



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL RAFAELA  
Departamento Ingeniería Civil**

Asignatura  
**PROYECTO FINAL**

**COMPARACIÓN TÉCNICO -  
ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO  
RÍGIDO Y UNO FLEXIBLE PARA LA  
REPAVIMENTACIÓN DE TRAMO EN  
COLECTORA.**

AUTOR  
**FARANDATO PAULA**

DIRECTOR  
**ING. CIVIL BURGI MARINA**

RAFAELA (SF), Octubre de 2021.

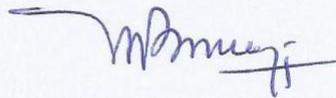


**COMPARACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA ENTRE UN  
PAVIMENTO RÍGIDO Y UNO FLEXIBLE PARA LA  
REPAVIMENTACIÓN DE TRAMO EN COLECTORA.**

PROYECTO FINAL  
ELABORADO POR  
**FARANDATO PAULA**

BAJO LA DIRECCIÓN DE  
ING. CIVIL **BURGI MARINA**

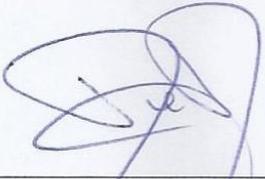
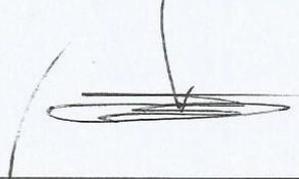
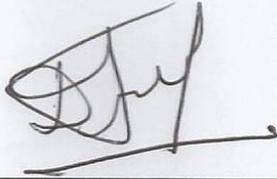
**COMPARACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA ENTRE UN  
PAVIMENTO RÍGIDO Y UNO FLEXIBLE PARA LA  
REPAVIMENTACIÓN DE TRAMO EN COLECTORA.**



Ing. Civil Marina Burgi

Director

**COMPARACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UNO FLEXIBLE PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE TRAMO EN COLECTORA.**

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN		
		
Ing. Civil Rubén Rosetti Jurado	Ing. Civil Hugo Begliardo Jurado Presidente	Ing. Const. Daniel Ferrari Jurado

## RESUMEN

El trabajo final tiene por objetivo realizar un análisis técnico - económico entre un pavimento rígido y otro flexible, con el fin de seleccionar la solución más conveniente para la repavimentación de la Colectora Luis Fanti. Tramo M. Oliber - Francisco Peretti, ciudad de Rafaela.

Se evaluó el nivel de deterioro a través de inspecciones visuales mediante el método PCI, Índice de la Condición del Pavimento. En función de lo obtenido se adoptó como solución la repavimentación de la calzada, evaluando la opción de un pavimento rígido o de uno flexible.

Para el diseño del paquete estructural, se realizó un censo volumétrico del tránsito y un estudio de suelo del sector a estudiar. Se ha empleado el método AASHTO 93 para determinar la conformación de cada paquete. En cuanto al proyecto de pavimento y desagües, se llevó a cabo el levantamiento topográfico del tramo para la verificación del escurrimiento superficial.

El proyecto se desarrolló en distintas etapas, las cuales ayudaron a determinar qué pavimento se adecua más en dicha zona, en cuestiones de durabilidad, costos e impacto ambiental.

Ambos tipos de pavimentos tienen utilidades que responden a las necesidades del proyecto, pero los resultados demostraron que el pavimento rígido es la mejor alternativa para implementar. Su vida útil presenta una amplia ventaja respecto al pavimento flexible, influyendo en el costo de ejecución.

**Palabras clave:** pavimento flexible, pavimento rígido, repavimentación, análisis técnico-económico.

# TABLA DE CONTENIDO

## CAPÍTULO 1

<b>GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 CONCEPTO.....	1
1.1.1 Pavimentos Rígidos.....	1
1.1.2 Pavimentos Flexibles.....	2
1.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO.....	2
1.2.1 Subrasante.....	2
1.2.2 Subbase.....	2
1.2.3 Base.....	3
1.2.4 Carpeta.....	3
1.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO.....	3
1.4 UBICACIÓN Y ANTECEDENTES.....	4
1.4.1 Ciudad de Rafaela, Santa Fe.....	4
1.4.2 Colectora Luis Fanti.....	5

## CAPÍTULO 2

<b>ANÁLISIS PATOLÓGICO</b> .....	7
2.1 FACTORES A CONSIDERAR.....	7
2.1.1 Tránsito.....	7
2.1.2 Clima.....	7
2.1.3 Subrasante.....	7
2.2 PATOLOGÍAS EXISTENTES.....	8
2.2.1 Piel de cocodrilo.....	8
2.2.2 Parcheo y acometidas de servicios públicos.....	9
2.2.3 Fisuras por bloque.....	10
2.2.4 Desgaste superficial.....	10
2.2.5 Fisuras de borde.....	11
2.2.6 Abultamientos.....	12
2.2.7 Pulido de agregados.....	13
2.2.8 Vegetación.....	13
2.2.9 Baches.....	13
2.3 MÉTODO PCI.....	14
2.4 METODOLOGÍA.....	14
2.4.1 Unidad de muestreo.....	14
2.4.2 Inspecciones visuales.....	15
2.4.3 Cálculo del PCI en concreto asfáltico.....	15
2.5 RESULTADOS.....	16
2.5.1 Unidad de muestra, U1.....	16

2.5.2 Unidad de muestra, U2.....	17
2.6 CONCLUSIONES.....	18
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>21</b>
3.1 RELEVAMIENTO PLANIMÉTRICO.....	21
3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	22
3.2.1 Granulometría .....	22
3.2.2 Límites de Atterberg .....	23
3.2.3 Ensayo de compactación.....	24
3.2.4 Valor soporte e hinchamiento .....	25
3.3 ESTABILIZADO CON CAL .....	26
3.3.1 Granulometría y Límites de Atterberg.....	26
3.3.2 Ensayo de compactación y .....	27
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>ANÁLISIS DE TRÁNSITO VEHICULAR .....</b>	<b>29</b>
4.1 TIPOS DE VEHÍCULOS .....	29
4.2 CÁLCULO DEL TMDA .....	29
4.3 MÉTODO PARA DETERMINAR ESAL´S.....	31
4.3.1 Factor de equivalencia.....	31
4.3.2 Factor direccional (FD) .....	31
4.4 RESULTADOS .....	32
4.4.1 Cálculo del Tránsito Medio Diario Anual .....	32
4.4.2 Cálculo del ESAL´S.....	33
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL .....</b>	<b>35</b>
5.1 DISEÑO GEOMÉTRICO .....	35
5.1.1 Diseño perfil longitudinal.....	35
5.1.2 Diseño perfil transversal .....	35
5.2 DISEÑO ESTRUCTURAL .....	36
5.2.1 Confiabilidad R y Desviación Estándar $Z_r$ .....	37
5.2.2 Índice de serviciabilidad $\Delta PSI$ .....	37
5.2.3 Desviación Estándar $S_o$ .....	38
5.2.4 Coeficiente de transferencia de carga J.....	38
5.2.5 Coeficiente de drenaje $C_d$ .....	39
5.2.6 Módulo de rotura del hormigón $S'_c$ .....	39
5.2.7 Módulo de elasticidad del hormigón $E_c$ .....	39
5.2.8 Módulo Resiliente $M_r$ .....	39
5.2.9 Número estructural SN .....	40
5.2.9.1 Coeficientes de capas .....	40

5.2.9.2 Coeficiente de drenaje.....	42
5.3 RESULTADOS PAVIMENTO RÍGIDO.....	42
5.3.1 Estabilizado con cal.....	43
5.3.2 Juntas.....	43
5.4 RESULTADO PAVIMENTO FLEXIBLE .....	45
5.5 CONCLUSIONES.....	46
5.6 BOCA DE DESAGÜE.....	48
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>CÓMPUTO Y PRESUPUESTO .....</b>	<b>51</b>
6.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	51
6.2 ANÁLISIS DE PRECIOS .....	51
6.2.1 Trabajos para ambos pavimentos.....	52
6.2.2 Trabajos para pavimento Rígido.....	53
6.2.3 Trabajos para pavimento Flexible.....	54
6.3 RESULTADOS.....	56
<b>CAPÍTULO 7</b>	
<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>59</b>
7.1 GENERALIDADES.....	59
7.2 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	59
7.3 RESULTADOS.....	60
7.3.1 Etapa preliminar .....	63
7.3.2 Etapa de Construcción del Pavimento Rígido.....	63
7.3.3 Etapa de Construcción del Pavimento Flexible.....	64
7.3.4 Etapa Operación .....	65
<b>CAPÍTULO 8</b>	
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO I</b>	
<b>MÉTODO PCI.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO II</b>	
<b>RELEVAMIENTO PLANIMÉTRICO .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO III</b>	
<b>ENSAYOS LABORATORIO.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO IV</b>	
<b>E.S.A.L FACTOR .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO V</b>	
<b>PERFILES LONGITUDINALES.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO VI</b>	
<b>NOMOGRAMAS.....</b>	<b>111</b>

**ANEXO VII**  
**DETALLES ESTRUCTURALES..... 117**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Rango de clasificación del PCI. Fuente ASTMD 6433.....	14
<b>Tabla 2:</b> Valores deducidos muestra U1 .....	16
<b>Tabla 3:</b> Valores del máximo valor deducido corregido. Muestra 1 .....	16
<b>Tabla 4:</b> Valores deducidos muestra U2.....	17
<b>Tabla 5:</b> Valores del máximo valor deducido corregido. Muestra 2 .....	17
<b>Tabla 6:</b> Análisis granulométrico, suelo natural.....	23
<b>Tabla 7:</b> Clasificación de los valores del ensayo CBR .....	26
<b>Tabla 8:</b> Comparación entre suelo natural y suelo con 5% de cal.....	27
<b>Tabla 9:</b> Factores de variación Horaria.....	30
<b>Tabla 10:</b> Factores de variación Diaria .....	30
<b>Tabla 11:</b> Factores de variación Mensual .....	30
<b>Tabla 12:</b> Censo volumétrico de tránsito.....	32
<b>Tabla 13:</b> ESAL para pavimento Rígido.....	33
<b>Tabla 14:</b> ESAL para pavimento Flexible.....	33
<b>Tabla 15:</b> Pendientes máximas. Fuente AASHTO 2011 .....	35
<b>Tabla 16:</b> Niveles de confiabilidad sugeridos. Fuente AASTHO 93.....	37
<b>Tabla 17:</b> Valores de desviación estándar $Z_r$ . Fuente AASTHO 93.....	37
<b>Tabla 18:</b> Valores para la transferencia de carga J. Fuente AASTHO 93 .....	38
<b>Tabla 19:</b> Valores de coeficiente de drenaje $C_d$ . Fuente AASTHO 93.....	39
<b>Tabla 20:</b> Diámetro de los pasadores. Fuente AASHTO 93.....	44
<b>Tabla 21:</b> Precipitaciones en Rafaela por trimestre. Fuente Panigatti,1968 .....	48
<b>Tabla 22:</b> Coeficiente resumen.....	51
<b>Tabla 23:</b> Análisis de precio. Extracción del pavimento existente .....	52
<b>Tabla 24:</b> Análisis de precio. Remodelación Vereda.....	52
<b>Tabla 25:</b> Análisis de precio. Construcción de cordón .....	53
<b>Tabla 26:</b> Análisis de precio. Preparación de la Subrasante - e = 15 cm .....	53
<b>Tabla 27:</b> Análisis de precio. Ejecución Pavimento de Hormigón - e = 15 cm.....	54
<b>Tabla 28:</b> Análisis de precio. Preparación de la Subbase - e = 35 cm .....	54
<b>Tabla 29:</b> Análisis de precio. Preparación de la base - e = 10 cm.....	55
<b>Tabla 30:</b> Análisis de precio. Ejecución Pavimento de Concreto Asfáltico. e = 12 cm.....	55
<b>Tabla 31:</b> Análisis de precio. Ejecución de cunetas .....	56
<b>Tabla 32:</b> Discriminación de los impactos según sus características sistema Prognos II.....	60
<b>Tabla 33:</b> Comparación pavimento rígido y flexible .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de paquetes estructurales. ....	1
<b>Figura 2:</b> Distribución de esfuerzos en pavimentos. ....	3
<b>Figura 3:</b> Red Vial Existente. Año 2018.....	4
<b>Figura 4:</b> Localización del tramo a evaluar. ....	5
<b>Figura 5:</b> Estado actual de la colectora Luis Fanti. ....	8
<b>Figura 6:</b> Patología: piel de cocodrilo. ....	8
<b>Figura 7:</b> Patología: baches de hormigón y acometidas por servicio público.....	9
<b>Figura 8:</b> Patología: fisuras de borde ..... 10	10
<b>Figura 9:</b> Patología: desgaste superficial..... 11	11
<b>Figura 10:</b> Patología: fisuras de borde ..... 12	12
<b>Figura 11:</b> Patología: abultamientos..... 12	12
<b>Figura 12:</b> Patología: vegetación..... 13	13
<b>Figura 13:</b> Patología: baches ..... 13	13
<b>Figura 14:</b> División en unidades de muestra para un pavimento flexible. .... 14	14
<b>Figura 15:</b> Hoja de datos de inspección. Fuente ASTM D 6433. .... 15	15
<b>Figura 16:</b> Unidad de muestra U1. .... 16	16
<b>Figura 17:</b> Unidad de muestra U2. .... 17	17
<b>Figura 18:</b> Porcentaje de patologías en superficie afectada ..... 18	18
<b>Figura 19:</b> Porcentaje de severidad de patologías en superficie afectada ..... 19	19
<b>Figura 20:</b> Ubicación del Punto Fijo..... 21	21
<b>Figura 21:</b> Carta plástica de Casagrande. Fuente ASTM D 2487-93..... 24	24
<b>Figura 22:</b> Resultado Ensayo Proctor en suelo natural..... 25	25
<b>Figura 23:</b> Clasificación vehicular propuesta por "Federal Highway Administration"..... 29	29
<b>Figura 24:</b> Tabla para cálculo de ESAL. .... 31	31
<b>Figura 25:</b> Clasificación Vehicular ..... 32	32
<b>Figura 26:</b> Transferencia de carga entre losas. Fuente AASHTO 93..... 38	38
<b>Figura 27:</b> Relación entre CBR y el módulo de reacción k. Fuente AAHTO 93..... 40	40
<b>Figura 28:</b> Carta para estimar coeficiente $a_1$ . Fuente AAHTO 93 ..... 41	41
<b>Figura 29:</b> Carta para estimar coeficiente $a_2$ . Fuente AAHTO 93 ..... 41	41
<b>Figura 30:</b> Carta para estimar coeficiente $a_3$ . Fuente AAHTO 93 ..... 42	42
<b>Figura 31:</b> Espesores para pavimento rígido con suelo natural y con 5% de cal ..... 43	43
<b>Figura 32:</b> Espesores para pavimento flexible con suelo natural..... 45	45
<b>Figura 33:</b> Estado del pavimento según los valores IRI. Fuente Hirpahuanca, 2016. .... 46	46
<b>Figura 34:</b> IRI en función del tiempo para pavimento rígido, $e = 15$ cm ..... 47	47
<b>Figura 35:</b> IRI en función del tiempo para pavimento rígido, $e = 14$ cm ..... 47	47
<b>Figura 36:</b> IRI en función del tiempo para pavimento flexible, $e = 12$ cm..... 48	48
<b>Figura 37:</b> Boca de Desagüe en Colectora Luis Fanti ..... 49	49

<b>Figura 38:</b> Presupuesto para la construcción pavimento flexible. ....	56
<b>Figura 39:</b> Presupuesto para la construcción pavimento rígido .....	57
<b>Figura 40:</b> Matriz de Interacciones de Impacto. Pavimento rígido .....	61
<b>Figura 41:</b> Matriz de Interacciones de Impacto. Pavimento flexible .....	62
<b>Figura 42:</b> Porcentaje de impactos en etapa preliminar .....	63
<b>Figura 43:</b> Porcentaje de impactos en etapa construcción pavimento rígido .....	64
<b>Figura 44:</b> Porcentaje de impactos en etapa construcción pavimento flexible .....	65

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

“Los caminos se originan cuando el hombre deja de ser nómada y requiere conectarse con otros grupos humanos para intercambiar objetos o alimentos. Cuando estos senderos empiezan a ser muy transitados surge la necesidad de mejorar algunas de sus características tales como el ancho, la superficie, y el paso del curso de agua. Pero es a partir de la aparición de los vehículos de arrastre y rodadura que se da la gran transformación de los caminos de simple senderos a vías con ciertas condiciones de superficie de rodadura y geometría.” (Acurio, 2009)

### 1.1 CONCEPTO

De acuerdo a la Norma AASHTO, desde el punto de vista de la Ingeniería, el pavimento se define como un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante.

Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un período (Velásquez, 2008).

Las principales funciones son proporcionar una superficie de rodamiento uniforme y resistente a las acciones del tránsito y agentes climáticos. También debe transmitir adecuadamente los esfuerzos de la carpeta a la subrasante, de modo que ésta no se deforme.

Dependiendo del tipo de superficie de rodamiento los pavimentos se pueden clasificar en rígidos o flexibles. En la Figura 1 se ilustra sobre dos tipos de paquetes estructurales.

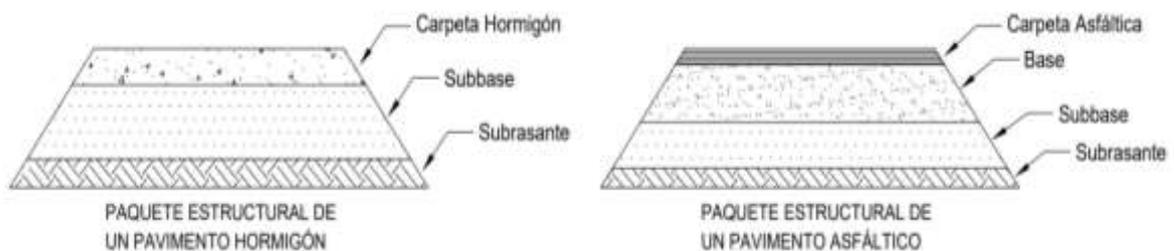


Figura 1 - Tipos de paquetes estructurales.

#### 1.1.1 Pavimentos Rígidos

El pavimento rígido se compone de una carpeta de losas de hormigón, separadas por juntas transversales y longitudinales. Los materiales que lo componen son el agua, cemento, áridos y en algunos casos aditivos.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

- Hormigón simple con juntas.
- Hormigón armado con juntas.
- Hormigón armado con refuerzo continuo.

En el pavimento de hormigón simple no contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es aproximadamente de 5 m. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas, los cuales son barras de acero liso. Su función es transmitir las cargas de una losa a otra, mejorando las condiciones de deformación en las juntas.

La losa se construye sobre la subrasante elaborada con o sin estabilizados. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores ya que las cargas son soportadas principalmente por la resistencia a la flexión del hormigón, disipando ampliamente su efecto en el suelo bajo la subrasante.

El costo inicial es más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía alrededor de los 30 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas (Velásquez, 2008).

### **1.1.2 Pavimentos Flexibles**

Un pavimento flexible o de asfalto consiste en una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento. Esta descansa sobre una base, subbase y una carpeta de material natural denominado subrasante.

Las capas asfálticas están formadas por una composición de áridos de diferentes tamaños con material asfáltico. Según ASTM (American Society for Testing and Materials), el asfalto es un material aglomerante, sólido o semisólido, de color que varía de negro a pardo oscuro, que se licúa gradualmente al calentarse, constituido predominantemente por mezclas de hidrocarburos. Son muy adhesivos, de gran impermeabilidad, durables, de características plásticas y confieren flexibilidad.

El asfalto a la mezcla le otorga viscosidad, permitiendo que sea manejable a altas temperaturas, en el proceso de colocación y, además, su comportamiento mecánico permite micro deformaciones elásticas.

Las cargas de las ruedas son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida útil alrededor de los 10 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con ello (Velásquez, 2008).

## **1.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO**

### **1.2.1 Subrasante**

La subrasante debe poseer resistencia, facilidad de drenaje y de compactación, permanencia de la compactación y de la resistencia. También debe ajustarse a las especificaciones técnicas del proyecto. El espesor del pavimento flexible depende de la resistencia de la subrasante terminada.

La compactación es esencial para aumentar la densidad de la subrasante, con lo cual disminuye el potencial de humedad, dando como resultado un aumento de la resistencia. El suelo a utilizar debe ser compactable y obtener por lo menos el 95% de su densidad máxima determinada por el ensayo de compactación (Ensayo Proctor Estándar).

### **1.2.2 Subbase**

Sirve como capa de transición, suministrando un apoyo uniforme, estable y permanente para el pavimento (Sabogal, 2002). Tiene por función soportar los esfuerzos que le transmite la base y transferirlos al terreno de fundación, es decir, a la subrasante.

Además, controla el ascenso capilar de las aguas provenientes de las napas freáticas, impidiendo que las deformaciones se reflejan en la superficie de rodamiento, mejorando la capacidad de soporte del suelo.

Ayuda a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y la función más importante de la subbase es impedir la acción de bombeo<sup>1</sup> en las juntas, grietas y extremos del pavimento (Sabogal, 2002).

La subbase debe tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado, por lo tanto, se estabiliza con cal o cemento, modificando las propiedades del suelo para que sea adecuado a la utilización prevista.

La cal mejora las características plásticas de los suelos, aumentando el valor soporte, eliminando la susceptibilidad al agua y reduciendo la tendencia al hinchamiento. Estas acciones permanecen a través del tiempo.

### 1.2.3 Base

Es una capa de muy alta estabilidad. Su función es absorber los esfuerzos generados por las cargas de los vehículos y reducirlas hasta valores admisibles para las capas inferiores. También debe repartir uniformemente los esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación.

### 1.2.4 Carpeta

Constituye el área por donde circulan los vehículos. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme, estable y de textura conveniente. Debe resistir los efectos abrasivos del tránsito y transmitir adecuadamente los esfuerzos a las capas inferiores.

También impide el paso del agua al interior y su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento (Sabogal, 2002).

## 1.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO

El comportamiento estructural del pavimento depende de las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre ambos pavimentos es la forma de cómo se reparten las cargas (Figura 2).

En pavimentos rígidos, la losa es la que soporta y distribuye uniformemente las cargas, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad. Las capas inferiores, en términos de resistencia, son despreciables, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. (Velásquez, 2008).

En un pavimento flexible, al tener menor rigidez, la carpeta se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.

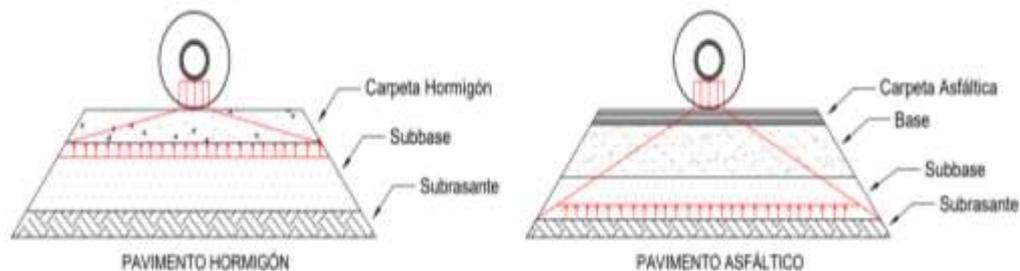


Figura 2 - Distribución de esfuerzos en pavimentos.

<sup>1</sup> Fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración del agua por las juntas de las losas (Sabogal, 2002).

## 1.4 UBICACIÓN Y ANTECEDENTES

### 1.4.1 Ciudad de Rafaela, Santa Fe

La ciudad de Rafaela, situada en el centro oeste de la provincia de Santa Fe, a la vera de la Ruta Nacional 34, tiene una superficie de 156 km<sup>2</sup>. La población estimada de la ciudad en 2019 fue de 106.000 habitantes.

La disposición de la ciudad es en damero con una plaza central de cuatro manzanas de extensión y cuatro avenidas que nacen en ella. La geografía urbana es homogénea, excepto en la zona noreste donde las calles tienen traza diagonal<sup>2</sup>.

Este cambio abrupto viene dado por la Avenida Mitre que se hizo para acortar el camino hacia las estaciones de tren cuando este llegó a Rafaela en el siglo XIX. Esto le ha dado una fisonomía diferente a una amplia zona de la ciudad.

En la Figura 3 se encuentra la red vial existente de Rafaela, donde el 82% de la ciudad tiene pavimento (incluyendo el adoquinado). Hay sólo 32 cuadras de tierra en Rafaela. Con el tiempo este número va a ir disminuyendo. En cuanto a las calles de ripio, hay 156 cuadras, mientras que las que tienen ripio y cordón cuneta alcanzan las 560 cuadras.

En Rafaela son 2789 las cuadras que tienen pavimento de hormigón, 239,5 cuadras tienen concreto asfáltico con cordón cuneta y 223 cuadras poseen concreto asfáltico. En tanto 217 cuadras tienen adoquinado. Es decir que de las 4216,5 cuadras que tiene la ciudad, 3468,3 se hallan pavimentadas, lo que representa el 82 por ciento.



Figura 3 - Red Vial Existente. Año 2018

<sup>2</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Rafaela>

### 1.4.2 Colectora Luis Fanti

De las 462,5 calles de concreto asfáltico, la que se ubica en la Colectora Luis Fanti entre M. Oliber y Francisco Peretti, barrio Amancay, se encuentra en mal estado. Tiene un ancho de 7,4 m y un largo de 69 metros lineales. Es de un solo sentido, los autos circulan de oeste a este (Figura 4).

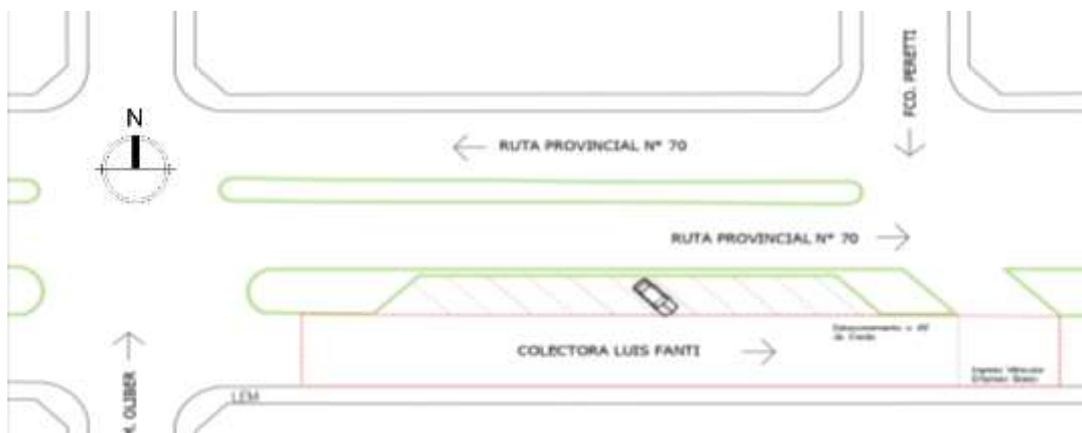


Figura 4 - Localización del tramo a evaluar.

Es una calle colectora, es decir, tiene la función de unir las vías primarias, en este caso la Ruta Nº 70, con las calles locales. Estas tienen características geométricas más reducidas y pueden tener zonas de estacionamiento, tránsito intenso de corto recorrido y acceso a las propiedades.

A su alrededor poseen islas separadoras, dividiendo las corrientes de tránsito del mismo sentido cuando uno de ellos realiza movimientos de giro. También isletas peatonales que sirven como refugio a los peatones que deben atravesar la intersección.

Se construyó en la década del '80, ya que los costos de un pavimento de concreto asfáltico con cordón cuneta de hormigón, resultaba una opción más económica que la tradicional de hormigón.

El paquete estructural está compuesto por con una subrasante o subbase compactada, una base de suelo-arena cal de 10 centímetros de espesor, riego de imprimación y carpeta de concreto asfáltico de 7,5 centímetros.

La propuesta de este tipo de pavimento, con el paquete estructural descrito anteriormente y para barrios de densidad media, resultaba óptima para un período de vida útil de 10 años, siempre que se mantuvieran las condiciones primigenias que componían las distintas capas.

La calle hoy en día tiene 32 años, pasados 22 de su vida útil. Esto provocó diversos medios de deterioro como, el aumento del flujo vehicular causado por el crecimiento de la empresa Basso S.A<sup>3</sup>, el aumento demográfico de la ciudad y el tendido de cañerías de gas, produciendo la falla de las capas inferiores. A pesar de que se han hecho algunos trabajos de reparación, no han sido suficientes.

Se puede decir que la calle está en la fase de fatiga, donde las deflexiones causadas por el paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en el asfalto, produciendo un colapso gradual, requiriendo una reconstrucción.

<sup>3</sup> Basso S.A es una empresa de Rafaela (Santa Fe), especializada en la fabricación de válvulas para motores de maquinaria agrícola, de competición y alta performance



## **CAPÍTULO 2**

# **ANÁLISIS PATOLÓGICO**

Valenzuela y Oliva (2002), definieron dos tipos de fallas:

- Estructural: es una deficiencia del pavimento que ocasiona una reducción en la capacidad de carga. No necesariamente implica una falla estructural inmediata.
- Funcional: consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocia el índice de servicio<sup>4</sup>, que afecta la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

Los dos tipos de fallas no están relacionados, pero cuando se produce una estructural, también ocurrirá la funcional o viceversa.

### **2.1 FACTORES A CONSIDERAR**

Las principales variables que afectan directa o indirectamente el comportamiento de los pavimentos son:

#### **2.1.1 Tránsito**

Para el dimensionamiento de los pavimentos interesan las cargas por eje esperadas en el carril de diseño. Éstas determinan la estructura del pavimento para el período de diseño adoptado (Escobar et al., 2012).

Por lo tanto, para el diseño es importante conocer el número, tipo y peso de vehículos que transitan. De lo contrario, pueden sufrir daños permanentes, soportando cargas mucho mayores a las esperadas.

#### **2.1.2 Clima**

Los elementos del clima que más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las primeras elevan el nivel freático influyendo en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos (Escobar et al., 2012).

Las segundas ocasionan, en las losas de pavimentos rígidos, esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas (Escobar et al., 2012).

En los pavimentos flexibles, el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica. Por lo tanto, la variación de temperatura puede ocasionar modificaciones en el módulo de elasticidad de la capa asfáltica, ocasionando deformaciones o agrietamientos.

#### **2.1.3 Subrasante**

El espesor de un pavimento, sea flexible o rígido depende de la calidad de la subrasante. Como parámetro de evaluación se utiliza el valor soporte CBR (California Bearing Ratio), con el fin de determinar el índice de resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

La humedad en los suelos puede ocasionar disminución de resistencia, variaciones de volúmenes de tipo expansivo ocasionando graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste.

---

<sup>4</sup> Es un indicador de la calidad funcional del pavimento, que determina la confortabilidad de un pavimento al tránsito (Escobar et al., 2012).

## 2.2 PATOLOGÍAS EXISTENTES

A partir de una evaluación visual de la calle a tratar, de las definiciones de Varela (2002) y las Normas ASTM D6433, las patologías que se pueden observar en la Figura 5 de la Colectora Luis Fanti son:



Figura 5 - Estado actual de la colectora Luis Fanti.

