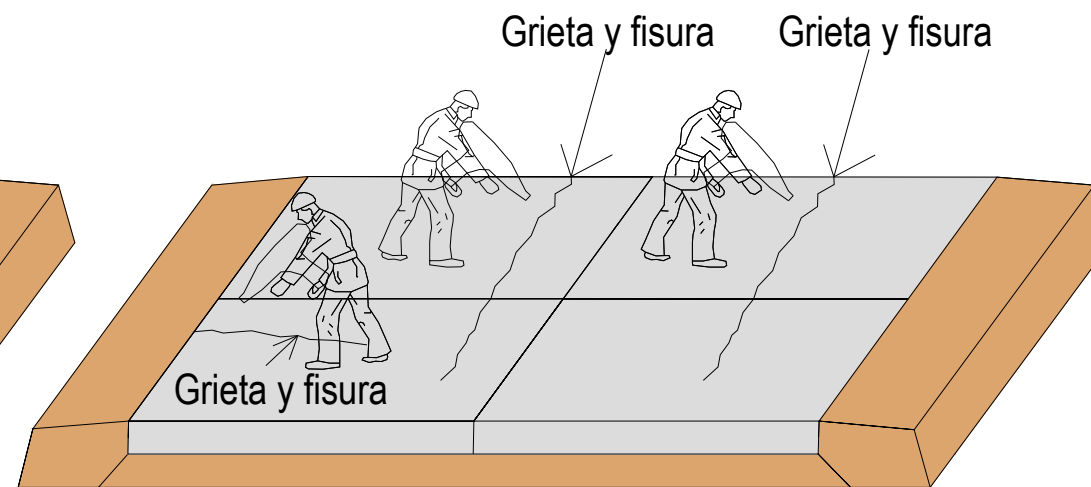
**PLANO 4**  
**SELLADO DE FISURA O**  
**GRIETA**

# Plano 4

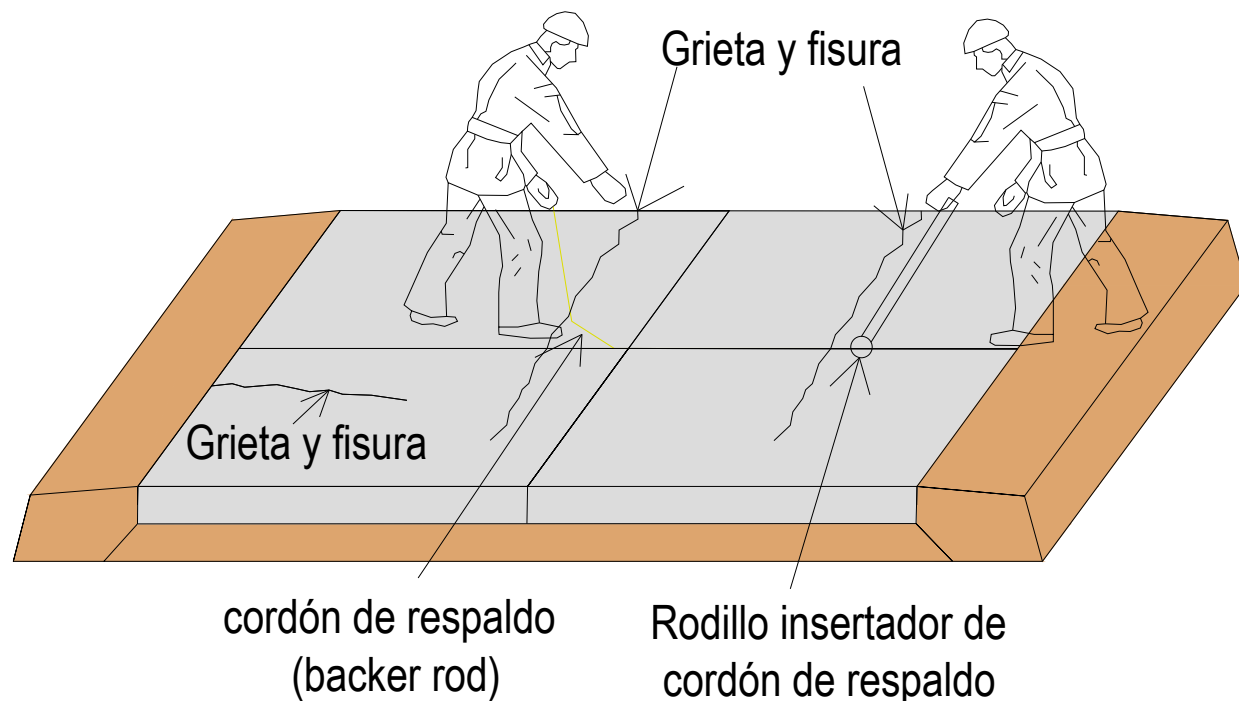
1) Ensanchamiento (Corte deberá tener un ancho de 6 mm y una profundidad de 25 mm) y pulido de fisura