### 2.2.1 Piel de cocodrilo

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito (Figura 6). El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica o base estabilizada, donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda.



Figura 6 - Patología: piel de cocodrilo.

Ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión.

Otra causa que contribuye a que se produzca este tipo de falla, es el envejecimiento del ligante asfáltico, que trae consigo la pérdida de flexibilidad del pavimento (Velásquez, 2008).

La mayoría de las veces la piel de cocodrilo viene acompañada con hundimiento, los cuales corresponden a desplazamientos hacia abajo con respecto a la superficie, que distorsionan el perfil de la carretera.

Los niveles de severidad son:

- Baja: fisuras muy finas, menores a 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión.
- Media: fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos.
- Alta: constituye una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos. Algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidas al tránsito y/o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

### 2.2.2 Parcheo y acometidas de servicios públicos

Un parche es un área de pavimento, la cual ha sido reemplazada con material nuevo, con el fin de reparar el pavimento existente (Figura 7). Los parches disminuyen el nivel de servicio de la vía, pues el comportamiento del área parchada es inferior a la del pavimento original, incluso el área adyacente. Por lo general se encuentra alguna rugosidad asociada con este daño.

Los niveles de severidad son:

- Baja: el parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro.
- Media: el parche se encuentra moderadamente deteriorado. Se evidencia un moderado deterioro alrededor de sus bordes.
- Alta: el parche está severamente dañado. La extensión o severidad de estos daños indican una condición de falla, siendo necesario su reemplazo.



Figura 7 - Patología: baches de hormigón y acometidas por servicio público.

### 2.2.3 Fisuras por bloque

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares (Figura 8). Las grietas en bloque se originan por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios.

No están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos.

Los niveles de severidad son:

- Baja: fisuras sin sellar, de ancho promedio a 2 mm o fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condiciones satisfactorias que no permiten la filtración de agua.
- Media: fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 2 y 5 mm o fisura sellada de cualquier ancho, pero el material de sello está en condiciones insatisfactorias.
- Alta: fisuras sin sellar, de ancho mayor a 5 mm.



Figura 8 - Patología: fisuras de borde.

### 2.2.4 Desgaste superficial

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como la pérdida del ligante asfáltico y mortero, provocando la aceleración su deterioro (Figura 9).

Algunas causas son: que el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, la mezcla presente es de pobre calidad o un deterioro natural del pavimento.

Esto también produce pérdida de agregado, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.

Los niveles de severidad son:

- Baja: pequeñas oquedades superficiales, distribuidas en la superficie del pavimento. El agregado y/o el ligante han comenzado a desprenderse en algunos sectores.
- Media: extensivos desprendimientos de agregados pétreos finos y/o de ligante, confieren a la superficie una textura abierta y rugosa.
- Alta: extensivo desprendimiento de agregados pétreos gruesos y finos, confiere a la superficie una textura muy rugosa, con presencia de oquedades de máximo 10 y 15 mm de diámetro y profundidad respectivamente.



Figura 9 - Patología: desgaste superficial.

### 2.2.5 Fisuras de borde

Las fisuras de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento (Figura 10). Este tipo de falla se incrementa por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento y a las condiciones climáticas.

Los niveles de severidad son:

- Baja: fisuras paralelas al borde, de severidad baja o moderada, sin signos de peladuras, desintegración y canales de erosión.
- Media: fisuras paralelas al borde, de severidad alta, y/o peladuras de cualquier tipo, sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos.
- Alta: se observa una considerable desintegración total de los bordes, con importantes sectores removidos por el tránsito. Éste resulta serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.



Figura 10 - Patología: fisuras de borde.

### 2.2.6 Abultamientos

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento (Figura 11). Son causados cuando los pavimentos asfálticos limitan con pavimentos rígidos. Las losas de hormigón al aumentar su volumen, empujan al pavimento flexible produciéndose el desplazamiento.

Los niveles de severidad son:

- Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.
- Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.
- Alta incidencia en la comodidad de manejo, condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad con peligro para la circulación.



Figura 11 - Patología: abultamientos.

### 2.2.7 Pulido de agregados

Es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente.

### 2.2.8 Vegetación

Acumulación de la vegetación en el área de circulación, próxima a las juntas del pavimento, dificultando el normal funcionamiento del mismo (Figura 12). La vegetación en la calle estudiada es baja, no sobrepasan una altura máxima de 10 a 15 cm, y por consiguiente no restringen la utilización del paseo en casos de emergencia.



Figura 12 - Patología: vegetación.

### 2.2.9 Baches

Los baches son pequeñas depresiones en forma de cuenco en la superficie del pavimento, generalmente tienen bordes afilados (Figura 13). Cuando se crean agujeros por agrietamiento de cocodrilo de alta gravedad, deben identificarse como baches.



Figura 13 - Patología: baches.

## 2.3 MÉTODO PCI

Para llevar a cabo este análisis, se utilizó la norma de la ASTM D 6433, en donde el método del cual trata es el del “Índice de la Condición del Pavimento” (PCI).

Fue desarrollado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos a cargo del centro de Ingeniería por M. Y. Shahin y S. D. Khon, publicado por primera vez en 1978, con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

El PCI es un indicador numérico, que califica el estado de la superficie del pavimento. Proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (Norma ASTM D 6433).

No mide la capacidad estructural del pavimento, solo proporciona un conocimiento acerca de la condición real del camino. De acuerdo con la Tabla 1, este índice numérico varía desde cero, para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien para un pavimento en perfecto estado. Es el resultado de un inventario visual.

Tabla 1 - Rango de clasificación del PCI. Fuente ASTM D 6433

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 -70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 -40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

## 2.4 METODOLOGÍA

### 2.4.1 Unidad de muestreo

El primer proceso que se lleva a cabo es la obtención de las unidades de muestreo, las cuales corresponden a los tramos de la calle que van a ser evaluados.

El área de las unidades de muestreo debe estar en el intervalo de  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ , con un ancho menor o igual que 7,40 m. Por lo tanto, la unidad de muestra se divide en dos áreas de  $255,3 \text{ m}^2$  (Figura 14).

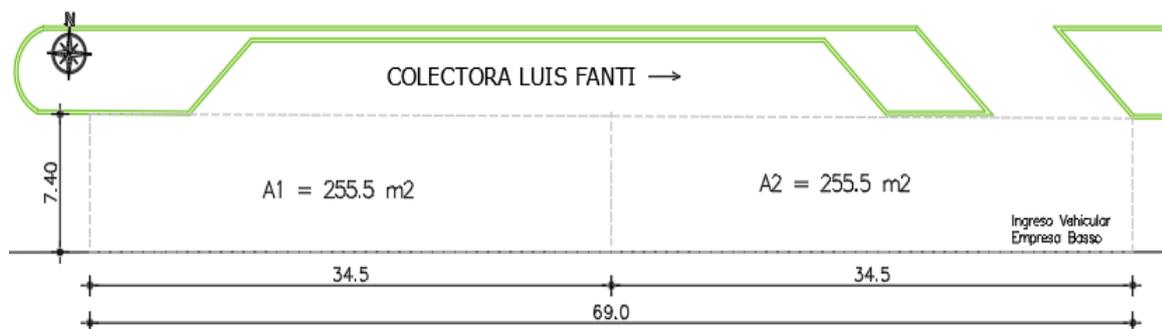


Figura 14 - División en unidades de muestra para un pavimento flexible.

## 2.4.2 Inspecciones visuales

Se inspeccionan las unidades de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con la Norma ASTM D 6433 y se registra la información según el formato de la Figura 15.

ASPHALT SURFACED ROADS AND PARKING LOTS CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT								SKETCH:			
BRANCH _____		SECTION _____		SAMPLE UNIT _____							
SURVEYED BY _____		DATE _____		SAMPLE AREA _____							
1. Alligator Cracking		6. Depression		11. Patching & Util Cut Patching		16. Shoving					
2. Bleeding		7. Edge Cracking		12. Polished Aggregate		17. Slippage Cracking					
3. Block Cracking		8. Jt. Reflection Cracking		13. Potholes		18. Swell					
4. Bumps and Sags		9. Lane/Shoulder Drop Off		14. Railroad Crossing		19. Weathering/Raveling					
5. Corrugation		10. Long & Trans Cracking		15. Rutting							
DISTRESS SEVERITY	QUANTITY								TOTAL	DENSITY %	DEDUCT VALUE

Figura 15 - Hoja de datos de inspección. Fuente ASTM D 6433.

## 2.4.3 Cálculo del PCI en concreto asfáltico

El índice de condición del pavimento se debe calcular para cada una de las unidades de muestra que presenten deterioros en la capa de rodadura. Los pasos para dicho cálculo son los siguientes:

### 1- Cálculo de Valores Deducidos (VD)

Sumar la cantidad total de cada tipo de falla para cada nivel de falla y registrarlo como "Total de gravedad". Las unidades pueden estar en metros cuadrados o metros lineales.

Dividir la cantidad total de cada tipo de falla por el área total de la unidad de muestra y multiplicarlo por 100 para obtener la densidad porcentual de cada una. Para finalizar, se determina el valor deducido (VD) para cada tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido (Anexo I).

### 2- Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m):

Al no haber valores deducidos menores a 2, el número máximo admisible de valores deducidos se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - DM) \quad (1)$$

Donde, m es el número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo y DM el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i. Por lo tanto, el número de valores individuales deducidos se reduce a m.

El valor "m" hace referencia a la cantidad de fallas en una misma unidad de muestreo que pueden ser utilizados para el cálculo del valor deducido total (VDT), de manera que se van seleccionando las fallas de forma descendente hasta completar el valor de "m", en caso de haber menos valores deducidos que "m", se utilizan todos los valores deducidos.

### 3- Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido (CVD)

Determinar el número de valores deducidos mayores a dos. Esa cantidad se denomina "q". Luego de determinar el VDT, se suman todos los valores deducidos y se ingresa a las curvas de corrección para obtener el valor deducido corregido (CVD) de acuerdo con el "q" correspondiente.

#### 4- Cálculo de PCI:

Determinar el máximo valor deducido corregido y calcular el valor del índice de condición del pavimento mediante la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - CVD_{m\acute{a}x} \quad (2)$$

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1 Unidad de muestra, U1

En la muestra U<sub>1</sub>, delimitada en la Figura 16, las fallas encontradas con nivel de severidad alta son: piel de cocodrilo, peladuras y hundimientos, siendo este último el más representativo, con un porcentaje de ocupación de superficie del 13,37%, siendo un 34,15 m<sup>2</sup> de la unidad de muestra.

Los baches encontrados son de severidad alta, representado un 0,42% de la superficie de muestra (1,08 m<sup>2</sup>). En estas fallas también se incluyen grietas bien definidas con desprendimientos de material en los bordes y en algún caso con movimientos independientes a la acción del tráfico.

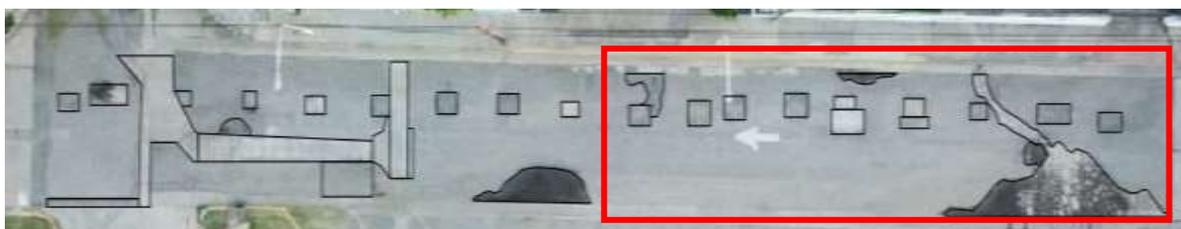


Figura 16 - Unidad de muestra U1.

De la planilla de Anexo I, podemos determinar los siguientes valores:

#### 1- Cálculo de los Valores Deducidos (Tabla 2).

Tabla 2 - Valores deducidos muestra U1

N°	Falla	Total (m <sup>2</sup> )	Densidad	Valor Deducido
1	1. H	24,20	9,5%	62
2	11. L	13,23	5,18%	10
3	13. H	1,08	0,42%	38
4	4. M	11,03	4,32%	17
6	18. H	34,15	13,37%	47

#### 2- Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m), utilizando el valor máximo de VD

De ecuación (1) 
$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - 62) = 4,5 \cong 5$$

#### 3- Cálculo del "Máximo Valor Deducido Corregido" (Tabla 3).

Tabla 3 - Valores del máximo valor deducido corregido. Muestra 1

Valores Deducidos					VDT	q	CDV
62	47	38	17	10	174	5	88
62	47	38	17	2	166	4	89
62	47	38	2	2	151	3	89
62	47	2	2	2	115	2	79
62	2	2	2	2	70	1	70

4- Cálculo del PCI de la Unidad de Muestreo, siendo  $CDV_{\text{máx}} = 88$

De ecuación (2)

$$PCI = 100 - 88 = 12$$

Por lo tanto, la condición del pavimento es Muy Malo.

### 2.5.2 Unidad de muestra, U2

En la muestra U<sub>2</sub>, delimitada en la Figura 17, las fallas encontradas con nivel de severidad alta son la piel de cocodrilo, hundimientos y fisuras en bloque, representando el 11,92% de la superficie. No se observan patologías de severidad baja.

Los parches son de severidad media, pero se encuentran en mayor cantidad, ocupando 42,4 m<sup>2</sup> de los 255,5 m<sup>2</sup> que tiene la unidad de muestra. Las peladuras de agregados que se encuentran en toda la superficie es de nivel medio ya que se han perdido el ligante y su textura es ligeramente rugosa y ahuecada.

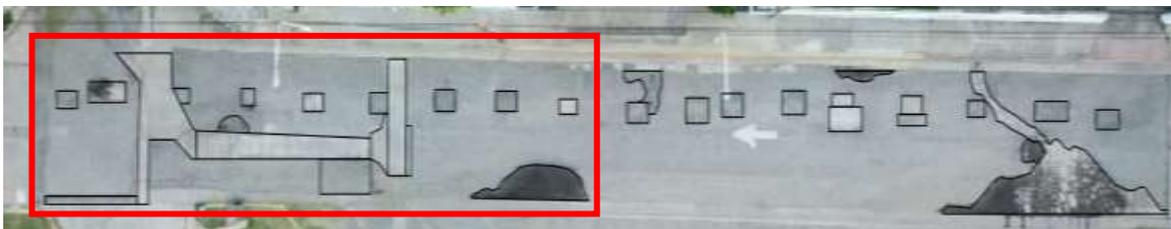


Figura 17 - Unidad de muestra U2.

De la planilla del Anexo I, podemos determinar los siguientes valores:

1- Cálculo de los Valores Deducidos (Tabla 4)

Tabla 4 - Valores deducidos muestra U2

Nº	Falla	Total (m <sup>2</sup> )	Densidad	Valor Deducido
1	4.H	14,34	5,6%	30
2	11.M	41,4	16,21%	50
3	17. M	2,00	0,78%	8
4	1.H	4,75	1,86%	38
5	3.H	11,4	4,46%	20
6	18. M	12,9	5,05%	14

2- Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m), utilizando el valor máximo de VD

De ecuación (1) 
$$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - 50) = 5,6 \cong 6$$

3- Cálculo del "Máximo Valor Deducido Corregido" (Tabla 5).

Tabla 5 - Valores del máximo valor deducido corregido. Muestra 2

Valores Deducidos						VDT	q	CDV
50	38	30	20	14	8	160	6	81
50	38	30	20	14	2	154	5	82
50	38	30	20	2	2	142	4	79
50	38	30	2	2	2	124	3	72
50	38	2	2	2	2	96	2	68
50	2	2	2	2	2	60	1	60

4- Cálculo del PCI de la Unidad de Muestreo, siendo  $CDV_{m\acute{a}x} = 82$

De ecuación (2)

$$PCI = 100 - 81 = 19$$

Por lo tanto, la condición del pavimento es Muy Malo.

## 2.6 CONCLUSIONES

La Colectora Luis Fanti tiene un pavimento de concreto asfáltico que se construyó aproximadamente en el año 1989, es decir, que ya pasaron más de 15 años de su vida útil estipulada.

Al ser el método del PCI una evaluación visual, los resultados dependen mucho de la persona que tome los datos en campo. Se pudo obtener un valor de PCI promedio de 15,5. Esto significa que la condición del pavimento es Muy Malo. Por lo tanto, la mejor solución es realizar una repavimentación para poder volver a tener una buena serviciabilidad y evitar un mayor deterioro a causa de los vehículos que transitan por la zona.

Se puede observar dos grandes fallas de piel de cocodrilo, una en cada unidad de muestreo, provocando los días de lluvia acumulación de agua. También hay 17 parches de hormigón o concreto asfáltico. Estos fueron originados por alguna acometida de algún servicio público o por hundimientos.

Las peladuras se encuentran en mayor parte de la superficie de la calle, generando una pérdida de adherencia entre la superficie de rodamiento y las ruedas de los vehículos. Además, la colectora presenta un hinchamiento en el sector de la muestra 2 donde los dos tipos de pavimentos, flexible y rígido, se encuentran.

El método PCI define un total de 7 fallas a lo largo de los 69 metros que tiene el pavimento en estudio. El área de la Colectora es de 511 m<sup>2</sup>, donde el 33%, es decir 168,63 m<sup>2</sup> se encuentra afectada por distintas patologías, las cuales se observan en la Figura 18.

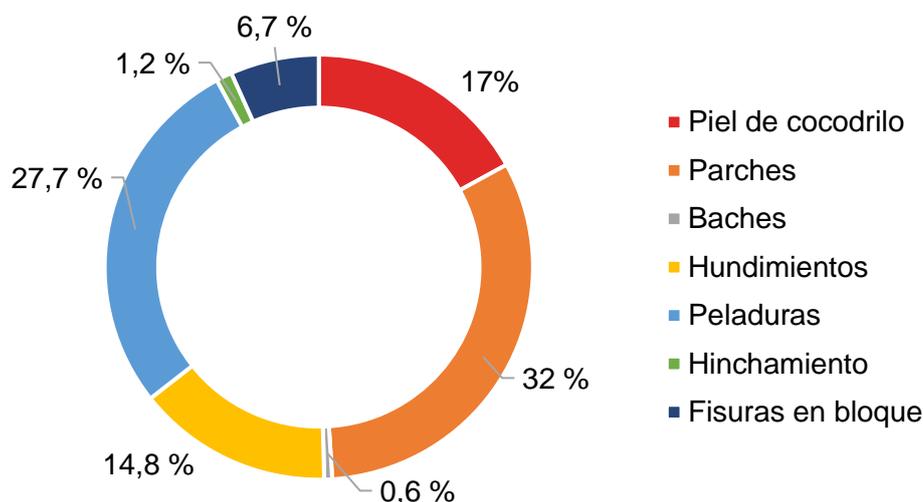


Figura 18 – Porcentaje de patologías en superficie afectada.

De la superficie afectada por las patologías, se puede afirmar que el 32% son parches, un 27,7% peladuras, un 17% piel de cocodrilo y un 14,8% hundimientos. Éstas son las cuatro principales encontradas en la Colectora analizada, ocasionadas por la repetición de cargas de tránsito, fatiga de la capa de rodadura asfáltica, pérdida del ligante asfáltico y por superar su vida útil de 10 años.

Los demás que se encuentran en menor cantidad son: fisuras por bloque, hinchamiento y baches, pero se debe tener en cuenta ya que tienen un nivel de severidad medio-alto, pudiendo llegar a provocar nuevas patologías y ocasionar mayores problemas en la circulación de los vehículos si no se realiza ninguna intervención.

Respecto a la severidad de las fallas identificadas, se encontraron los tres niveles que indica la metodología del PCI. Hay patologías que tienen dos tipos de severidad como los parches, hundimientos y peladuras.

Los parches, que se encuentran en mayor porcentaje, son los únicos que tienen severidad baja, representando un 7,8%. En cambio, los baches tienen una severidad alta y menor presencia en el pavimento.

En el gráfico de la Figura 19 se puede observar que el 53% de las patologías son de severidad alta, las cuales comprende la piel de cocodrilo, baches, peladuras, fisuras por bloque y hundimiento. Para finalizar las patologías con intensidad media son los hundimientos, parches y peladuras, representando un 32%.

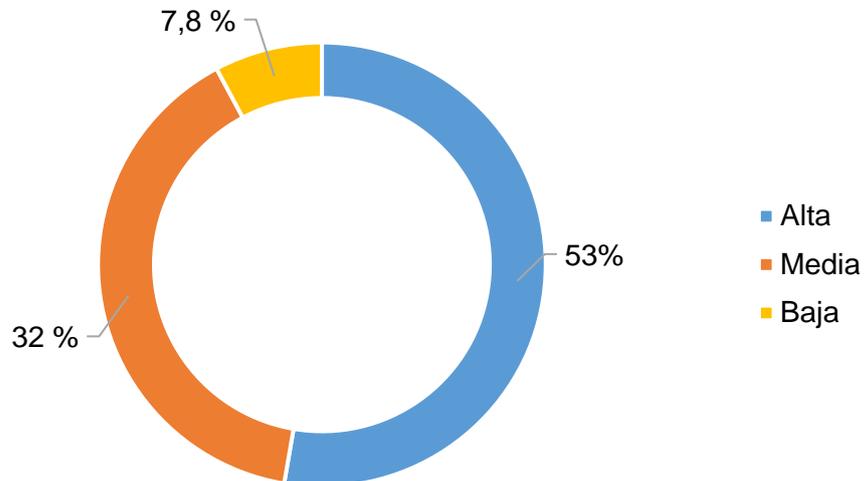


Figura 19 – Porcentaje de severidad de patologías en superficie afectada.



## **CAPÍTULO 3**

### **RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La recolección sirve para obtener información cualitativa y cuantitativa, desarrollar alternativas adecuadas para reparar los daños y prevenir su recurrencia, estimar las cantidades de obra por ejecutar, valorar la tasa de deterioro del pavimento y calcular las consecuencias económicas de un atraso en la ejecución de las obras (INVIAS, 2008).

#### **3.1 RELEVAMIENTO PLANIMÉTRICO**

La nivelación topográfica es un conjunto de operaciones para determinar la elevación de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada. El objetivo es representar una serie de puntos en un mismo plano para determinar los desniveles entre los puntos observados.

Para el relevamiento de la colectora Luis Fanti comprendido entre las calles Fco. Peretti y M. Oliber se utilizó un nivel óptico, el cual es un instrumento que permite tomar lecturas a grandes distancias, y una regla metálica que se coloca verticalmente sobre los puntos a nivelar de tal manera que puedan hacerse lecturas en su superficie.

La Municipalidad de Rafaela cuenta con una red de puntos de niveles fijos referidos a cota O.S.N. (Obras Sanitarias de la Nación), de allí se obtuvo el Punto Fijo que tiene un valor de 100,587 metros, se encuentra un poste triple de hormigón de la EPE, ubicado en el cantero central de la intersección de la Ruta Provincial RP70 y del lado este de Av. Antonio Podio, aproximadamente a 0,30 m del suelo. Se encuentra a 5 cuadras al oeste de la calle analizada (Figura 20).



Figura 20 – Ubicación del Punto Fijo.

Colocado el nivel en la posición de arranque, Punto Fijo N° 1, se avanzó en sentido Oeste – Este para obtener los distintos niveles. Se realizaron cuatro estaciones, todas sobre la Colectora Luis Fanti, donde se tuvo la precaución de tomar el punto fijo conocido a los fines de verificar los niveles posteriormente calculados y tres puntos de paso para poder enlazar los datos de cada una de las estaciones (Anexo II).

Una vez obtenidos los datos, se densificó la red de puntos de niveles fijos en el tramo del proyecto, vinculándolos con el ya existente. Se ejecutó un perfil transversal en todo el largo del proyecto a estudiar, teniendo en cuenta el ancho de la calzada, el diseño de las cunetas y de la estructura del pavimento y obras de drenaje.

Una vez calculado el punto fijo en el tramo estudiado se prosiguió a calcular las cotas cada 5 metros entre las calles Fco. Peretti y M. Oliber para estudiar en detalle el escurrimiento del sector y definir como vincular el nuevo proyecto de pavimento con las bocacalles existentes (Anexo II).

### **3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO**

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de sus características, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento.

Para esto, se sacaron dos muestras de 12 kg cada una de los canteros comprendidos entre las calles Fco. Peretti y M. Oliber, a una profundidad de 50 cm. Se extrajeron de ese sector ya que la calle se encuentra pavimentada.

Se lo llevó al Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN, Facultad Regional de Rafaela, donde fue analizada para conocer sus propiedades cualitativas y cuantitativas (Anexo III). Los ensayos realizados se basaron en las normas de Vialidad Nacional.

Se utilizaron dos tipos de suelo: uno común y otro con una adición de 5% de cal para poder comparar los resultados y ver cuál es el más conveniente estructuralmente y económicamente.

#### **3.2.1 Granulometría**

El análisis granulométrico predice las proporciones relativas de los diferentes tamaños de partículas presentes en una masa de suelo, agrupando los materiales por rangos de tamaño. También las propiedades físicas y mecánicas de los suelos están en función de su granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas.

El objetivo es establecer la distribución porcentual de las partículas finas de un suelo, o fracción fina de un material granular, de tamaño inferior a los tamices IRAM 2,0 mm (Nº 10), IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

La cantidad de suelo retenido en el tamiz IRAM 2,00 mm (Nº 10), se denomina grava. La arena gruesa es retenida en el tamiz Nº 40 y la fina por el Nº 200. Lo que pasa por el tamiz Nº 200 se considera limo y arcillas combinados.

A partir de la clasificación anterior, el H.R.B (Highway Research Board) realizó un sistema de clasificación de suelos, basándose en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los agruparon en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7:

- A-1: Suelos bien graduados, de gruesos a finos, con un ligante no plástico o débilmente plástico.
- A-1-a: Suelos en los que predominan fragmentos de piedra, o grava, con o sin material ligante bien graduado.
- A-1-b: Suelos en los que predominan arenas gruesas, con o sin material ligante bien graduado.
- A-2: Suelos compuestos por una extendida gama de materiales granulares que no pueden clasificarse en los grupos A-1 o A-3, por el contenido de finos, su plasticidad o ambas cosas a la vez.
- A-2-4 y A-2-5: Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-4 o A-5.
- A-2-6 y A-2-7: Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-6 o A-7.

- A-3: Suelos compuestos por arenas pobres en ligante y materiales gruesos.
- A-4: Suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y sólo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal.
- A-5: Son suelos similares a los A-4, con la diferencia que incluyen materiales muy pobremente graduados y otros como micas, y diatomeas que proveen elasticidad y dan lugar a baja estabilidad.
- A-6: Suelos que están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Son suelos muy comunes.
- A-7: Como en los suelos A-6, predominan en éstos la arcilla, pero debido a la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica, escamas de mica o carbonato de calcio, son elásticos.
- A-7-5: Suelos como los A-7 con moderados índices de plasticidad en relación al límite líquido, pueden ser altamente elásticos y sujetos a considerables cambios volumétricos.
- A-7-6: Suelos como los A-7 con altos índices de plasticidad en relación al límite líquido y sujetos a extremados cambios volumétricos.

A partir de los resultados obtenidos de la Tabla 6 se determinó que el suelo pertenece al grupo A-7-6 según la clasificación del H.R.B, es decir, que es un suelo donde predominan las arcillas de mediana plasticidad, que bajo ciertos contenidos de humedad se deforman rápidamente, haciéndolos inadecuados para subrasantes de pavimentos flexibles.

El índice de grupo obtenido diferencia suelos dentro del mismo grupo, evaluando su calidad como material para base, subbase o subrasante. Aumentan su valor con la disminución de la condición del suelo. Al ser de arcilla dio un valor de 26, superando los máximos establecidos, siendo éste un material malo para su utilización.

Tabla 6 – Análisis granulométrico, suelo natural.

		<b>Muestra 1</b>	
Peso inicial [gr]		234,5	
Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]		4,0	
Tamiz	<b>Retenido</b>		
	<b>grs.</b>	<b>%</b>	
4,76 mm (N° 4)	0,00	0,00	
2,00 mm (N° 10)	0,5	0,21	
0,42 mm (N° 40)	0,5	0,21	
0,125 mm (N° 100)	1,5	0,64	
0,075 MM (N° 200)	1,5	0,64	
Pasa tamiz 0,075 mm (N° 200)	230,5	98,29	
Total	234,5	100,00	
Índice de Grupo	<b>26</b>		
Clasificación según H.R.B (Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)	<b>A - 7- 6</b>		

### 3.2.2 Límites de Atterberg

La plasticidad se define como la propiedad de un material que es capaz de soportar rápidas deformaciones, sin rebote elástico, sin variaciones volumétricas apreciables, sin desmoronarse o agrietarse. La plasticidad no es una propiedad permanente en las arcillas, sino que depende del contenido de humedad. Por ello Atterberg determinó una serie de límites para determinar el comportamiento plástico (Santana, 2016).

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. El análisis granulométrico permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina y los límites indican la plasticidad de las mismas, completando así el conocimiento del suelo.

Los suelos pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Por ello, se analizaron los siguientes límites:

- Límite líquido: delimita la transición entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje. Se calcula para determinar el contenido de agua con el cual el suelo adquiere una consistencia de lodo capaz de fluir con esfuerzos bajos. Dando un valor de 47,34% para suelo natural.
- Límite plástico: es la humedad a partir de la cual un suelo deja de tener un comportamiento frágil para pasar a tenerlo plástico, es decir, la humedad límite entre el estado sólido y el plástico. Es el contenido de agua más bajo en el que el suelo comienza a presentar plasticidad. Este valor es de 26,62% para suelo natural.
- Índice de plasticidad dio un valor de 23,72%. Es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el plástico de un mismo suelo. Es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil.

Con los valores del límite líquido y del índice de plasticidad, se recurre a la Carta plástica de Casagrande de la Figura 21 para afirmar el resultado obtenido del Laboratorio, un suelo arcilloso de mediana plasticidad de color pardo oscuro con presencia de material orgánico.

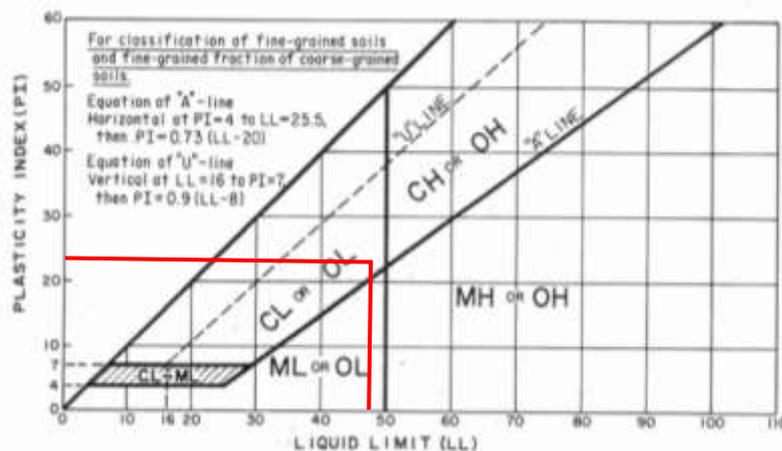


Figura 21 – Carta plástica de Casagrande. Fuente ASTM D 2487-93

El límite líquido da una idea del tipo de suelo, sea este orgánico o inorgánico. El valor del límite líquido y el índice plástico nos permiten diferenciar los suelos limosos (M) de los arcillosos (C) y si los suelos ensayados son de alta (H) o baja (L) plasticidad (Santana, 2016).