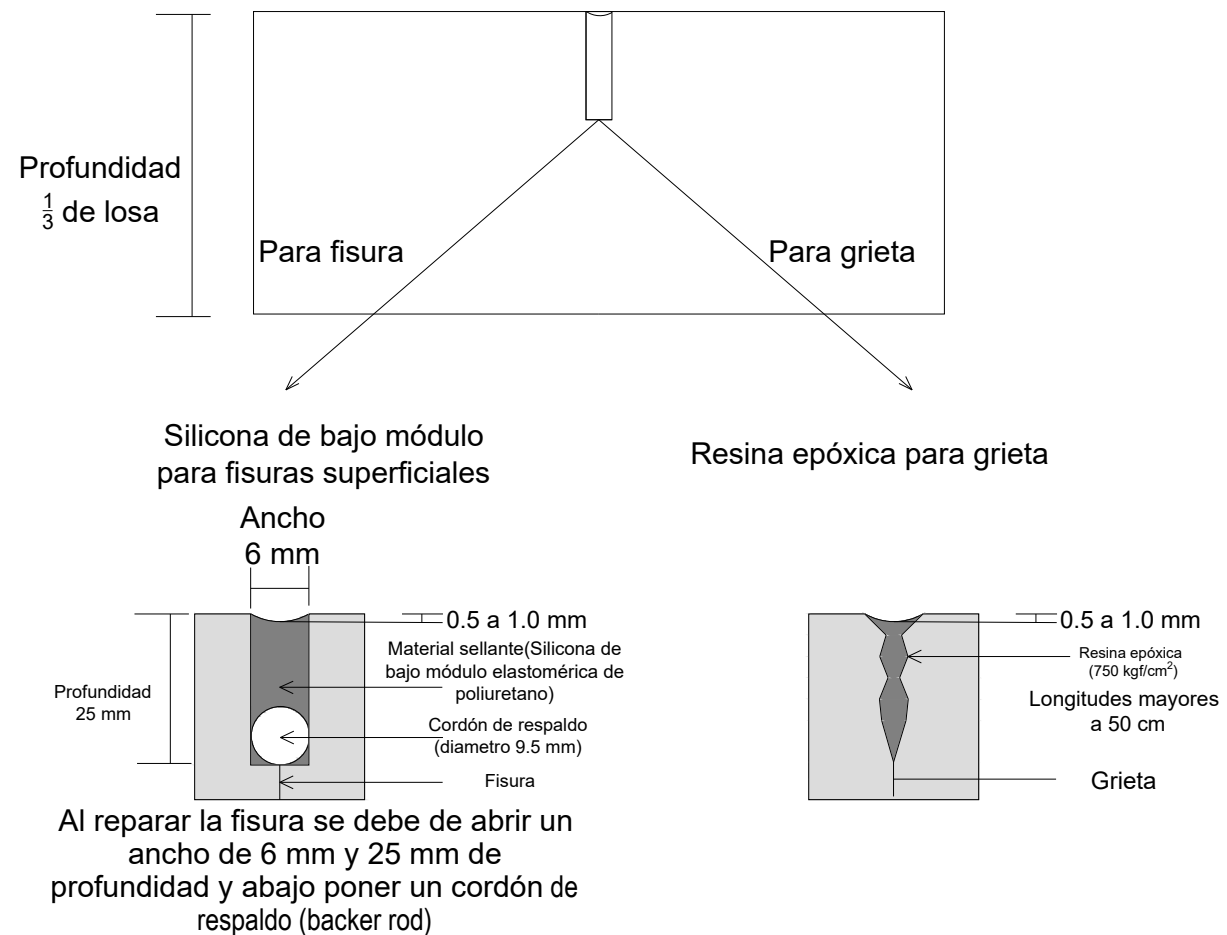
2) Limpieza con agua y aire comprimido



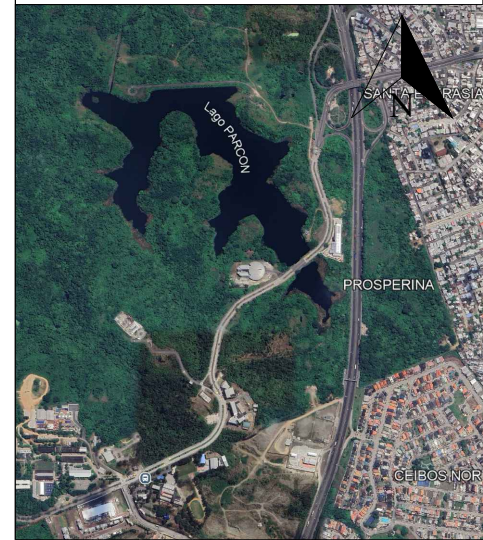
3) Colocación del cordón de respaldo de polipropileno  
 Para fisura de **severidad baja y media**: Aplicación de silicona de bajo módulo elastomérica de poliuretano.  
 Para Grieta de **severidad Alta**: Aplicación sellado con resina epóxica



4) Detalle del relleno en grietas y fisuras



## UBICACIÓN REFERENCIAL



Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

### PROYECTO:

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

### CONTENIDO:

4) Sellado de Fisura o Grieta

### ESTUDIANTES:

Ing. Jhon Franco Montalvo  
 Ing. Brayan Pinto Ponce

### TUTOR:

PhD. Eduardo Santos Baquerizo

FECHA DE ELABORACIÓN:

NOVIEMBRE 2025

FECHA DE ENTREGA:

NOVIEMBRE 2025

Nº DE LAMINA:

4/5

ESCALA:

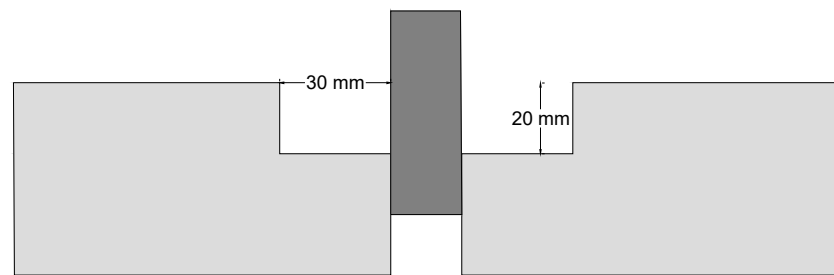
1/40

**PLANO 5**

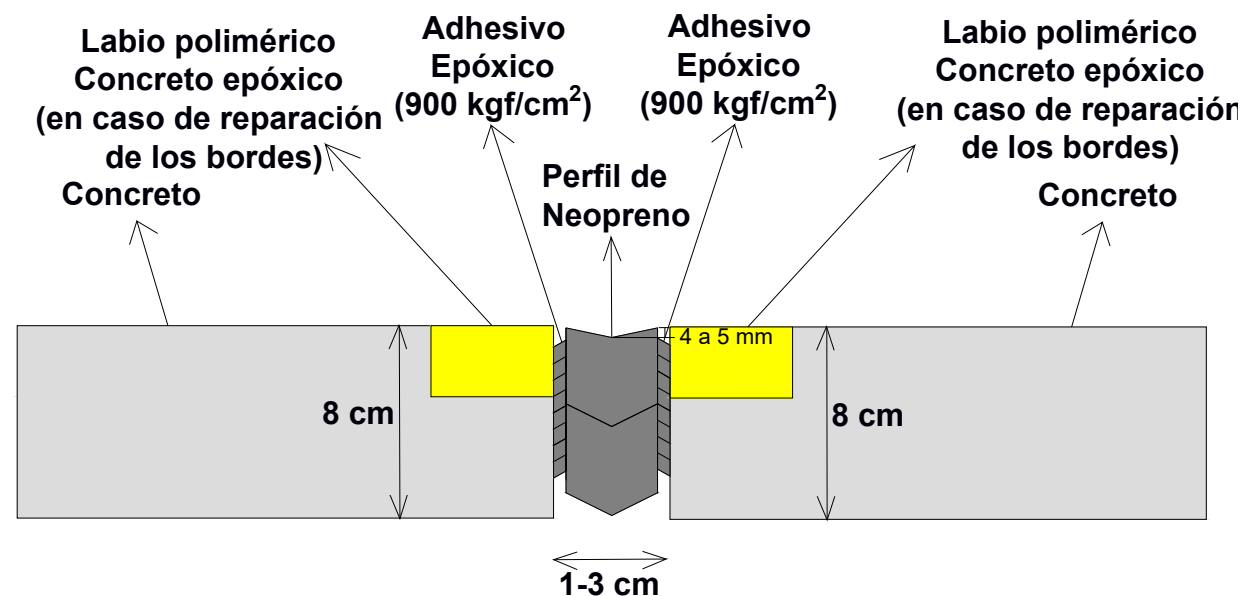
**SELLADO DE JUNTA CON PERFIL  
PREFORMADO DE NEOPRENO**

# Plano 5

## a) Reparación de vértices previo a instalación de junta preformada



## b) Instalación de junta preformada

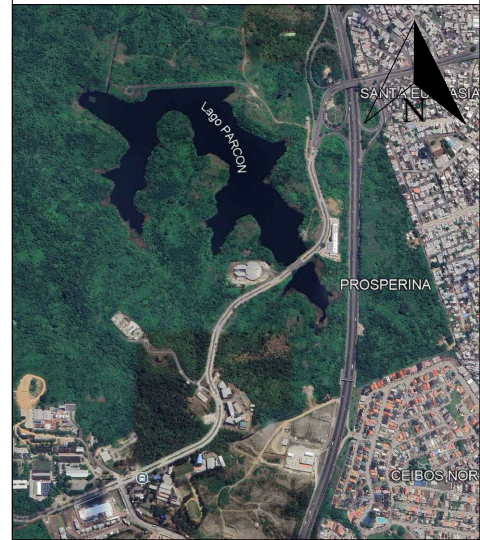


En caso de que exista despostillamiento en los bordes de la losa, se repara los vértices de junta con concreto epóxico de alta resistencia a la compresión (750 Kgf/Cm<sup>2</sup>)

### Proceso constructivo

- 1) Limpia y seca las superficies laterales de las losas (aire comprimido), repara despostillados/vértices con mortero epóxico dejando espacio para la junta.
- 2) Aplica el adhesivo epóxico sobre los lados del perfil de neopreno siguiendo las indicaciones del fabricante. Se deberá realizar pruebas previas para asegurar el uso de la cantidad adecuada
- 3) Instala el perfil preformado dentro de la junta siguiendo el manual del fabricante. El perfil debe quedar al menos 5 mm por debajo del nivel de la losa.
- 4) Retira excedentes de adhesivo y deja curar  $\geq 24$  h (o lo que indique el fabricante) antes de abrir al tráfico.

### UBICACIÓN REFERENCIAL



espol

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

### PROYECTO:

Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)

### CONTENIDO:

5) Sellado de junta con perfil preformado de neopreno

### ESTUDIANTES:

Ing. Jhon Franco Montalvo  
Ing. Brayan Pinto Ponce

### TUTOR :

PhD. Eduardo Santos Baquerizo

FECHA DE ELABORACIÓN:  
NOVIEMBRE 2025

FECHA DE ENTREGA:  
NOVIEMBRE 2025

N° DE LAMINA:  
5/5

ESCALA:  
1/40

**ANEXO 1**

**FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE**

**DATOS**



**ANEXO 2**

**DATOS LEVANTADOS EN**

**INSPECCIÓN VISUAL**



**Proyecto "Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)"**

Formato para inspección visual de losa de pavimento rígido

Ubicación	Campus Gustavo Galindo, Av. Perimetral km. 30.5				Hoja	2	de	5	Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Fecha	12/7/2025				PR inicial	0+288	Ancho de parterre (m)		
No. Calzadas	2				PR final	0+702	Espesor de losa (m)		
No. Carriles por calzada	2						0.21		

La estructura de pavimento posee bordillo cuneta.  
Se aprecia fisuras que fueron selladas y no evidencian evolución del daño.