### 3.2.3 Ensayo de compactación

Se entiende por compactación al mejoramiento de las capacidades mecánicas del suelo a través de medios mecánicos. Ésta debe producir un aumento de resistencia, densidad y disminución de la capacidad de deformación (Santana, 2016).

Se utiliza para describir el proceso de densificación de un material. El incremento de la densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire de los vacíos siempre y cuando se mantenga la humedad constante.

El ensayo reproduce en el laboratorio las condiciones de compactación que puede darse en la realidad. Se estudian las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a un determinado esfuerzo.

El objetivo es determinar la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación, y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima.

A medida que se aumente el contenido de humedad se obtienen mayores densidades, debido a que el agua lubrica las partículas facilitando su acomodamiento. Sin embargo, si se aumenta demasiado la cantidad de agua las fuerzas hidrostáticas que se desarrollan no permitirán comprimir más los vacíos, tendiendo a separar las partículas. Por lo tanto, existe un grado de humedad óptima en el suelo para la cual la densidad seca es máxima

El ensayo de compactación permite obtener el máximo beneficio de la estabilización del suelo, logrando la máxima densidad, menor relación de vacíos, mayor resistencia, mayor grado de compactación, baja permeabilidad, entre otras características.

Según los resultados obtenidos en la Figura 22, se puede decir que el suelo alcanza su máxima compacidad con un contenido de humedad del 25,7%, alcanzando una densidad seca de 1,486 g/cm<sup>3</sup>. El suelo, al estar conformado por arcillas, debe ser compactado ya que es probable que presente grandes asentamientos y el suelo debe ser capaz de tolerarlos sin desarrollar fracturas o fisuras que permitan una falla por filtración.

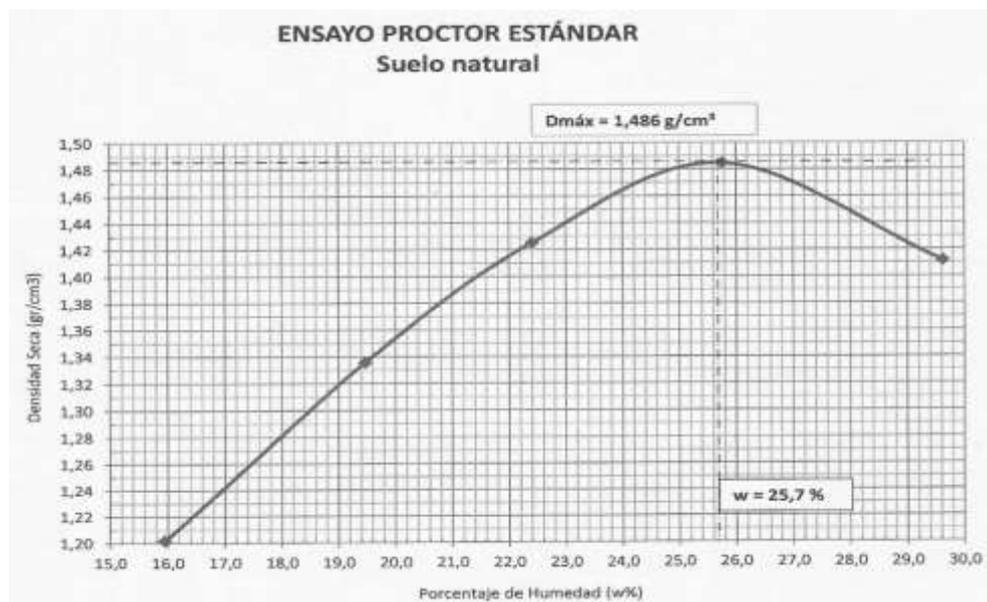


Figura 22 – Resultado Ensayo Proctor en suelo natural.

### 3.2.4 Valor soporte e hinchamiento

El objetivo de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte del suelo compactado en laboratorio, bajo condiciones de humedad y densidad controladas. En el laboratorio se utiliza la condición más crítica del terreno, sumergiendo las muestras en agua representando así la acumulación de agua en las capas de pavimento.

El valor soporte relativo (VSR) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.

Se lo expresa como porcentaje respecto a la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón. Es una forma de clasificarlo para ser utilizado como subrasante, subbase o base en la construcción de pavimentos.

Los valores de índice de CBR oscilan entre 0 y 100, habiendo casos en que se pueda llegar a superar este último valor. Cuanto mayor es su valor, mejor es la capacidad portante del suelo. La muestra de suelo obtenida para la realización del ensayo obtuvo un valor de 3, que según la Tabla 7 se lo considera muy malo para su uso como subrasante.

Tabla 7 - Clasificación de los valores del ensayo CBR

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2 - 5	Muy malo	Subrasante
5 - 8	Malo	Subrasante
8 - 20	Regular– Buena	Subrasante
20 - 30	Excelente	Subrasante
30 - 60	Buena	Subbase
60 - 80	Buena	Base
80 - 100	Excelente	Base

Durante el ensayo se calcula el hinchamiento, que es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimente una probeta de suelo cuando la humedad de la misma aumenta por inmersión, desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del período de inmersión.

Para el caso del suelo natural, el hinchamiento dio un valor de 0,32%, siendo un grado de expansión muy baja la cual evita futuras inestabilidades en el pavimento.

### 3.3 ESTABILIZADO CON CAL

La estabilización es el proceso de combinar el suelo con aditivos disponibles en el mercado que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. El objetivo de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del mismo varíen dentro de los rangos adecuados (Aristides, et al., 2016).

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas, constituida principalmente por óxido de calcio (CaO). Para uso vial se utiliza la cal hidratada (CaOH<sub>2</sub>) en polvo, la cual se obtiene a partir de la hidratación del óxido de calcio con agua, su secado y posterior molienda.

La cantidad de cal varía en función de la necesidad que se tenga y de las propiedades del suelo. Generalmente los porcentajes de cal utilizados en una estabilización varían entre un 2% a 8% en peso. Para que reaccione adecuadamente se necesita que el suelo que pasa por el tamiz N° 40 tenga un índice de plasticidad no menor de 10.

Los ensayos se realizaron con una adición del 5% de cal, valor intermedio entre los porcentajes recomendados, provocando modificaciones sus resultados, los cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural.

#### 3.3.1 Granulometría y Límites de Atterberg

El suelo pasó de ser una arcilla de mediana plasticidad a uno limoso de baja plasticidad, perteneciendo al grupo A - 4, es decir, un suelo que al estar seco provee una superficie de rodamiento firme, pero cuando absorbe agua rápidamente sufre expansión o pierde estabilidad.

La adición de cal en el suelo, produjo una disminución del del límite líquido y un aumento del límite plástico, disminuyendo así el valor del índice de plasticidad. Se logró disminuir también la plasticidad del suelo, obteniendo los siguientes resultados:

- Límite líquido: 36,77%
- Límite plástico: 27,55%
- Índice de plasticidad: 9,22%

El suelo, al ser limoso de baja plasticidad, con un índice de grupo de 11, es considerablemente bueno para la aplicación en subrasantes.

### 3.3.2 Ensayo de compactación y valor soporte

En la Tabla 8 se puede observar que el suelo natural obtuvo una densidad seca máxima de 1,486 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 25,7%, mientras que la mezcla suelo-cal la densidad seca máxima fue de 1,455 g/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima del 22,7%.

El descenso de la densidad seca máxima se debe a que la cal empleada en relación al suelo tiene un menor peso específico y la disminución de la humedad óptima se genera por la disminución de la demanda de agua que se requiere.

Tabla 8 - Comparación entre suelo natural y suelo con 5% de cal

Datos	Suelo natural	Suelo con 5% de cal
LL	47,34	36,77
LP	23,62	27,55
IP	23,72	9,22
VSR	3,00	22,7
D <sub>máx</sub>	1,486	1,455
H <sub>opt</sub>	25,7	22,7
Hinch	0,32	0,23

Los valores del ensayo del CBR sirven para evaluar la calidad de la subrasante. El resultado obtenido del suelo en estado natural posee un valor de 3%, siendo un suelo muy malo. La adición de cal produce un incremento en el mismo, resultando un CBR de 22,7%, convirtiéndolo en un suelo excelente para el uso de subrasante.

En cuanto a los valores de hinchamiento del suelo en estado natural (período de la saturación), se calculó un valor de 0,32% y para la mezcla de suelo - cal un 0,23%. Por lo tanto, las propiedades de esta última disminuyeron un 29% las posibilidades de hinchamiento.



## **CAPÍTULO 4**

# **ANÁLISIS DE TRÁNSITO VEHICULAR**

En los estudios viales es requisito conocer:

- El tránsito que circula por una vía, expresado en TMDA (Tránsito Medio Diario Anual).
- La carga axial simple equivalente, ESAL, que es el número de cargas equivalentes de ejes simples de 80 KN prevista (AASHTO,1993).

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 18 kips de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Se deben medir los volúmenes pasantes por la vía en durante todo el año calendario, lo cual no es factible en muchos de los estudios que requieren su cuantificación. Por lo tanto, suele recurrirse a conteos esporádicos de tránsito que, ante la carencia de series históricas, son extrapolados de manera subjetiva.

### **4.1 TIPOS DE VEHÍCULOS**

La FHWA<sup>5</sup> reconoce trece clases de vehículos para el cálculo del ESAL's, las cuales se observan en la Figura 23. Los más comunes que se obtendrán en el análisis son motos, autos, camionetas y camiones con acoplado de dos ejes.

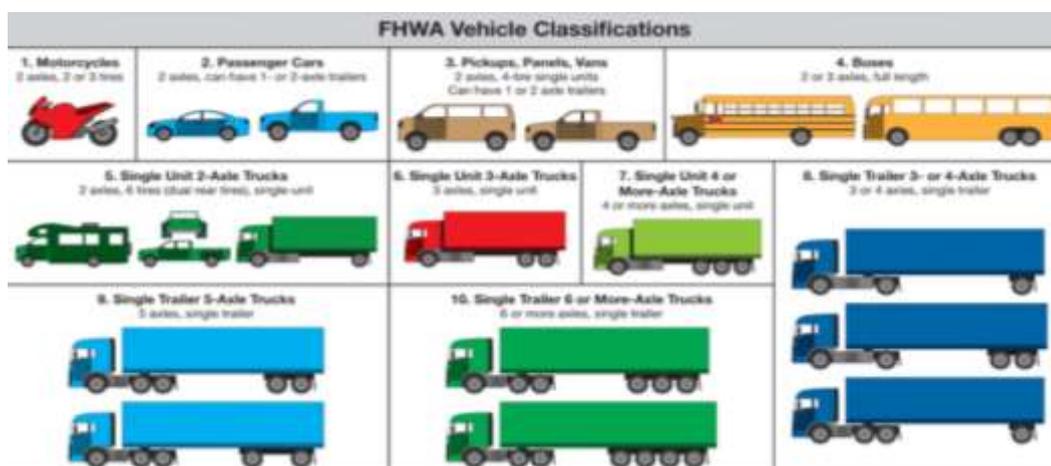


Figura 23 - Clasificación vehicular propuesta por "Federal Highway Administration".

### **4.2 CÁLCULO DEL TMDA**

El tránsito medio anual es el indicador que define el total de vehículos que circula en promedio diario en un año. Según el censo vehicular obtenido, al resultado en el horario pico se lo debe multiplicar por una serie de factores de corrección, para poder determinar el TMDA.

La demanda de tránsito varía según el mes del año, el día de la semana y la hora del día. Debido a la dificultad de conseguir factores locales, se considera que la Región de Rafaela y sus alrededores tienen la misma variación.

<sup>5</sup> U.S Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras. <https://highways.dot.gov/>

Estos factores son obtenidos de la página oficial de Vialidad Nacional, teniendo en cuenta el tramo de la Ruta 34 del km 188,68 al km 217,43. Año 2020.

1. Factor de ajuste horario: es el que debe multiplicar el tránsito censado en la estación para calcular estimativamente el tránsito en 24 horas. Se utiliza la Tabla 9, en la cual se elige el factor de las 15 horas, ya que es el horario de tránsito pico.

Tabla 9 - Factores de variación Horaria

Hora	Factor Horario Diario	Hora	Factor Horario Diario
1	50,0	13	16,4
2	62,8	14	17,7
3	76,8	15	17,4
4	67,5	16	17,4
5	71,3	17	16,9
6	57,1	18	15,1
7	35,6	19	16,7
8	21,2	20	18,9
9	18,6	21	24,4
10	17,1	22	29,7
11	17,0	23	33,7
12	17,0	24	40,7

2. Factores de ajuste diario: se toma el día Miércoles porque el censo se realizó ese día. Se utiliza la Tabla 10.

Tabla 10 - Factores de variación Diaria

Día	Factor diario
Lunes	1,005
Martes	0,882
Miércoles	0,851
Jueves	0,832
Viernes	0,947
Sábado	1,193
Domingo	1,357

3. Factor de ajuste mensuales: se utiliza el coeficiente del mes de Mayo, que se obtiene de la Tabla 11.

Tabla 11 - Factores de variación Mensual

Mes	Factor Mensual
Enero	0,852
Febrero	0,749
Marzo	1,106
Abril	1,373
Mayo	1,092
Junio	0,997
Julio	0,943
Agosto	1,035
Septiembre	1,211
Octubre	1,114
Noviembre	0,996
Diciembre	0,949

### 4.3 MÉTODO PARA DETERMINAR ESAL's

El tráfico es el factor más importante para el diseño de pavimentos. Está compuesto por vehículos de diferentes pesos y ejes que afectan el desempeño del pavimento.

El método consiste en transformar todo eje que circula por la calle a una medida patrón, correspondiente a un eje simple de 80 kN o 18 kips, que se le denominará "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL, ejes equivalentes (AASHTO,1993).

Para obtener el valor de ESAL se debe completar la tabla de la Figura 24. Donde, la primera columna A representa la cantidad de vehículos que circularon por la estación de recuento en la ubicación del diseño.

La columna B indica el factor de crecimiento asignado a cada uno de los distintos tipos de vehículos, valor obtenido de las tablas ubicadas en el Anexo IV, proporcionando multiplicadores apropiados para una tasa de crecimiento y un período de diseño dados. Si no, se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$GF = \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \quad (3)$$

Siendo  $i$  la tasa de crecimiento anual de vehículos y  $n$  el período de diseño.

La columna C es el producto de las dos primeras columnas (A y B), por 365 días. Para finalizar, la quinta columna D indica el factor de equivalencia de carga por eje para cada tipo de vehículo y la columna E el ESAL total, obteniéndose de la multiplicación de las columnas C y D.

**Table D.19. Worksheet for Calculating 18-kip Equivalent Single Axle Load (ESAL) Applications**

---

Location \_\_\_\_\_ Analysis Period = \_\_\_\_\_ Years  
 Assumed SN or D = \_\_\_\_\_

Vehicle Types	Current Traffic (A)	Growth Factors (B)	Design Traffic (C)	E.S.A.L. Factor (D)	Design E.S.A.L. (E)

Figura 24 - Tabla para cálculo de ESAL.

#### 4.3.1 Factor de equivalencia

El factor de equivalencia o también conocido como factor ESAL, se obtiene de las tablas encontradas en el Anexo IV. Es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje (Arias, 2010).

#### 4.3.2 Factor direccional (FD)

El factor de distribución direccional expresado como la relación que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido. El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones y el número de carriles por calzada de carretera.