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	No. Losa		Dimensiones de Losa		Foto	TIPO DE DAÑO	COORDENADAS (WSG 84 - UTM 17S)		Dimensiones del Daño			SEVERIDAD	OBSERVACIONES	
		#	Letra	Largo (m)	Ancho (m)			X	Y	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)			
0+750 - 0+900	0+702	B	160			183	Fisura Transversal	616775.9444	9762586.3730	340	0.2		Baja		
	0+702	A	160			183	Fisura Transversal	616772.8738	9762587.4693	340	0.2		Baja		
	0+701	A	160			183	Desgaste por erosión	616772.5765	9762586.8148	213	108		Alta		
	0+701	B	160			183	Desgaste por erosión	616775.5449	9762585.5476	237	111		Alta		
	0+693	A	158			185	Fisura Transversal	616769.5611	9762578.4726	340	0.1		Baja		
	0+693	B	158			187	Bache	616772.6725	9762577.3701	128	59	3		Media	
	0+690	B	157			185	Desgaste por erosión	616771.5787	9762573.9773	128	101			Media	
	0+689	A	157			185	Desgaste por erosión	616768.3721	9762574.6879	117	87			Media	
	0+689	A	157			185	Bache	616768.1415	9762574.2246	77	18	4		Media	
	0+689	B	157			189	Bache	616770.4421	9762573.5538	49	29	2		Baja	
	0+687	A	156			189	Fisura Transversal	616767.5720	9762572.1287	340	0.1			Baja	
	0+681	C	155			130	Fisura Transversal	616778.1429	9762563.2831	340	0.1			Baja	
	0+680	D	155			191	Fisura Transversal	616780.4690	9762562.4281	340	0.1			Baja	
	0+665	A	151			191	Desgaste por erosión	616763.3137	9762549.7673	29	73			Media	
	0+664	B	151			191	Desgaste por erosión	616766.3157	9762548.5493	143	83			Media	
0+663	A	151			191	Bache	616762.8567	9762547.8197	58	22	2		Baja		
0+661	A	150			191	Fisura Transversal	616761.9925	9762546.0219	154	0.2			Baja		
0+658	B	150			193	Desgaste por erosión	616764.7524	9762542.8196	213	53			Media		
0+654	B	149			193	Desgaste por erosión	616764.1052	9762538.5142	214	49			Media		
0+639	C	145			134	Bache	616772.0537	9762522.1252	58	57	4		Media		
0+620	C	141			136	Fisura Transversal	616766.3218	9762504.2261	340	0.1			Baja		
0+618	B	140			195	Despostillamiento	616756.1415	9762503.3662	20	3	2		Baja		
0+613	B	140			195	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	616754.4530	9762499.2685	440				Alta		
0+613	B	140			195	Deficiencia de material de sellado en junta transversal	616756.0760	9762498.9167	340				Alta		
0+610	A	139			197	Fisura Transversal	616752.1977	9762496.6763	340	0.1			Baja		
0+610	B	139	4.40	3.37	195	Fisura Transversal	616755.2435	9762495.9592	340	0.1			Baja		
0+609	A	139			195	Deficiencia de material de sellado en junta transversal	616751.9046	9762495.2908	340				Alta		
0+594	C	135			138	Fisura Transversal	616764.7477	9762477.7598	340	0.1			Baja		
0+592	D	135	4.40	3.20	138	Bache	616761.9070	9762476.2065	49	88	2		Baja		
0+582	C	133			140	Deficiencia de material de sellado en junta transversal	616758.5849	9762467.0042	340				Alta		
0+564	A	128			199	Bache	616744.0542	9762450.3493	48	39	2		Baja		
0+564	B	128			199	Bache	616747.7989	9762449.6620	47	38	5		Alta		
0+564	B	128			199	Bache	616746.1306	9762449.6640	89	29	2		Baja		
0+562	A	128			199	Fisura Transversal	616743.4936	9762448.2752	340	0.2			Baja		
0+562	B	128			199	Fisura Transversal	616746.8233	9762447.9581	340	0.2			Baja		
0+561	A	128			199	Fisura Transversal	616743.4148	9762447.0901	340	0.2			Baja		
0+561	B	128			199	Fisura Transversal	616746.7718	9762446.8148	340	0.2			Baja		
0+559	A	127			199	Bache	616742.9046	9762444.5024	47	38	2		Baja		
0+558	B	127			199	Bache	616746.0647	9762444.2905	69	39	3		Media		
0+558	B	127			199	Bache	616747.5753	9762444.0564	49	19	2		Baja		
0+553	A	126			199	Bache	616742.7987	9762438.4964	52	29	6		Alta		
0+553	A	126			199	Bache	616743.7207	9762438.4214	37	39	5		Alta		
0+553	B	126			199	Bache	616745.6113	9762438.4204	37	27	4		Media		
0+553	B	126			199	Bache	616747.3908	9762438.4194	37	37	4		Media		
0+541	C	124			142	Bache	616755.4991	9762427.6625	48	49	2		Baja		
0+499	D	114			144	Deficiencia de material de sellado en junta transversal	616773.3940	9762391.5494	340				Alta		
0+499	C	114			144	Deficiencia de material de sellado en junta transversal	616770.5416	9762389.8335	340				Alta		
0+480	B	109			203	Bache	616771.6936	9762368.7900	44	22	4		Media		
0+470	B	108			205	Bache	616775.1673	9762360.6980	79	79	3		Media		
0+469	C	107			146	Desgaste por erosión	616783.2850	9762361.5879	440	340			Alta		
0+468	C	107			146	Fisura Longitudinal	616783.8755	9762360.8818	261	0.1			Baja		
0+440	B	100			207	Grieta Transversal	616780.5114	9762332.2045	81	0.4			Media		
0+439	B	100			207	Hundimiento de losa	616781.5545	9762331.2914	31	34	1		Baja		
0+438	B	100			207	Fisura Transversal	616781.7209	9762330.0558	340	0.1			Baja		
0+435	D	99			150	Bache	616793.0319	9762327.8010	127	68	5		Alta		
0+424	C	97			152	Fisura Longitudinal	616790.5441	9762316.7483	440	0.2			Baja		
0+423	C	96			152	Bache	616792.0103	9762314.8899	77	37	3		Media		
0+420	C	96			154	Fisura Longitudinal	616790.4575	9762312.3305	440	0.2			Baja		
0+414	D	94			156	Bache	616793.5534	9762305.5975	119	18	3		Media		
0+402	A	92			209	Desgaste por erosión	616780.2139	9762295.6580	122	340			Alta		
0+402	B	92			209	Desgaste por erosión	616776.7637	9762296.2864	102	340			Alta		
0+398	A	91			209	Desgaste por erosión	616775.9807	9762292.1661	117	340			Alta		
0+398	B	91	4.65	3.37	209	Desgaste por erosión	616779.2072	9762291.3979	102	340			Alta		
0+395	C	90	4.51	3.40	158	Bache	616787.7930	9762286.4532	28	47	3		Media		
0+389	B	89			209	Desgaste por erosión	616773.9020	9762284.0747	122	340			Alta		
0+389	A	89			209	Desgaste por erosión	616777.0342	9762283.1369	116	340			Alta		
0+384	C	87			160	Bache	616784.0831	9762275.1945	19	18	3		Media		
0+377	A	87			162	Bache	616781.2882	9762269.0639	49	39	3		Media		
0+372	A	85			211	Desgaste por erosión	616768.2116	9762268.7189	93	340			Alta		
0+372	B	85			211	Desgaste por erosión	616771.3582	9762267.3192	91	340			Alta		
0+369	D	84			164	Bache	616780.8719	9762259.8259	48	38	3		Media		
0+368	C	84			166	Bache	616777.0127	9762260.6747	98	43	3		Media		
0+367	A	84			211	Desgaste por erosión	616766.6629	9762264.9308	100	340			Alta		
0+367	B	84			211	Desgaste por erosión	616769.5827	9762263.3494	100	340			Alta		
0+367	C	84			170	Fisura Longitudinal	616777.0509	9762259.6753	440	0.1			Baja		
0+363	C	83			170	Fisura Longitudinal	616775.0277	9762255.4965	440	0.1			Baja		
0+358	C	82			170	Fisura Longitudinal	616772.9708	9762251.4189	440	0.1			Baja		
0+354	C	81			170	Fisura Longitudinal	616770.6792	9762247.8365	440	0.1			Baja		
0+352	C	80			172	Bache	616770.0228	9762245.6314	118	18	4		Media		
0+351	D	80			172	Fisura Transversal	616772.1048	9762243.7328	340	0.1			Baja		
0+351	C	80			172	Bache	616768.3951	9762245.6610	38	39	3		Media		
0+348	D	79			174	Bache	616769.7046	9762240.7163	68	48	5		Alta		
0+343	C	78			176	Bache	616764.9656	9762238.3586	147	87	5		Alta	Parche de hormigón resquebrajado, posiblemente por la falta de imprimante.	
0+340	D	77			178	Fisura de Esquina	616764.1826	9762234.8858	51	0.1			Baja		
0+336	D	77			180	Grieta de Esquina	616761.8804	9762231.5482	91	0.3			Media		
0+335	D	76			182	Grieta Transversal	616761.8500	9762229.7195	340	0.3			Media		
0+335	C	76			182	Grieta Transversal	616759.1000	9762231.8756	340	0.3			Media		
0+329	B	75			213	Bache	616748.2978	9762234.0230	18	48	4		Media		
0+329	A	75			213	Bache	616747.2974	9762234.9080	37	15	3		Media		
0+325	B	74			215	Bache	616745.7038	9762230.2414	69	49	3		Media		
0+324	A	74			215	Fisura Transversal	616743.1703	9762231.4239	340	0.1			Baja		
0+324	B	74			215	Fisura Transversal	616745.3664	9762229.0822	340	0.1			Baja		
0+323	A	73			215	Despostillamiento	616742.5359	9762230.7912	21	9	1		Media		
0+322	A	73			215	Bache	616740.9889	9762230.7220	28	28	2		Baja		
0+311	A	71			217	Fisura Longitudinal	616734.3089	9762222.6483	55	0.2			Baja		
0+309	B	70			217	Fisura Transversal	616734.8933	9762219.6681	340	0.1			Baja		
0+309	A	70			217	Fisura Transversal	616732.6								

Proyecto "Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)"

Formato para inspección visual de losa de pavimento rígido

Ubicación	Campus Gustavo Galindo, Av. Perimetral km. 30.5				Hoja	3	de	5	Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Fecha	12/7/2025				PR inicial	0+702	Ancho de parterre (m)	5	
No. Calzadas	2				PR final	1+171	Espesor de losa (m)	0.21	
No. Carriles por calzada	2								

Notas generales: La estructura de pavimento posee bordillo cuneta. Se aprecia fisuras que fueron selladas y no evidencian evolución del daño.

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	No. Losa		Dimensiones de Losa		Foto	TIPO DE DAÑO	COORDENADAS (WSG 84 - UTM 17S)		Dimensiones del Daño			SEVERIDAD	OBSERVACIONES
		#	Letra	Largo (m)	Ancho (m)			X	Y	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)		
+200 -1+350	1+171	A	266			129	Bache	617126.5550	9762883.7161	59	67	10	Alta	
	1+170	A	266			129	Bache	617125.5825	9762884.0031	39	38	2	Baja	
	1+168	A	266			129	Fisura Longitudinal	617124.8305	9762882.1861	110	0.1		Baja	
	1+167	A	265			129	Fisura Transversal	617124.3205	9762880.7538	192	0.2		Baja	
	1+164	A	265			131	Fisura Longitudinal	617122.7866	9762878.3895	335	0.1		Baja	
	1+164	B	265			131	Fisura Transversal	617124.8994	9762876.9677	340	0.2		Baja	
	1+159	A	264			131	Fisura Longitudinal	617120.3537	9762874.9687	325	0.1		Baja	
	1+156	B	263			133	Bache	617119.6380	9762871.3791	17	14	4	Media	
	1+155	C	263			74	Desgaste por erosión	617128.2809	9762864.2451	17	21		Media	
	1+155	A	263			133	Fisura Longitudinal	617118.2252	9762871.3493	215	0.2		Baja	
	1+154	B	262			133	Fisura Transversal	617120.8169	9762868.5931	51	0.1		Baja	
	1+154	D	262			76	Fisura Transversal	617129.4409	9762861.8731	340	0.1		Baja	
	1+153	A	262			133	Fisura Transversal	617116.9981	9762870.7051	45	0.1		Baja	
	1+153	B	262			133	Fisura Transversal	617119.9217	9762867.8871	47	0.1		Baja	
	1+152	A	262			133	Bache	617118.1846	9762867.9191	59	68	5	Alta	
	1+150	A	262			135	Fisura Longitudinal	617115.2934	9762868.0678	440	0.2		Baja	
	1+147	D	261			78	Bache	617124.9792	9762856.3407	69	39	5	Alta	
	1+146	A	261			137	Fisura Transversal	617112.5038	9762865.3983	340	0.2		Baja	
	1+146	D	261			84	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	617122.7899	9762856.1816	440			Alta	
	1+144	D	260			80	Bache	617123.2588	9762853.3661	58	29	3	Media	
1+142	D	260			84	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	617119.6006	9762853.2210	440			Alta		
1+134	A	258			139	Bache	617105.2214	9762856.5378	38	47	2	Baja		
1+129	A	257			141	Bache	617101.2622	9762853.5458	49	39	2	Baja		
1+128	D	256			86	Fisura de Esquina	617111.2030	9762840.7147	18	0.2		Baja		
1+109	D	252			88	Bache	617096.2548	9762828.5261	29	8	3	Media		
1+103	C	251			90	Fisura Longitudinal	617089.5926	9762827.8675	164	0.2		Baja		
1+100	D	250			92	Bache	617089.5232	9762823.1387	48	58	3	Media		
1+091	A	251			94	Bache	617081.8378	9762818.1123	48	67	3	Media		
1+082	A	247			143	Despostillamiento	617065.9854	9762824.1577	21	4	4	Alta		
1+014	B	231			145	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	617013.4743	9762779.9285	440			Alta		
1+012	B	230			145	Fisura Transversal	617013.2802	9762777.6383	340	0.1		Baja		
1+011	D	230			98	Bache	617019.7312	9762768.4072	37	38	3	Media		
0+994	A	226	4.10	3.30	147	Bache	616997.4608	9762768.1992	37	48	3	Media		
0+993	B	226	4.10	3.46	147	Fisura Longitudinal	616998.4862	9762765.6002	152	0.1		Baja		
0+990	A	225			147	Bache	616994.6143	9762765.2505	47	39	5	Alta		
0+984	D	224	4.23	3.40	100	Fisura Transversal	616998.8676	9762750.3682	340	0.1		Baja		
0+981	A	223			149	Grieta Transversal	616987.2917	9762760.9368	340	0.3		Media		
0+981	B	223			149	Grieta Transversal	616989.1578	9762758.0329	340	0.3		Media		
0+979	B	223			149	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616986.3569	9762758.1059	440			Alta		
0+950	C	216	4.22	3.36	102	Bache	616967.1741	9762735.9000	58	17	2	Baja		
0+942	B	214			151	Bache	616955.4075	9762740.3795	49	38	3	Media		
0+941	A	214			151	Bache	616952.6931	9762742.2670	49	38	3	Media		
0+926	C	211			156	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616945.9021	9762724.9077	440			Alta		
0+924	C	210			104	Bache	616944.1521	9762723.4015	37	15	2	Baja		
0+922	C	210			104	Fisura Longitudinal	616941.6521	9762722.2590	440	0.1		Baja		
0+919	A	209			153	Desgaste por erosión	616933.8280	9762731.2790	217	156		Alta		
0+917	A	209			153	Bache	616932.1940	9762731.4460	119	149	6	Alta		
0+917	D	209			155	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616938.4348	9762718.8771	440			Alta		
0+915	B	208			155	Bache	616931.3350	9762727.6032	67	37	5	Alta		
0+914	A	208			153	Bache	616930.0391	9762729.0432	58	17	5	Alta		
0+913	D	208			155	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616934.6192	9762716.9687	440			Alta		
0+913	B	208			155	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616928.8727	9762727.2322	440			Alta		
0+908	D	207			108	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616930.5870	9762714.7464	440			Alta		
0+904	D	206			108	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616926.8940	9762712.7636	440			Alta		
0+901	D	205			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616924.3166	9762707.6945	440			Alta		
0+898	A	204			157	Bache	616914.9669	9762722.7036	49	28	7	Alta		
0+897	D	204			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616920.3786	9762705.6690	440			Alta		
0+895	B	204			157	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616913.3352	9762719.0276	440			Alta		
0+895	C	204			106	Bache	616918.5799	9762708.8126	59	27	3	Media		
0+893	D	203			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616916.4609	9762703.6131	440			Alta		
0+888	D	202			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616912.5649	9762701.5346	440			Alta		
0+884	D	201			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616908.7432	9762699.5288	440			Alta		
0+879	D	200			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616904.8292	9762697.4536	440			Alta		
0+875	D	199			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616900.9151	9762695.4262	440			Alta		
0+871	D	198			110	Deficiencia de material de sello en junta longitudinal	616898.7770	9762694.2897	440			Alta	Separación de losa con bordillo de 3cm con crecimiento de vegetación, se extiende por 8 losas. Acera agrietada. Aparente movimiento de talud.	
0+870	B	198	4.40	3.45	159	Desgaste por erosión	616892.2480	9762706.0771	213	33		Media		
0+868	B	197			161	Despostillamiento	616890.0851	9762706.0232	34	7	2	Baja		
0+868	B	197			161	Despostillamiento	616889.2409	9762706.2091	24	8	2	Baja		
0+865	B	197			163	Bache	616886.9893	9762704.3539	58	59	3	Media		
0+862	B	196			163	Bache	616885.4513	9762702.2380	22	29	4	Media		
0+862	A	196			163	Bache	616883.3128	9762704.3720	57	28	5	Alta		
0+858	A	195			165	Bache	616880.0979	9762702.8370	89	39	4	Media		
0+857	A	195			167	Hundimiento de losa	616877.8464	9762703.4196	52	85	1	Baja		
0+857	A	195			167	Grieta de Esquina	616877.8464	9762703.4196	107	0.3		Alta	Se observa hundimiento de losa de 1 cm.	
0+855	A	194			167	Grieta de Esquina	616877.0207	9762702.0500	165	0.3		Alta	Se observa hundimiento de losa de 1 cm.	
0+849	A	193			112	Fisura Transversal	616879.3697	9762685.7938	340	0.1		Baja		
0+844	A	192			169	Bache	616868.3371	9762696.0262	108	52	3	Media		
0+842	A	191			171	Despostillamiento	616865.5799	9762695.9070	21	10	3	Alta		
0+821	C	187	4.85	3.21	114	Desgaste por erosión	616853.7804	9762675.0973	172	3		Media		
0+821	A	187	4.18	3.30	173	Desgaste por erosión	616846.8837	9762684.7722	157	78		Media		
0+772	C	176			122	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616820.8458	9762640.3699	340			Alta		
0+772	D	176			122	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616823.6719	9762638.1641	340			Alta		
0+767	D	175			124	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616821.1995	9762634.6144	340			Alta		
0+767	C	175			124	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616818.1021	9762636.8876	340			Alta		
0+745	C	170			126	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616805.1703	9762619.1855	340			Alta		
0+745	B	168			126	Fisura Transversal	616807.9672	9762617.0047	340	0.1		Baja		
0+737	D	170			126	Deficiencia de material de sello en junta transversal	616793.5531	9762617.9776	340			Alta		
0+737	A	168			175	Fisura Transversal	616790.8712	9762619.7731	340	0.2		Baja		
0+729	C	166			132	Bache	616795.8317	9762605.9888	89	38	3	Media		
0+726	B	165			177	Fisura Transversal	616787.0371	9762608.2928	340	0.1		Baja		
0+726	A	165			177	Fisura Transversal	616784.1240	9762610.0214	340	0.2		Baja		
0+724	A	165			177	Fisura Longitudinal	616782.7284	9762607.8061	440	0.1		Baja		
0+718	A	160			179	Fisura Transversal	616779.8922	9762602.6055	340	0.1		Baja		
0+718	B	160			181	Fisura Transversal	616781.9561	9762601.2364	340	0.1		Baja		
0+705	B	160			181	Fisura Transversal	616777.4417	9762588.6867	340	0.1		Baja		
0+705	A	160			181	Bache	616773.4032	9762590.0764	32	17	2	Baja		
0+703	A	160			181	Bache	616773.2565	9762588.3786	58	28	2	Baja		