Para este caso, se tiene un carril por calzada de una sola dirección, por el cual va a circular el total de tránsito. Entonces,  $F_d$  es igual a 1. Obtenido los datos, se procede a calcular el valor de  $W_{18}$ , mediante la siguiente fórmula:

$$W_{18} = \sum ESAL \cdot F_d = lb/año/trocha \quad (4)$$

## 4.4 RESULTADOS

### 4.4.1 Cálculo del Tránsito Medio Diario Anual

Se realizó un censo vehicular el día Miércoles 12 de Mayo, entre las 14:20 y 16:20. La estación se ubicó en la Colectora Luis Fanti con la esquina Francisco Peretti. Se pudieron observar motos, autos, camionetas y camiones. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 12.

Tabla 12 – Censo volumétrico de tránsito.

UBICACIÓN: Colectora Luis Fanti entre M. Oliber y Fco. Peretti SENTIDO: Único Sentido de Oeste a Este DIA DE LA SEMANA: Miércoles					
N°	Intervalos (15 minutos)	Motos	Automóviles	Camiones	TOTAL
1	14:20 – 14:35	8	14	0	<b>22</b>
2	14:35 – 14:50	6	14	0	<b>20</b>
3	14:50 – 15:05	14	10	0	<b>24</b>
4	15:05 – 15:20	9	22	2	<b>33</b>
5	15:20 – 15:35	9	24	1	<b>34</b>
6	15:35 – 15:50	14	32	0	<b>46</b>
7	15:50 – 16:05	10	29	1	<b>40</b>
8	16:05 – 16:20	9	16	0	<b>25</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>161</b>	<b>4</b>	<b>247</b>

Teniendo en cuenta el conteo de vehículos realizado, se considera para el cálculo de TMDA el intervalo de 15:05 hs a 16:05 hs, teniendo un total de 111 vehículos. El movimiento vehicular no es constante y sufre variaciones que dependen del día de la semana, del mes y del horario.

Más del 50% de vehículos que pasan por la calle son autos, el 32% motos y sólo un 2% son camiones con acoplado (Figura 25).

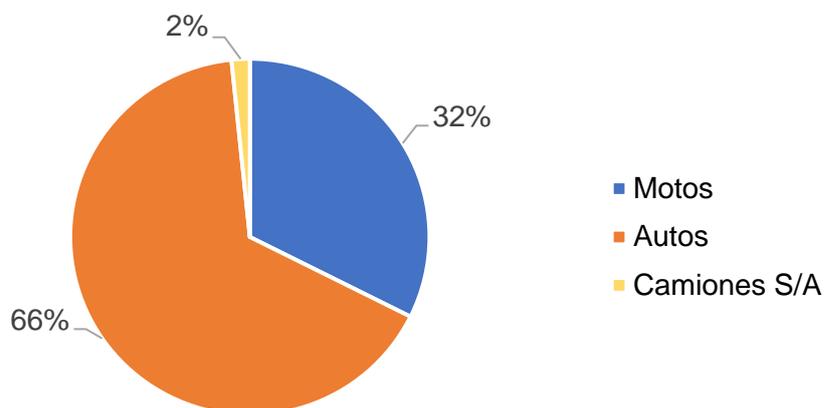


Figura 25 – Clasificación Vehicular.

Para determinar la aproximación de la cantidad de vehículos que circulan en un día completo, se afecta el total de vehículos en el intervalo de mayor demanda por los factores establecidos en el punto 4.2.

- Factor de ajuste horario, es igual a 17,4. Correspondiente a la hora de las 15:00 del día Miércoles.

Por lo tanto, 107 veh.  $17,4 = 1.862$  automóviles

4 veh.  $17,4 = 70$  camiones

- Factor de ajuste diario anual es igual a 0,851. Correspondiente al día Miércoles.

Por lo tanto, 1.862 veh.  $0,851 = 1.585$  vehículos

70 veh.  $0,851 = 60$  camiones

- Factor de ajuste mensual es igual a 1,092. Correspondiente al mes de Mayo.

Por lo tanto, 1.585 veh.  $1,092 = 1.731$  automóviles

60 veh.  $1,092 = 66$  camiones

Entonces la cantidad de vehículos que circulan por día es de 1.797 entre automóviles y camiones con acoplados. Siendo este el valor del TMDA, Tránsito Medio Diario Anual.

#### 4.4.2 Cálculo del ESAL's

Para el cálculo se debe tener en cuenta dos períodos de diseño, uno para el pavimento rígido (30 años) y otro para el pavimento flexible (15 años). El factor de crecimiento se obtiene de la tabla del Anexo IV, sabiendo que el crecimiento vehicular anual es del 2,5%.

La cantidad de motos no es considerable, ya que la carga de diseño se desprecia. Para los factores ESAL, el índice de serviciabilidad final es 2 en ambos pavimentos. Los automóviles tienen una carga de 3 tn por eje y los camiones 6 tn.

En las Tablas 13 y 14 se calcula el número total de ESAL para ambos pavimentos, el cual luego debe ser afectado por el factor direccional.

Tabla 13 – ESAL para pavimento Rígido

Tipo de vehículo	Nº veh/día	Factor de crecimiento	Tráfico de diseño	Factor ESAL	ESAL final
Automóviles	1.731	44,45	28.084.177	0,018	505.515
Camiones	66	44,45	1.070.800	0,286	306.248
	<b>Σ 1.797</b>				<b>Σ 811.763</b>

De ecuación (4)

$$W_{18} = 811.763 = 0,81 \times 10^6$$

Tabla 14 – ESAL para pavimento Flexible

Tipo de vehículo	Nº veh/día	Factor de crecimiento	Tráfico de diseño	Factor ESAL	ESAL final
Automóviles	1.731	17,97	11.353.716	0,018	204.367
Camiones	66	17,97	432.897	0,273	118.180
	<b>Σ 1.797</b>				<b>Σ 322.547</b>

De ecuación (4)

$$W_{18} = 322.547 = 0,32 \times 10^6$$



# **CAPÍTULO 5**

## **DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL**

### **5.1 DISEÑO GEOMÉTRICO**

La localización de la calle entre dos puntos, uno inicial y otro terminal, establecidos como condición previa, implica encontrar una franja de terreno, cuyas características topográficas y factibilidad de uso permita asentar en ella una carretera de condiciones operativas previamente determinadas.

Según AASHTO (2011), el terreno en que se encuentra la calle es plano, por lo tanto, proporciona un mínimo movimiento de suelos durante su construcción. El diseño horizontal y vertical de una calle tiene que estar pensado de forma que el usuario pueda circular por ella de manera cómoda y segura.

#### **5.1.1 Diseño perfil longitudinal**

El perfil longitudinal está formado por un conjunto de rectas enlazadas por arcos parabólicos, a las que dichas rectas son tangentes. La inclinación de las tangentes y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, del proyecto de desagüe y de los costos de construcción.

Se mantienen los valores de los perfiles longitudinales actuales para obtener ahorros en el costo de la repavimentación ya que para este tipo de obra se requiere una inversión importante (Anexo V). El perfil en su totalidad es recto y en los últimos metros presenta una curva convexa.

La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe asegurar el escurrimiento de las aguas de lluvias en las cunetas. Por lo tanto, debe ser de 0,5% (pendiente mínima deseable) o de 0,3% para terrenos planos donde no es posible utilizar la pendiente deseable (AASHTO, 2011).

La pendiente máxima está relacionada con la velocidad en la que circulan los vehículos, siendo ésta 40 km/h. También se debe tener en cuenta la seguridad de la circulación de los vehículos más pesados, en las condiciones más desfavorables. Según la Tabla 15, la pendiente máxima debe ser de 7%.

Tabla 15 - Pendientes máximas. Fuente AASHTO 2011.

Tipo de terreno	Velocidad de diseño del tramo homogéneo (km/h)				
	20	30	40	50	60
Llano	9	8	7	7	7
Ondulado	12	11	11	10	10

Se realiza un nuevo replanteo para las cunetas ya que los niveles obtenidos no son aptos para un buen escurrimiento (Anexo V). Para ello, se mantuvieron las cotas iniciales y finales para no tener problemas con las cunetas adyacentes. Al preservar estos valores, las cunetas permanecen con pendientes muy bajas, no superando las establecidas por el Reglamento AASHTO.

#### **5.1.2 Diseño perfil transversal**

La sección transversal describe los elementos de la calle en un plano normal a su eje. Los componentes de una calle urbana son:

- Calzada: es la superficie destinada a la circulación de los vehículos. Está constituida por un solo carril y está delimitada por los cordones cuneta que tienen una dimensión de 0,70 m. Por lo que el ancho total de la calle es de 7,4 m.
- Cordón cuneta: se construyen para delimitar el borde de la calzada, brindan seguridad a los peatones que circulan por las veredas laterales y forman una cuneta que permita canalizar el escurrimiento superficial de los excedentes pluviales. Un cordón puede ser diseñado como una unidad separada o integralmente con el pavimento

Las calzadas están conformadas por un punto alto en el centro llamado corona, y una pendiente transversal hacia ambos extremos para facilitar la evacuación de las aguas superficiales que depende del tipo de superficie a utilizar. Para una superficie de hormigón o de concreto asfáltico se utiliza una pendiente entre el 1,5 - 2%. Debe ser de sección redondeada, es decir, parabólica con una superficie ligeramente redondeada en la línea de la corona (AASHTO, 2011).

## 5.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Se utiliza el método AASHTO 1993, ya que introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos.

Este método es utilizado para el diseño y rehabilitación de pavimentos rígidos y flexibles. Proporciona recomendaciones para la determinación de los espesores de los componentes estructurales individuales del pavimento, subrasante, subbase, base y carpeta.

El diseño de pavimentos implica escoger espesores y considerar factores, tales como drenaje, confiabilidad, tráfico, suelo de fundación y materiales de construcción.

La guía se basa en el uso de ecuaciones empíricas y de nomogramas que se desarrollaron por las observaciones de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de AASHTO 93 sobre carreteras.

El objetivo es encontrar el número estructural SN para el caso de pavimentos flexibles y el espesor de la losa D para pavimentos rígidos, basándose en el valor de CBR de la subrasante y el número de ejes estándar. Las fórmulas de diseño, según el Método AASHTO 93, dependiendo del material que se quiere usar son:

- Para pavimentos rígidos:

$$\begin{aligned} \log_{W_{18}} = Z_R S_o + 7,35. \log (D+1) - 0,06 + \frac{\log \Delta PSI}{3} \\ 1 + \frac{1,62 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}} \\ + (4,22 - 0,32 P_t) \log \frac{S'_c C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}}} \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde:

$W_{18}$  = Número previsto de aplicaciones de carga por ejes equivalentes a 18 kips.

$S_o$  = Error estándar combinado de la predicción del tráfico y del comportamiento.

$Z_r$  = Desviación estándar normal.

$\Delta PSI$  = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y terminal.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del hormigón.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

$S'_c$  = Módulo de rotura del hormigón.

D = Espesor de la losa del pavimento.

k = Módulo de reacción de la subrasante.

- Para pavimentos flexibles:

$$\text{Log}_{W_{18}} = Z_R S_o + 9,36 \log (SN+1) - 0,20 + \frac{\log \Delta PSI}{4,2-1,5} + 2,32 \log M_r - 8,07 \quad (6)$$

$$0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}$$

Dónde:

$W_{18}$  = Número previsto de aplicaciones de carga por ejes equivalentes a 18 kips.

$Z_r$  = Desviación estándar normal.

$S_o$  = Error estándar combinado de la predicción del tráfico y del comportamiento.

$\Delta PSI$  = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y terminal.

$M_r$  = Módulo Resiliente.

SN = Número estructural.

Los nomogramas de diseño resuelven estas ecuaciones para el número estructural, SN, en pavimentos flexibles y para los espesores de losas D en pavimentos rígidos (Anexo VI).

El número estructural es abstracto y expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para combinaciones dadas de soporte del suelo, tráfico total expresado en cargas por eje simple equivalente de 18 kips, serviciabilidad terminal y medio ambiente (AASHTO, 1993).

### 5.2.1 Confiabilidad R y Desviación Estándar $Z_r$

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medioambientales, brindando seguridad y confort al usuario.

Según la AASHTO, los niveles de confiabilidad recomendando para una colectora de tránsito en un área urbana es del 90% (Tabla 16). Una vez conocida la confiabilidad en el diseño R, el valor de desviación estándar normal, se obtiene de la Tabla 17, el cual es - 1,282.

Tabla 16 - Niveles de confiabilidad sugeridos. Fuente AASTHO 93.

Clasificación	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85-100	80-100
Arterias colectoras	80-100	75-95
Colectoras de tránsito	80-95	75-95
Carreteras locales	50-80	50-80

Tabla 17 - Valores de desviación estándar  $Z_r$ . Fuente AASTHO 93.

% de Confianza	$Z_r$	% de Confianza	$Z_r$
10	-1,282	70	-0,524
20	-0,84	80	-0,841
50	0	90	-1,282
60	-0,253	95	-1,645

### 5.2.2 Índice de serviciabilidad $\Delta PSI$

La serviciabilidad depende de la calidad de la transitabilidad. Se define como la capacidad que tiene un pavimento para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar, el cual se basa en la rugosidad y el desgaste (AASHTO, 1993).

$$\Delta PSI = P_o - P_f \quad (7)$$

$P_o$  es la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. Para elegir el valor, se obtiene a partir de los ensayos realizados por AASHTO 93, donde 4,5 es para pavimentos rígidos y 4,2 para pavimentos flexibles.

$P_f$  es cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Se sugiere un valor de 2,5 para carreteras principales y para carreteras de menor tránsito un valor de 2.

- Para pavimento rígido:

De ecuación (7)  $\Delta PSI = 2,5$

- Para pavimento flexible:

De ecuación (7)  $\Delta PSI = 2,2$

### 5.2.3 Desviación Estándar $S_o$

Es el error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento. En otras palabras, es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; por ejemplo, el medio ambiente, la construcción y la incertidumbre del modelo.

AASHTO recomienda para pavimentos rígidos valores que varían entre 0,30 - 0,40 y en pavimentos flexibles varían entre 0,40 - 0,50.

### 5.2.4 Coeficiente de transferencia de carga J

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas. Cuanto mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento. El mismo depende del tipo de pavimento y del elemento de transmisión de carga.

El mecanismo de transferencia de carga para evitar deflexiones excesivas se puede resolver mediante pasadores de hierro liso, mallas de refuerzo o a través de la trabazón entre los agregados (Figura 26).

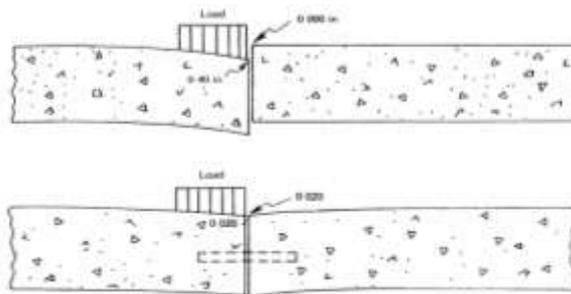


Figura 26 - Transferencia de carga entre losas. Fuente AASHTO 93

Para este caso, se adopta un pavimento rígido reforzado en sus juntas con hierro liso, dando un valor de J igual a 2,8 (Tabla 18).

Tabla 18 -Valores para la transferencia de carga J. Fuente AASTHO 93

Tipo de pavimento	Asfalto		Hormigón	
	Si	No	Si	No
No reforzado o reforzado con juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Reforzado continuo	2,9 - 3,2	-	2,3 - 2,9	-

### 5.2.5 Coeficiente de drenaje $C_d$

El coeficiente depende de la capacidad de drenaje y el porcentaje de tiempo que el pavimento se expone a niveles de humedad que se aproxima saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

Rafaela tiene un período húmedo que se extiende desde marzo hasta julio, pero donde los dos últimos meses no son húmedos por las precipitaciones caídas sino por la humedad acumulada en el suelo. Agosto es el único mes seco si no se conserva el agua en el suelo (Panigatti, 1968).