**Proyecto "Evaluación y rehabilitación de losa de hormigón HCP del pavimento rígido desde la entrada principal de la ESPOL hasta la unión con el intercambiador de la Prosperina (L=1.5 km)"**

**Formato para inspección visual de losa de pavimento rígido**

Ubicación		Campus Gustavo Galindo, Av. Perimetral km. 30.5			Hoja		4	de		5	Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Fecha		12/7/2025			PR Inicial		1+171	Ancho de parterre (m)		5	
No. Calzadas		2			PR final		1+378	Espesor de losa (m)		0.21	
No. Carriles por calzada		2									

**Notas generales:**  
 La estructura de pavimento posee bordillo cuneta.  
 Se aprecia fisuras que fueron selladas y no evidencian evolución del daño.

TRAMO DE VÍA	ABSCISA	No. Losa		Dimensiones de Losa		Foto	TIPO DE DAÑO	COORDENADAS (WSG 84 - UTM 17S)		Dimensiones del Daño			SEVERIDAD	OBSERVACIONES
		#	Letra	Largo (m)	Ancho (m)			X	Y	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)		
1+350 - 1+500	1+378	D	313			38	Grieta Longitudinal	617114.7311	9763080.7217	440	0.4		Alta	Se observa aparente deslizamiento de talud y hundimiento de acera, 1cm.
	1+376	B	313			55	Desgaste por erosión	617102.9963	9763074.9952	169	52		Media	
	1+375	B	313			49	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	617102.7494	9763073.3878	440			Alta	
	1+374	A	312			53	Bache	617102.1638	9763071.8667	68	27	3	Media	
	1+373	B	312			55	Bache	617104.0898	9763072.2637	37	39	4	Media	
	1+373	A	312			53	Grieta Transversal	617100.8420	9763070.9532	63	0.5		Media	
	1+370	B	312			55	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	617104.3158	9763069.1697	440			Alta	
	1+366	B	311			55	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	617105.8433	9763064.8765	440			Alta	
	1+362	A	310			57	Fisura Transversal	617105.2577	9763061.1202	137	0.1		Baja	
	1+354	C	308			40	Bache	617120.2905	9763058.1700	74	59	5	Alta	
	1+354	C	308			61	Desgaste por erosión	617112.1909	9763054.3190	128	91		Media	
	1+353	B	308			42	Fisura de Esquina	617120.8019	9763056.7143	104	0.2		Baja	
	1+353	B	16			59	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	617110.3304	9763052.6358	250			Alta	
	1+351	A	307			59	Desgaste por erosión	617109.4907	9763050.0770	48	38		Media	
	1+348	D	306			44	Hundimiento de losa	617129.0081	9763040.8550	41	33	1	Baja	
	1+348	D	306			44	Grieta de Esquina	617129.0081	9763040.8550	52	2		Alta	Se aprecia fracturación de losa en todo su espesor.
	1+346	A	306			63	Bache	617111.3005	9763045.9420	39	23	2	Baja	
	1+345	B	306			65	Desgaste por erosión	617114.4740	9763046.1320	147	87		Media	
	1+344	A	306			63	Bache	617110.7079	9763043.9774	49	33	3	Media	
	1+344	D	306			44	Hundimiento de losa	617129.0081	9763040.8550	440	179	3	Media	
	1+344	D	306			44	Grieta Longitudinal	617129.0081	9763040.8550	440	3		Alta	Se aprecia fracturación de losa en todo su espesor.
	1+342	B	305			67	Desgaste por erosión	617115.4521	9763042.6306	119	59		Media	
	1+341	A	305			67	Desgaste por erosión	617113.0802	9763041.1850	40	48		Media	
	1+340	B	305			67	Bache	617116.0189	9763041.0580	29	38	4	Media	
	1+340	D	306			44	Hundimiento de losa	617116.0189	9763041.0580	440	176	1	Baja	
	1+340	D	305			44	Grieta Longitudinal	617116.0189	9763041.0580	440	2		Alta	Se aprecia fracturación de losa en todo su espesor.
	1+337	A	304			69	Desgaste por erosión	617113.5541	9763036.5791	282	28		Media	
	1+335	D	304			44	Fisura Longitudinal	617129.0081	9763040.8550	440	0.2		Baja	
	1+335	A	304			71	Grieta Longitudinal	617115.0681	9763035.6319	440	0.5		Alta	
	1+331	D	303			46	Fisura Longitudinal	617130.7663	9763036.6891	440	0.2		Baja	
	1+327	B	302			73	Bache	617120.7696	9763028.9110	39	22	5	Alta	
	1+327	B	302			73	Deficiencia de material de sellado en junta longitudinal	617119.3125	9763028.2370	130			Alta	
	1+324	A	301			75	Bache	617118.6976	9763025.3651	29	27	4	Media	
	1+323	A	301			75	Bache	617118.5107	9763024.2311	27	9	3	Media	
	1+321	B	300			77	Bache	617121.9262	9763023.3481	44	28	2	Baja	
	1+320	B	300			77	Desgaste por erosión	617123.5350	9763023.0761	24	17		Media	
	1+320	A	300			79	Bache	617120.6032	9763021.5321	59	18	2	Baja	
	1+318	A	300			79	Bache	617120.7155	9763019.9821	58	17	2	Baja	
	1+317	A	299			81	Desgaste por erosión	617120.8750	9763018.2921	84	49		Media	
	1+315	B	299			81	Desgaste por erosión	617124.9483	9763017.4401	49	48		Media	
	1+314	A	299			81	Desgaste por erosión	617122.8684	9763016.4871	39	39		Media	
	1+308	C	297			50	Fisura de Esquina	617134.4163	9763013.5746	123	0.2		Baja	
	1+303	A	296			83	Desgaste por erosión	617126.5854	9763005.8583	89	39		Media	
	1+302	B	296			85	Desgaste por erosión	617129.3026	9763005.7838	37	39		Media	
	1+294	A	294			89	Bache	617129.9977	9762997.5004	99	49	6	Alta	
	1+294	B	294			87	Bache	617131.1994	9762997.8984	79	47	10	Alta	
	1+293	C	294			54	Desgaste por erosión	617140.5702	9763000.1308	440	80		Alta	
	1+291	C	294			52	Fisura Longitudinal	617141.2490	9762998.4077	440	0.2		Baja	
	1+289	C	293			54	Desgaste por erosión	617142.0848	9762996.1182	440	82		Alta	
	1+284	C	292			54	Desgaste por erosión	617143.6388	9762991.8700	440	85		Alta	
	1+281	A	291			91	Desgaste por erosión	617133.9245	9762985.3898	37	57		Media	
	1+281	A	291			91	Desgaste por erosión	617132.7623	9762984.5375	47	47		Media	
	1+280	C	291			54	Desgaste por erosión	617145.0288	9762987.9035	440	98		Alta	
	1+278	B	291			93	Bache	617138.2216	9762983.7741	48	38	5	Alta	
	1+277	B	290			93	Bache	617137.5714	9762981.8511	69	47	5	Alta	
	1+271	A	289			95	Bache	617137.5139	9762975.7812	49	48	3	Media	
	1+269	B	288			97	Fisura de Esquina	617138.6959	9762974.2773	70	0.2		Baja	
	1+269	B	288			97	Hundimiento de losa	617139.0536	9762974.2157	10	45	0.7	Baja	
	1+255	B	285			101	Grieta de Esquina	617141.3594	9762961.8111	99	0.7		Media	
	1+255	B	285			99	Grieta Transversal	617142.4230	9762961.2521	125	0.5		Media	
	1+254	A	285			99	Grieta Longitudinal	617140.7839	9762960.7397	191	0.5		Media	
	1+253	C	285			56	Desgaste por erosión	617151.6932	9762960.7649	40	29		Media	
	1+251	B	284			103	Grieta de Esquina	617142.1199	9762957.4929	61	0.6		Media	
	1+251	A	284			103	Grieta de Esquina	617141.2477	9762957.3259	86	0.5		Media	
	1+247	A	284			105	Grieta de Esquina	617141.5449	9762954.1376	72	0.6		Media	
	1+247	B	284			105	Grieta de Esquina	617142.5357	9762954.2076	89	0.7		Media	
	1+247	B	283			105	Grieta de Esquina	617142.5884	9762953.4246	68	0.5		Media	
	1+247	A	283			105	Grieta de Esquina	617141.7442	9762953.3346	92	0.7		Media	
	1+243	B	283			107	Grieta Longitudinal	617143.8958	9762949.9691	440	0.3		Media	
	1+238	B	282			107	Grieta Longitudinal	617143.9589	9762945.4989	440	0.3		Media	
	1+234	A	281			107	Grieta Longitudinal	617144.2788	9762941.5836	440	0.3		Media	
	1+234	A	281			109	Hundimiento de losa	617142.2624	9762941.5514	52	162	1	Baja	
	1+234	A	281			109	Grieta de Esquina	617142.2624	9762941.5514	85	0.3		Alta	Se evidencia hundimiento de 1 cm por pérdida de material de soporte de la losa.
	1+234	B	281			109	Fisura de Esquina	617142.9912	9762941.3327	80	0.2		Alta	Se evidencia hundimiento de 1 cm por pérdida de material de soporte de la losa.
	1+233	B	280			109	Fisura de Esquina	617142.7083	9762940.7267	79	0.2		Alta	Se evidencia hundimiento de 1 cm por pérdida de material de soporte de la losa.
	1+233	A	280			109	Fisura de Esquina	617142.2078	9762940.7157	83	0.2		Alta	Se evidencia hundimiento de 1 cm por pérdida de material de soporte de la losa.
	1+229	A	279			111	Grieta de Esquina	617141.8838	9762936.5857	172	0.4		Media	
	1+223	A	278			113	Bache	617141.1884	9762930.7282	17	47	3	Media	
	1+222	A	278			113	Grieta Longitudinal	617141.3490	9762929.7759	224	0.5		Media	
	1+222	A	278			113	Grieta Transversal	617141.4638	9762929.7550	55	0.5		Media	
	1+221	A	278			113	Grieta Transversal	617141.4427	9762929.1020	41	0.5		Media	
	1+221	A	277			113	Hundimiento de losa	617141.5418	9762928.6920	217	51	0.6	Baja	
	1+220	A	277			113	Grieta Transversal	617141.3747	9762928.0630	58	0.5		Media	
	1+220	A	277			113	Grieta Transversal	617141.4981	9762927.6760	63	0.5		Media	
	1+219	A	277			115	Bache	617138.8692	9762927.2638	37	29	10	Alta	
	1+210	A	275			117	Bache	617139.1421	9762918.8739	59	37	5	Alta	
	1+204	A	274			119	Desgaste por erosión	617137.27						



**ANEXO 3**  
**RESULTADOS**  
**ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA**

## Resultados del ensayo de Esclerometría

### Promedios y Resistencias

#### Punto #1-Abscisa:0+042 m-Coordenada (X:616433 y Y:9762079)

45	46	46
46	46	47
47	47	48
49	50	48

R Promedio: 47.08

#### Punto #2-Abscisa:0+180 m-Coordenada (X:616567 y Y:9762117)

36	33	35
37	33	35
37	35	37
33	34	35

R Promedio: 35.00

#### Punto #3-Abscisa:0+335 m-Coordenada (X: 616698 y Y: 9762201)

34	33	36
34	38	34
34	34	35
36	36	34

R Promedio: 34.833

#### Punto #4-Abscisa: 0+493 m-Coordenada (X:616799 y Y:9762315)

34	36	38
38	38	38
37	36	36
37	35	34

R Promedio: 36.417

#### Punto #7-Abscisa:0+645 m-Coordenada (X:616744 y Y:9762463)

36	36	36
37	35	33
35	39	35
37	37	35

R Promedio: 35.917

#### Punto #6-Abscisa:0+793 m-Coordenada (X: 616798 y Y: 9762600)

35	32	37
34	34	34
36	37	36
36	36	35

R Promedio: 35.17

**Punto #5-Abscisa: 0+936 m-Coordenada (X:616888 y Y:9762708)**

34	34	34
33	33	35
34	37	35
37	38	33

R Promedio: 34.750

**Punto #4-Abscisa:1+089 m-Coordenada (X:617028 y Y:9762772)**

37	37	36
39	35	38
35	38	34
36	36	33

R Promedio: 36.167

**Punto #3-Abscisa: 1+248 m-Coordenada (X: 617127 y Y: 9762892)**

30	28	30
27	30	30
28	37	32
28	32	31

R Promedio: 30.250

**Punto #2-Abscisa: 1+404 m-Coordenada (X:617130 y Y:9763042)**

24	28	29
29	29	24
28	29	28
22	27	26

R Promedio: 26.917

**Punto #1-Abscisa: 1+546 m (Inicio)-Coordenada (X:617092 y Y:9763159)**

20	24	22
23	22	21
25	26	22
23	22	24

R Promedio: 22.83

A continuación, se aplica el siguiente factor de corrección de impacto para cada uno de los datos:

R	Delta R			
	+90	+45	-45	-90
20	-6	-4	+2	+3
30	-5	-3	+2	+3
40	-4	-3	+2	+2
50	-3	-2	+1	+2
60	-2	-2	+1	+2

Corrección por dirección de impacto ( $\Delta R$ ):

Para inclinación de  $-90^\circ$ , la corrección es +3 según la tabla, así que se aplicará un factor:  
 $\Delta R = +3$

### Conversión de $N/mm^2$ a $kgf/cm^2$

Relaciones utilizadas:

$$1 \text{ kgf} = 9.806 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0.101972 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$$

Fórmula de conversión:

$$kgf/cm^2 = N/mm^2 \times 10.1972$$

(En el caso, se asume **superficie seca**, por lo que  $\Delta R_w = 0$ ).

### Cálculo del valor básico de rebote corregido (R):

$$R = R^- + \Delta R + \Delta R_w$$

#### Fórmula

$\alpha_n$  = Factor de edad

Ecuación de  $f'c$

y

$$f'c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = f'c \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 10.1972$$

Las losas de hormigón fueron construidas en el año de 2012 hasta 2025, tienen 13 años (4745 días) correspondiente a  $\alpha_n = 0.63$

No. Punto	Abscisa	R (Prom)	$\Delta R$	$\Delta R_w$	R Corregido	Fc ( $N/mm^2$ )	Fc ( $kgf/cm^2$ )
1	0+042	47.08	3	0	49.08	28.03	285.85
2	0+180	35.00	3	0	38.00	19.14	195.10
3	0+335	34.83	3	0	37.83	19.51	199.01
4	0+493	36.42	3	0	39.42	20.28	206.85
5	0+645	35.92	3	0	38.92	19.88	202.56
6	0+793	35.17	3	0	38.17	19.28	196.60
7	0+936	34.75	3	0	37.75	18.94	193.13
8	1+089	36.17	3	0	39.17	20.08	204.78
9	1+248	30.25	3	0	33.25	15.33	156.86
10	1+404	26.92	3	0	29.92	12.65	128.50
11	1+546	22.83	3	0	25.83	9.37	95.50
<b>Promedio</b>							187.70

Resistencia a la compresión de las losas de hormigón HCP (Promedio) =  $187.70 \text{ kgf/cm}^2$

**ANEXO 4**

**RESULTADOS**

**ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE**

**NÚCLEOS DE HORMIGÓN**



**GEOCIMENTOS**  
CONSULTORÍA EN INGENIERÍA CIVIL

## **INFORME TÉCNICO**

# **EXTRACCIÓN, ENSAYOS DE CARBONATACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN**



**OCTUBRE 2025**

# INFORME TÉCNICO

## EXTRACCIÓN, ENSAYOS DE CARBONATACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN

PREPARADO PARA:

**Ing. Jhon Paul Franco Montalvo**

REALIZADO POR:



🏠 Mapasingue Oeste. Av. 7<sup>ma</sup> #448  
Guayaquil – Ecuador  
☎ (04) 2013480 – 5014438  
✉ info@geocimientos.com

### VERSIONES:

Versión	Fecha	Elaborado	Revisado	Comentarios
1	09/10/2025	Ing. Francisco Grau A.	Ing. Francisco Grau S.	Versión Preliminar

**OCTUBRE 2025**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
3. PROCEDIMIENTO.....	4
3.1. Extracción de núcleo #1.....	4
3.2. Extracción de núcleo #2.....	5
3.3. Extracción de núcleo #3.....	5
4. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	6

## ANEXOS

Anexo 1: Reportes de Ensayos de Laboratorio.

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa Geocimientos S.A. fue contratada por el Ing. Jhon Franco para realizar el estudio de resistencia y grado de carbonatación en núcleos de hormigón extraídos de losa de HCP del Pavimento Rígido, L=1.5 km, ESPOL

Para ello, se efectuó la extracción de núcleos de hormigón en puntos previamente definidos, registrando su ubicación, orientación y condiciones de exposición. Posteriormente, en el laboratorio de Geocimientos S.A., se procedió a realizar el ensayo de compresión axial para determinar la resistencia a la compresión conforme a las normas ASTM, y el ensayo de carbonatación mediante aplicación de fenolftaleína como indicador de pH.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad y el estado de conservación del hormigón existente mediante la determinación de la resistencia a la compresión y el grado de carbonatación en núcleos extraídos de la estructura.

### 3. PROCEDIMIENTO

La extracción de los núcleos de hormigón se efectuó conforme a la Norma ASTM C42/C42M, que establece el procedimiento para obtener, preparar y ensayar núcleos de hormigón endurecido con el propósito de determinar su resistencia a la compresión y densidad. Esta norma también indica las pautas para el manejo, identificación y transporte de las muestras, asegurando la confiabilidad de los resultados.

El ensayo de fenolftaleína se aplicó para determinar la profundidad de carbonatación en los núcleos extraídos. Se utilizó una solución de fenolftaleína al 1% sobre superficies recién cortadas, observándose color rosado en zonas no carbonatadas y ausencia de color en áreas carbonatadas.

#### 3.1. Extracción de núcleo #1

Ubicación: Pavimento LI-0+750

Altura de núcleo: 260 mm

Altura de la zona no afectada: 260 mm

Porcentaje de carbonatación: 0%



### 3.2. Extracción de núcleo #2

Ubicación: Pavimento LD – 0+000

Altura de núcleo: 230 mm

Altura de la zona no afectada: 230 mm

Porcentaje de carbonatación: 0%



### 3.3. Extracción de núcleo #3

Ubicación: Pavimento – Semáforo Ingreso Conduespol

Altura de núcleo: 135 mm

Altura de la zona no afectada: 135 mm

Porcentaje de carbonatación: 0 %



## 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Anexo 1.

Guayaquil, 09 de octubre del 2025



---

Ing. Francisco Grau A.  
Jefe de laboratorio

## RECUPERACIÓN DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN ASTM C 42

**PROYECTO :** Diseño de rehabilitación de la losa de HCP del Pavimento Rígido, L=1.5 km, ESPOL

**UBICACIÓN :** Vía Salida Espol

**CONTRATISTA :** Ing. Jhon Franco

**FECHA:** 2025-10-04

**FISCALIZADOR :** -

**ORDEN No. :** H25-0000

No.	ELEMENTO	DIMENSIONES				DESCRIPCIÓN
		LONGITUD (mm)	L. PROMEDIO (mm)	DIÁMETRO (mm)	D. PROMEDIO	
1	Pavimento LI - 0+750	260	260	100	100	Pavimento LI - 0+750
		260		100		
2	Pavimento LD - 0+000	230	230	100	100	Pavimento LD - 0+000
		230		100		
3	Pavimento - Semáforo Ingreso Conduespol	130	135	100	100	Pavimento - Semáforo Ingreso Conduespol
		140		100		