Según la Tabla 19, el coeficiente de drenaje es igual a 0,80, siendo la calidad de drenaje Pobre y el porcentaje de tiempo anual en que la estructura está expuesta a niveles cercanos a saturación del 25%.

Tabla 19 - Valores de coeficiente de drenaje  $C_d$ . Fuente AASTHO 93

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura está expuesta a niveles cercanos a saturación			
	1%	1 a 5%	5 a 25%	25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Buena	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,10	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Malo	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

### 5.2.6 Módulo de rotura del hormigón $S'_c$

Este valor se utiliza debido a que los pavimentos de hormigón trabajan principalmente a flexión. Los materiales sufren los efectos de la fatiga por el paso de los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento. La relación entre la tensión y la flexión es alta, por lo tanto, afecta al espesor de las losas.

$S'_c$  se mide en libras por pulgadas cuadradas (MPa). A partir de los pliegos de especificaciones técnicas realizadas por la Municipalidad de Rafaela, se considera un valor de  $S'_c$  igual a  $50 \text{ kg/cm}^2 = 711,18 \text{ lb/pulg}^2 = 4,8 \text{ MPa}$ .

### 5.2.7 Módulo de elasticidad del hormigón $E_c$

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que tiene una losa. Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento. Se utiliza la fórmula recomendada por el American Concrete Institute:

$$E_c = 57000 \cdot (f'_c)^{0,5} \quad (8)$$

Dónde:  $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 = 4267 \text{ psi}$ , resistencia a la compresión simple del hormigón.

De ecuación (8)  $E_c = 3,72 \times 10^6 \text{ psi} = 2,61 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

### 5.2.8 Módulo Resiliente $M_r$

Es la propiedad que caracteriza al suelo de la fundación, midiendo su propiedad elástica del suelo. El módulo resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor k), para el diseño de pavimentos rígidos (AASHTO, 1993).

En muchos casos no se tiene el equipamiento necesario para llevar a cabo los ensayos para determinar el módulo. Por eso, se han reportado factores o correlaciones apropiadas que pueden ser usadas en la estimación del  $M_r$  o  $k$  a partir del ensayo de CBR.

$$M_r \text{ (psi)} = 1500 \text{ CBR} \quad (9)$$

- Para pavimento rígido:

El ensayo fue obtenido en el Laboratorio de la UTN, Facultad Regional de Rafaela dando un valor de 3, por lo tanto, el valor de  $k$  a partir de la Figura 27 es igual a  $2,7 \text{ kg/cm}^2 = 38,4 \text{ lb/pulg}^2$ .

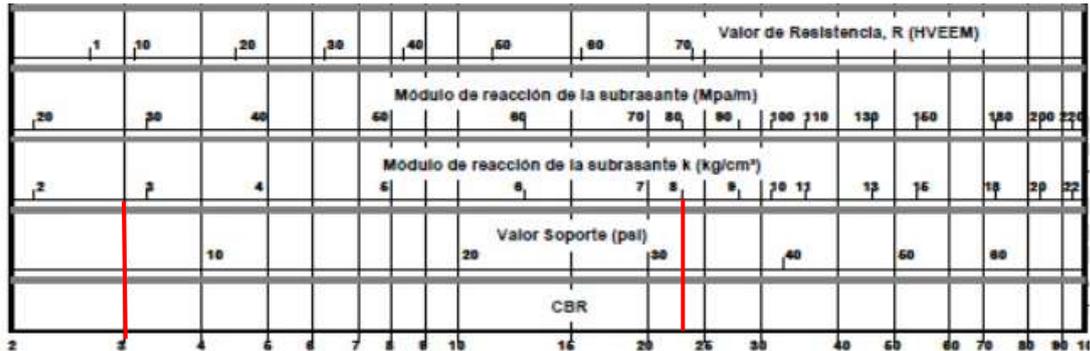


Figura 27 - Relación entre CBR y el módulo de reacción  $k$ . Fuente AAHTO 93

- Para pavimento flexible:

De ecuación (9)

$$M_r = 4500 \text{ psi}$$

### 5.2.9 Número estructural SN

Es la incógnita a determinar, la fórmula está en función de los espesores y de la calidad de los materiales con que cada capa será construida.

Para pavimentos rígidos se calcula el valor  $D$ , siendo el espesor de la carpeta de hormigón y en pavimentos flexibles el número estructural SN, se determina con la ecuación 10:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (10)$$

Donde  $a_i$  es un coeficiente estructural de la capa  $i$ ,  $D_i$  el espesor de la capa y  $m_i$  coeficiente de drenaje de la capa  $i$ . Los materiales de las distintas capas, requieren del uso de un coeficiente de capa ( $a_i$ ), a fin de convertir su espesor actual a un número estructural SN.

La capacidad del pavimento se expresa en términos del número estructural (SN), el cual combina la capacidad aportada por las diferentes capas del pavimento, a partir de su espesor y de su resistencia relativa. Esta última se expresa por medio de los coeficientes estructurales correspondientes a los materiales de construcción y, en el caso de las capas granulares, correspondientes también a las condiciones de drenaje (INVIAS, 2008).

#### 5.2.9.1 Coeficientes de capas

El número estructural requerido SN debe ser convertido a espesores actuales de superficie, base y subbase, por medio de coeficientes de capa apropiados, que representan la resistencia relativa de los materiales de construcción. Los coeficientes de capa están basados en el módulo elástico  $M_r$  (AASHTO, 1993).

- Coeficiente de la carpeta asfáltica, se utiliza el módulo es de 400.000 psi, dando un  $a_1$  igual a 0,43 (Figura 28).

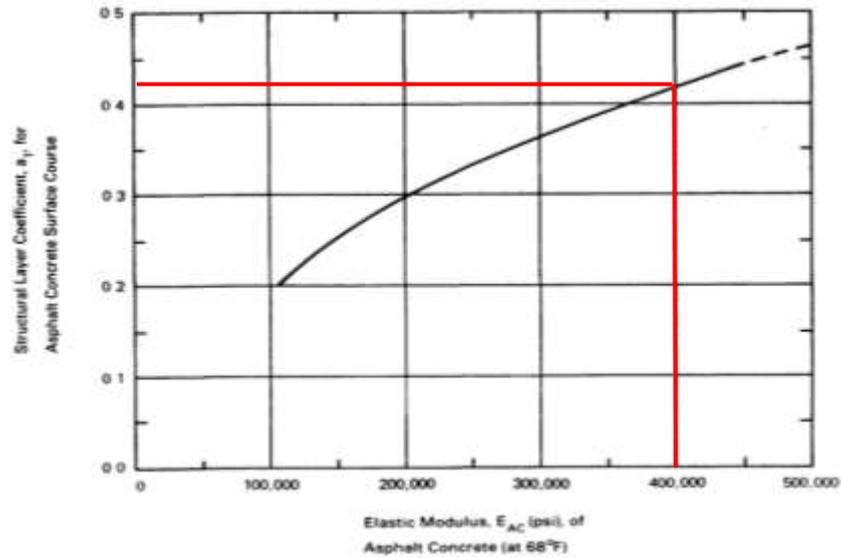


Figura 28 - Carta para estimar coeficiente  $a_1$ . Fuente AAHTO 93

- Coeficiente de la base, se utiliza un valor de CBR igual a 22,7%, dando un valor de  $a_2$  igual a 0,08 y  $M_B$  a 17580 psi (Figura 29).

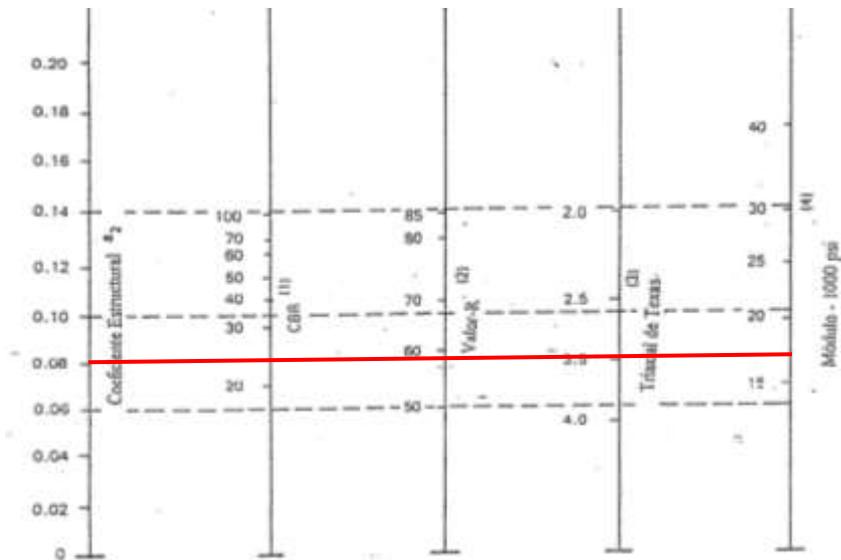


Figura 29 - Carta para estimar coeficiente  $a_2$ . Fuente AAHTO 93

- Coeficiente de la subbase, se utiliza un valor de CBR igual a 22,7%, dando un valor de  $a_3$  igual a 0,10 y  $M_{SB}$  a 14000 psi (Figura 30).

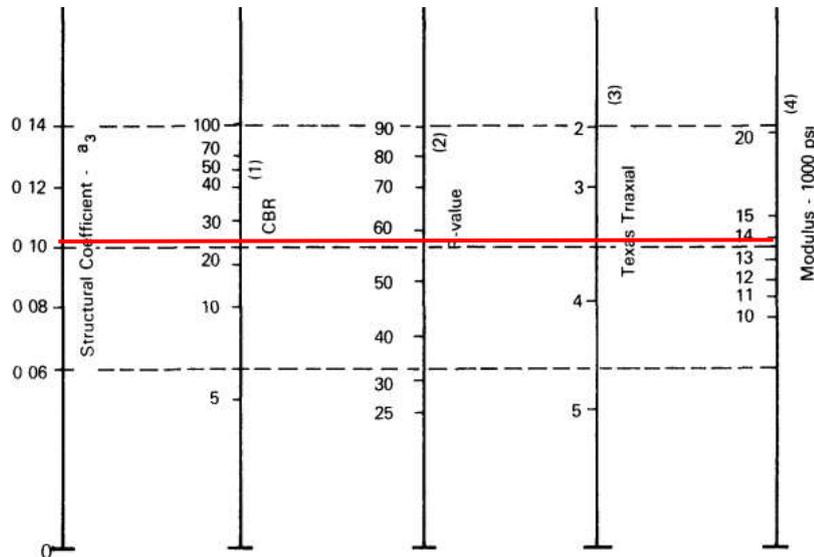


Figura 30 - Carta para estimar coeficiente  $a_3$ . Fuente AAHTO 93

### 5.2.9.2 Coeficiente de drenaje

Los coeficientes de drenaje  $m_i$ , dependen del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. Por eso, el valor que se utiliza es de 0,8 considerando una calidad de drenaje Regular. Se utiliza la Tabla 19, con la que se determinó el coeficiente de drenaje  $C_d$  para el pavimento rígido.

## 5.3 RESULTADOS PAVIMENTO RÍGIDO

Mediante un proceso iterativo se asumen espesores de losa de hormigón hasta que la ecuación 5 llegue al equilibrio. También se hace uso de nomogramas para verificar el valor dado.

Para este caso se utiliza el módulo resiliente del suelo común sin estabilizadores, un hormigón H-30, el valor de  $W_{18} = 811.763 = 0,81 \times 10^6$  y los valores obtenidos del capítulo 4, los cuales son:

- |                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| - $Z_r = -1,282$ | - $J = 2,8$                    |
| - $S_o = 0,35$   | - $E_c = 3,72 \times 10^6$ psi |
| - $PSI = 2,5$    | - $k = 38,40$ psi              |
| - $C_d = 1$      | - $S'_c = 711,18$ psi          |

Entonces

De ecuación (5)

$$D = 5,88 \text{ pulg}$$

Para verificar se utiliza el nomograma, que da un valor de 6,1 pulg. Para el diseño de pavimento se tomará el  $D$  analítico porque es mucho más exacto, entonces se define un espesor de losa de 15 cm.

### 5.3.1 Estabilizado con cal

Se realizan los mismos procedimientos, pero esta vez con el suelo al que se le incorporó 5% de cal. Los valores obtenidos son:

- |                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| - $Z_r = -1,282$      | - $J = 2,8$                    |
| - $S_o = 0,35$        | - $E_c = 3,72 \times 10^6$ psi |
| - $PSI = 2,5$         | - $k = 113,8$ psi              |
| - $S'_c = 711,18$ psi | - $C_d = 1$                    |

Entonces

De ecuación (5)

$$D = 5,48 \text{ pulg}$$

Para verificar se utiliza el nomograma, que da un valor de 5 pulg. Para el diseño de pavimento se tomará el  $D$  analítico porque es mucho más exacto, entonces se define un espesor de losa de 14 cm.

En la Figura 31 se observa que, gracias a la aplicación de la cal, el espesor de la losa se redujo 1 cm. Esto genera una reducción en la cantidad de materiales a utilizar y el costo de ejecución, comprendiendo mano de obra y maquinaria.

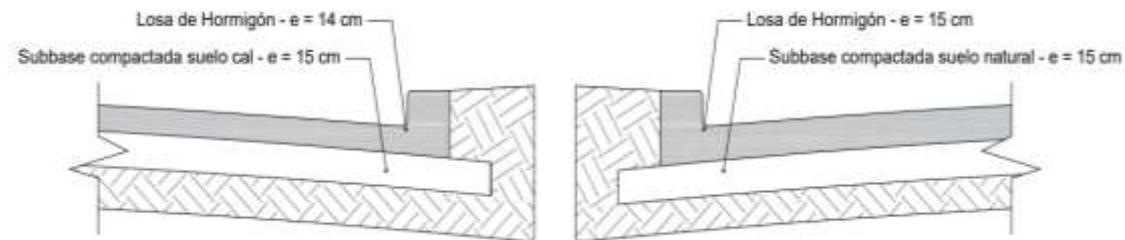


Figura 31 - Espesores para pavimento rígido con suelo natural y con 5% de cal.

### 5.3.2 Juntas

Las juntas son importantes para los pavimentos de hormigón. Se hacen con el fin de controlar los esfuerzos producidos por movimientos de contracción, expansión del hormigón, diferencia de temperatura, la humedad entre la superficie y el apoyo, y la circulación de vehículos pesados (Padilla, 2011).

Según INVIAS (2008), las juntas tienen diferentes funciones. Se pueden clasificar en juntas de contracción y de expansión. También según su alineación, en longitudinales y transversales.

Las juntas de contracción, transversales y longitudinales, crean planos débiles en el hormigón para regular la dirección y aparición de las fisuras. Éstas son producidas por los esfuerzos de tracción cuando el hormigón fragua y endurece, una característica inevitable del comportamiento del material.

Las de expansión se hacen dentro del pavimento para aislarlo de otras estructuras, como cajas de inspección, cámaras de desagüe o aislar los pavimentos de hormigón de otros tipos de pavimentos.

Las juntas longitudinales tienen el objetivo de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los 4,5 metros. La calzada tiene un ancho de 6 metros por lo tanto las juntas longitudinales se realizan cada 3 metros coincidiendo con los carriles de circulación de los vehículos.