Ing. Francisco Grau A.  
Jefe de Laboratorio de Suelos  
**GEOCIMENTOS S.A.**

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN ASTM C 39 / C 39M

**PROYECTO :** Diseño de rehabilitación de la losa de HCP del Pavimento Rígido, L=1.5 km, ESPOL

**UBICACIÓN :** Vía Salida Espol

**CONTRATISTA :** Ing. Jhon Franco

**DESCRIPCIÓN :** 04/10/2025

**FISCALIZADOR :** -

**ORDEN No. :** H25-0000

NÚCLEO No.	DESCRIPCIÓN	FECHA DE EXTRACCIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	MASA (g)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	FACTOR DE CORRECCIÓN	CARGA DE ROTURA (KN)	CARGA CORREGIDA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		TIPO DE ROTURA
													(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)	
1	Pavimento LI - 0+750	04/10/2025	07/10/2025	3	3492.0	2223	200.0	100.00	7854	1.00	149.70	149.70	194.4	19.07	5
							200.0	100.00	7854						
2	Pavimento LD - 0+000	04/10/2025	07/10/2025	3	3532.0	2249	200.0	100.00	7854	1.00	63.90	63.90	83.0	8.14	6
							200.0	100.00	7854						
3	Pavimento - Semáforo Ingreso Conduespol	04/10/2025	07/10/2025	3	2310.0	2262	130.0	100.00	7854	0.94	232.60	218.12	283.2	27.79	5
							130.0	100.00	7854						

Nota: Se ha aplicado un factor de corrección a la resistencia a compresión obtenida, en función de la relación longitud-diámetro (L/D) de los núcleos, conforme a lo establecido en la norma ASTM C 42 / C 42M, con el fin de ajustar el valor respecto a la carga de rotura corregida.



Firmado electrónicamente por:  
FRANCISCO JAVIER  
GRAU AROSTEGUI

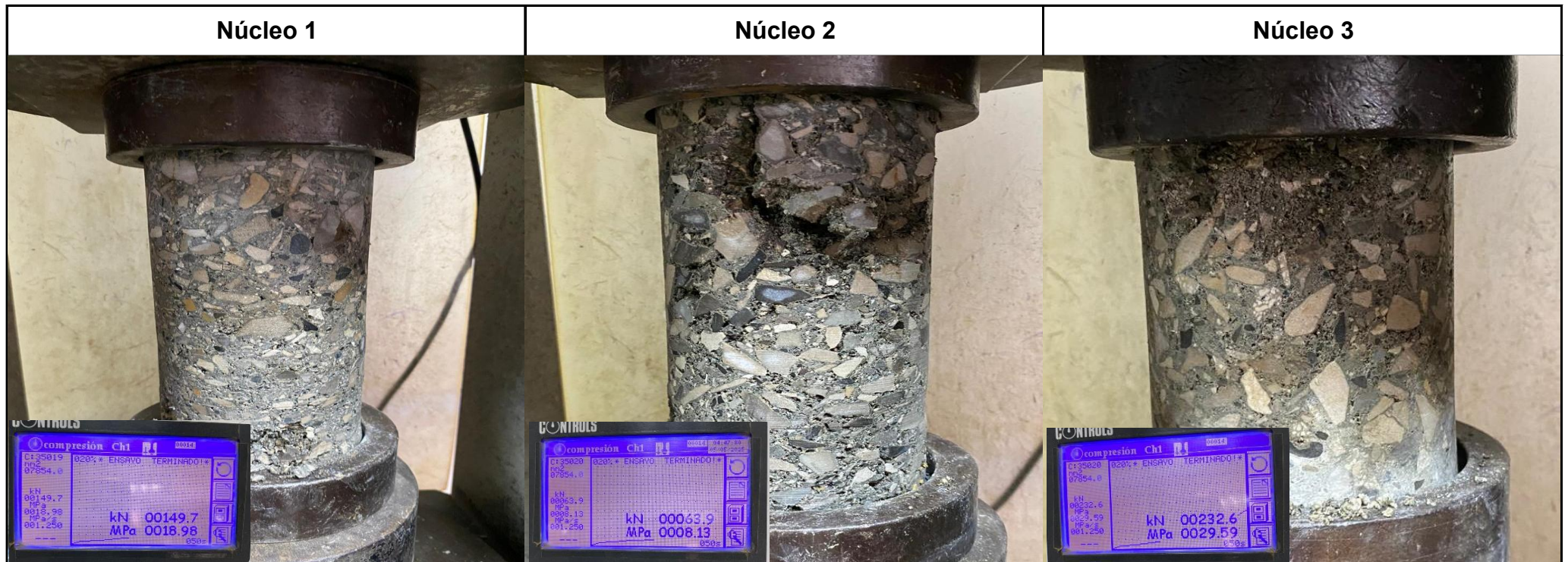
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Francisco Grau A.  
Jefe de Laboratorio de Suelos  
**GEOCIMENTOS S.A.**

## REGISTRO FOTOGRÁFICO

**PROYECTO :** Diseño de rehabilitación de la losa de HCP del Pavimento Rígido, L=1.5 km, ESPOL  
**UBICACIÓN :** Vía Salida Espol  
**CONTRATISTA :** Ing. Jhon Franco  
**FECHA :** 04/10/2025

**FISCALIZADOR :** -  
**ORDEN No. :** C21 - 000



**ANEXO 5**  
**RESULTADOS**  
**ENSAYO DE ULTRASONIDO EN**  
**HORMIGÓN**



**ÁREA DE PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS**  
**INFORME DE ENSAYO**

**DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDAD DE FISURAS EN HORMIGÓN MEDIANTE EQUIPO DE ULTRASONIDO NO DESTRUCTIVO**

**PROYECTO :** Diseño de Rehabilitación de la Losa de HCP del Pavimento Rígido L= 1,5 Km ESPOL

**SOLICITADO POR :** Ing. Jhon Franco / Ing. Brayan Pinto

**LOCALIZACIÓN :** Guayaquil

**FISCALIZACIÓN :** .....

**CONTRATISTA :** .....

**ENSAYO REALIZADO :** LMC - PUCE

**FECHA DE RECEPCIÓN :** 20/10/2025

**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM C 597

**FECHA DE EMISIÓN :** 23/10/2025

**ORDEN DE TRABAJO:** 1003 PT

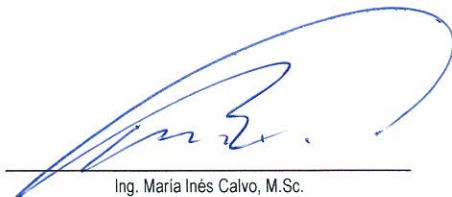
**HOJA :** 1 de 1

**EQUIPO UTILIZADO:** TOYOKO ELMES - Ultrasonic Non-Destructive Tester

ELEMENTO:	PAVIMENTO RÍGIDO	
EDAD DEL ELEMENTO:	+ 28 DÍAS	
PUNTO 1	COORDENADA X	617088
	COORDENADA Y	9763151
PROFUNDIDAD DE FISURA MEDIDA (mm)	40,6	
PUNTO 2	COORDENADA X	617140
	COORDENADA Y	6762940
PROFUNDIDAD DE FISURA MEDIDA (mm)	41,5	
PUNTO 3	COORDENADA X	617122
	COORDENADA Y	9762875
PROFUNDIDAD DE FISURA MEDIDA (mm)	10,8	
PUNTO 4	COORDENADA X	617128
	COORDENADA Y	9763038
PROFUNDIDAD DE FISURA MEDIDA (mm)	86,0	
PUNTO 5	COORDENADA X	616688
	COORDENADA Y	9762200
PROFUNDIDAD DE FISURA MEDIDA (mm)	61,5	

**NOTA:** La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC PUCE.

OBSERVACIONES:

  
Ing. María Inés Calvo, M.Sc.  
RESPONSABLE DE ÁREA



Ing. Jorge Albuja, M.Sc., Ph.D  
COORDINADOR