Las barras de anclaje para cualquier tipo de junta longitudinal se diseñan para resistir la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante (Padilla, 2011). La sección transversal de acero por unidad de longitud de junta se calcula según la ecuación:

$$A_s = \frac{b \cdot f \cdot w}{f_s} \quad (11)$$

Donde:

- b es la distancia entre la junta en consideración y el borde libre del pavimento, 3,5 m.
- f el coeficiente de fricción entre losa y suelo, se toma generalmente como 1,5.
- w el peso de la losa por unidad de área, 2400 kg/m<sup>3</sup> por el espesor de la losa.
- f<sub>s</sub> el esfuerzo de trabajo del acero (kg/cm<sup>2</sup>), siendo igual a 0,67 f<sub>y</sub>. Siendo f<sub>s</sub> igual a 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

De ecuación (11)  $A_{s=15cm} = 0,67 \frac{cm^2}{m} = 1 \text{ } \emptyset 10$

De ecuación (11)  $A_{s=14cm} = 0,63 \frac{cm^2}{m} = 1 \text{ } \emptyset 10$

La longitud de las barras de anclaje tiene que ser tal, que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta sea igual al esfuerzo de trabajo del acero (Padilla, 2011).

$$L = \frac{2 \cdot A \cdot f_s}{a \cdot p} + 7,5 \quad (12)$$

Siendo, A el área transversal de la barra de anclaje, a el esfuerzo de trabajo por adherencia, que para acero corrugado se permite utilizar el 10% de la resistencia a compresión del hormigón y p el perímetro de la barra.

De ecuación (12)  $L = 14-15cm = 70 \text{ cm}$

Las juntas transversales se realizan para controlar las fisuras por contracción. El espaciado entre ellas debe ser menor a 6 metros. Se ha demostrado que cuando la separación se aproxima a 4,5 m, permiten controlar las fisuras y el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio es mejor.

En el diseño de juntas se debe tener en cuenta que aseguren la transferencia de cargas deseada entre losas adyacentes minimizando así las deflexiones verticales en la junta producidas por las cargas de vehículos.

Para que se obtenga una transferencia de carga satisfactoria se utilizan además barras de acero liso, las cuales se van a colocar en las juntas longitudinales y transversales. Según la Tabla 20, los diámetros de los pasadores para una losa de 14 cm y 15 cm de espesor son de 19 mm.

Tabla 20 - Diámetro de los pasadores. Fuente AASHTO 93

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud total	Separación entre centros
	(mm)	(pulg)		
1 – 100	13	1/2	250	300
110 – 130	16	5/8	300	300
140 – 150	19	3/4	350	300

## 5.4 RESULTADO PAVIMENTO FLEXIBLE

Para este caso se utiliza un  $W_{18}$  igual a  $322.547 = 0,32 \times 10^6$  y los siguientes valores:

- $Z_r = -1,282$	- $C_d = 1$	- $M_{rsub} = 4500$ psi
- $S_o = 0,45$	- $a_1 = 0,43$	- $M_B = 17580$ psi
- $PSI = 2,5$	- $a_2 = 0,08$	- $M_{SB} = 14000$ psi
- $J = 2,8$	- $a_3 = 0,10$	

Entonces

$$\text{De ecuación (6)} \qquad \qquad \qquad SN = 3,20$$

Se determinan los espesores de las distintas capas del paquete estructural del pavimento flexible a partir de los datos obtenidos anteriormente:

- Carpeta asfáltica ( $D_1$ )

Se asume que toda la resistencia la brinda la carpeta asfáltica. Se resuelve la ecuación 6 colocando en lugar del  $M_r$  de la subrasante, el valor  $M_r$  de la base. Se obtiene un  $SN = SN_1 = 2,00$ .

$$SN_1 = a_1 \cdot D_1 \qquad \qquad \qquad (13)$$

$$\text{De ecuación (13)} \qquad \qquad \qquad D_1 = 12 \text{ cm}$$

- Base granular ( $D_2$ )

La resistencia la brinda la carpeta asfáltica y la base.  $SN_2$  se determina colocando el valor del  $M_r$  de la capa subbase en lugar del  $M_r$  de la subrasante. Se obtiene  $SN = SN_2 = 2,20$ .

$$SN_2 = SN_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 \qquad \qquad \qquad (14)$$

$$\text{De ecuación (14)} \qquad \qquad \qquad D_2 = 10 \text{ cm}$$

- Subbase ( $D_3$ )

Toda la resistencia la brinda la carpeta asfáltica, la capa base y la subbase. Se usa el módulo de resiliencia de la subrasante para calcular el  $SN = SN_3 = 3,20$ .

$$SN_3 = SN_1 + SN_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \qquad \qquad \qquad (15)$$

$$\text{De ecuación (15)} \qquad \qquad \qquad D_3 = 35 \text{ cm}$$

Los espesores obtenidos se introducen en la ecuación 10 para verificar que  $SN^* \geq SN$ , siendo  $SN^* = 3,38 \geq SN = 3,20$ . En la Figura 32 se pueden ver los valores de los distintos espesores calculados anteriormente.

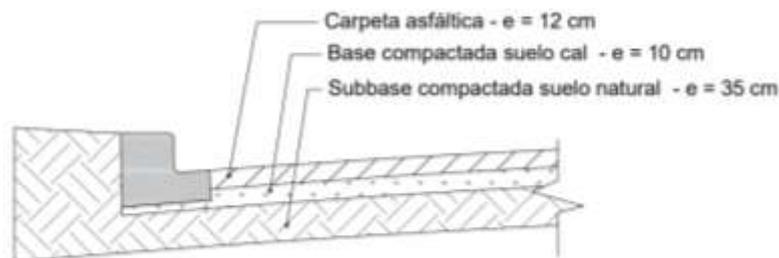


Figura 32 - Espesores para pavimento flexible con suelo natural.

## 5.5 CONCLUSIONES

Mediante la aplicación del Método AASHTO se obtuvieron dos opciones para el pavimento rígido y una para el pavimento flexible. Para determinar definitivamente que tipo de carpeta estructural utilizar, aparte de los factores ambientales y económicos, se debe tener en cuenta las ventajas y desventajas de ambos pavimentos.

Para observar que tipo de pavimento es más eficiente según la pérdida de rugosidad en el transcurso de los años, se utiliza el programa computacional HDM-4. Tiene una documentación asociada que sirve como la principal herramienta para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejora y la toma de decisiones relacionadas con la inversión de carreteras (PIARC, 2004).

Se calculó la pérdida de rugosidad a 30 años para ambos tipos de pavimento. El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI, sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. Evalúa las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él.

En la Figura 33, se establecen los rangos para el IRI, cuyos límites van a estar determinados por los correspondientes valores del Índice de Serviciabilidad (Hirpahuanca, 2016).

Pavimentos Flexibles		Pavimentos Rígidos		Clasificación	Descripción AASHTO
Valores PSI	Rangos de IRI	Valores PSI	Rangos de IRI		
5,0	0 – 1,0	5,0	0 – 1,4	Muy Buena	Solo los pavimentos nuevos son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría.
4,2		4,5			
4,0		4,0			
3,0	1,0 – 1,9	3,0	1,4 – 2,3	Buena	Si bien no son tan suaves como los “Muy Buenos”, muestran muy poco o ningún deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos empiezan a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial.
2,5	1,9 – 3,6	2,5	2,3 – 3,6	Regular	La calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos. Los defectos superficiales para los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches, agrietamientos. Los pavimentos rígidos pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo de finos
2,0		2,0			
1,5	3,6 – 6,4	1,5	3,6 – 6,0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad del tránsito. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; pérdida de áridos, agrietamientos y ahuellamiento. El deterioro en pavimentos rígidos incluye parches, agrietamientos y bombeo.
1,0		1,0			
0,0	≥ 6,4	0,0	≥ 6,0	Muy Mala	Los pavimentos se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas.

Figura 33 - Estado del pavimento según los valores IRI. Fuente Hirpahuanca, 2016.

El programa necesita los valores del módulo resiliente  $k$  y  $M_r$ , el módulo de elasticidad del hormigón  $E_c$ , características climáticas de la zona y, además, los datos obtenidos del análisis de tránsito.

A partir de los resultados que se observan en las Figuras 34 y 35, el pavimento rígido de 15 cm de espesor tiene menor pérdida de rugosidad a los 30 años, por una diferencia de 0,30 m/km, con el pavimento de 14 cm. El pavimento de menor espesor posee mayor pérdida de rugosidad en los primeros años de su vida útil, siendo significativa a los términos de mantenimiento y costos.

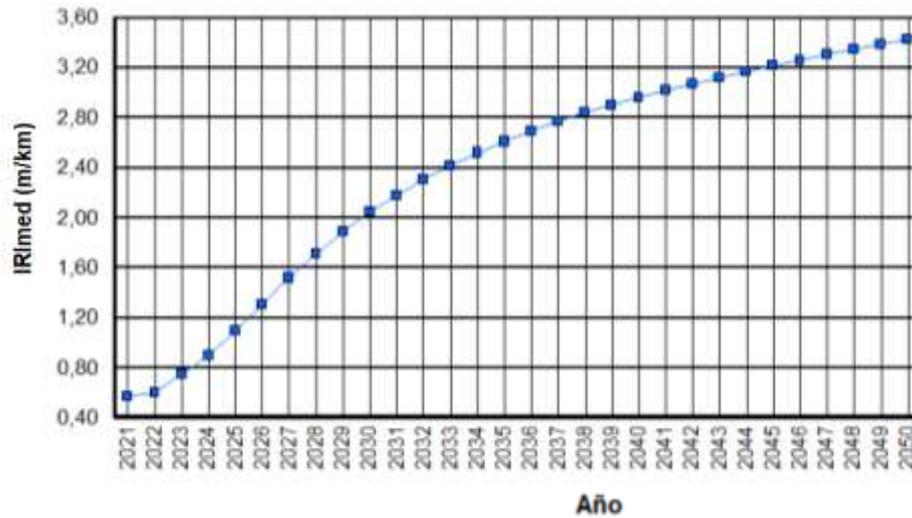


Figura 34 - IRI en función del tiempo para pavimento rígido, e = 15 cm.

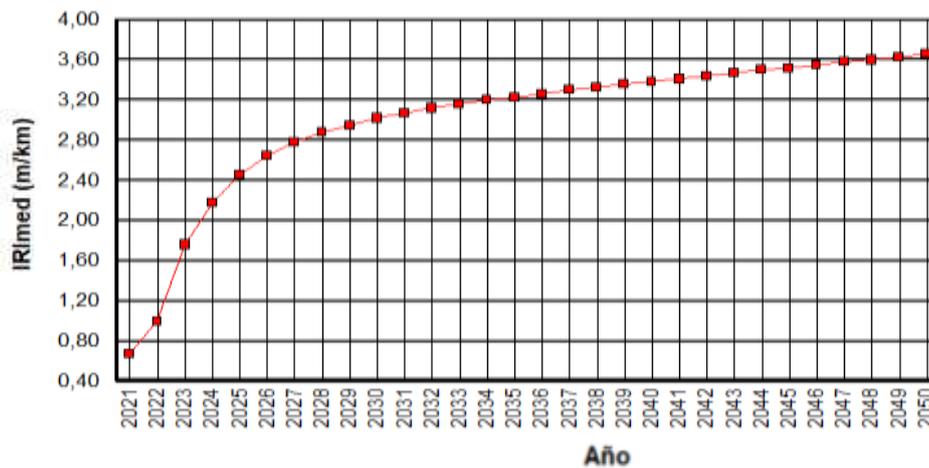


Figura 35 - IRI en función del tiempo para pavimento rígido, e = 14 cm.

La diferencia entre ambos pavimentos es generada por la disminución del espesor, ya que la subrasante no tiene incidencia significativa en el aumento del IRI. Los factores medioambientales, la expansión térmica diferencial y la variación del contenido de humedad, tienen mayor incidencia en el deterioro del pavimento.

Para el pavimento flexible se tiene un deterioro más rápido, llegando a los 3,60 m/km a los 23 años de su vida (Figura 36). Si nos basamos en la escala de los valores IRI, a los 1,9 m/km aparecen las primeras imperfecciones, es decir, a los 15 años después de construido, siendo aceptable para su vida útil.

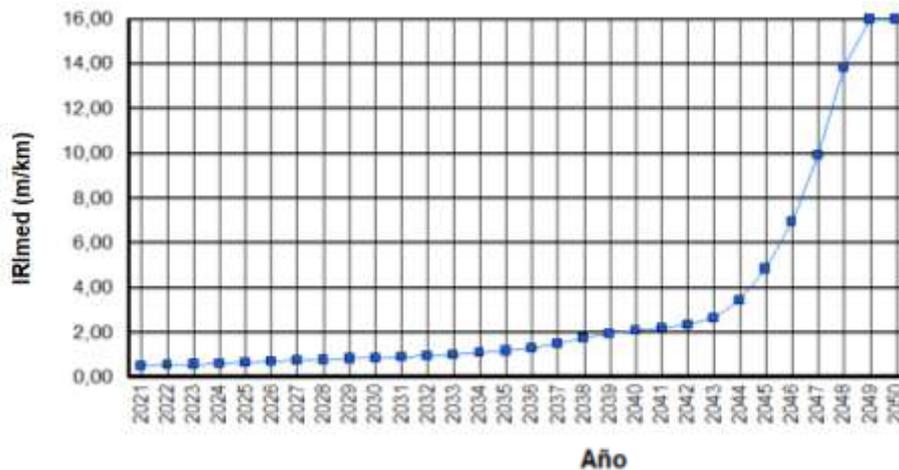


Figura 36 - IRI en función del tiempo para pavimento flexible, e = 12 cm.

También tienen un gran problema con la deformidad, debido a la naturaleza del material asfáltico. Las cargas de tránsito producen en el pavimento deformaciones elásticas que son de recuperación instantánea, pero las plásticas son las que permanecen en el pavimento después de finalizar la deformación. Bajo la carga móvil y repetida, la deformación tiende a hacerse acumulativa.

Otras características que se deben tener en cuenta son que los pavimentos rígidos tienen mayor vida útil que los pavimentos flexibles, por lo menos el doble de años. Esto se debe a que el hormigón no se encuentra sujeto a deformaciones continuas durante su uso como el caso del material asfáltico.

Por esta razón se elige el pavimento rígido de 15 cm de espesor con suelo común y el pavimento flexible de 12 cm de capa asfáltica con suelo cal como opciones para la repavimentación de la Colectora Luis Fanti entre Fco. Peretti y M. Oliber.

Para determinar cuál de los dos tipos de pavimentos es más conveniente construir, en los próximos capítulos se realiza una comparación económica y ambiental, para facilitar la elección.

## 5.6 BOCA DE DESAGÜE

La zona de Rafaela es llana, de características bastantes uniformes y pendientes suaves con una tendencia general hacia el sur este. En cuestiones hídricas tiene un régimen isohigro<sup>6</sup> (Panigatti,1968).

Los valores de las precipitaciones medias mensuales de la Tabla 21 muestran una distribución particular. Marzo alcanza un valor máximo y Julio uno mínimo, es decir, la estación de mayor precipitación es el verano, notándose una declinación definida en el otoño para alcanzar valores mínimos en los meses de invierno (Panigatti,1968).

Tabla 21 - Precipitaciones en Rafaela por trimestre. Fuente Panigatti,1968.

Época	Precipitación (mm)	Porcentaje %
Verano (ene-feb-mar)	392,6	42,0
Otoño (abr - may - jun)	151,0	16,2
Invierno (jul - Ago - sep)	91,7	9,8
Primavera (oct - nov - dic)	299,1	32,0

<sup>6</sup> Las precipitaciones se distribuyen más o menos uniformemente a lo largo del año. <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/>

Se verifica el ancho de la boca de tormenta existente que es de 1 m x 0,15 m (Figura 37). La ubicación es en la intersección de la Colectora Luis Fanti y la calle Fco. Peretti. Es una boca de tormenta emparillada ya que posee rejillas para evitar que entren elementos no deseados, sin embargo están lo bastante espaciadas para que el flujo de agua no sea obtaculizado.

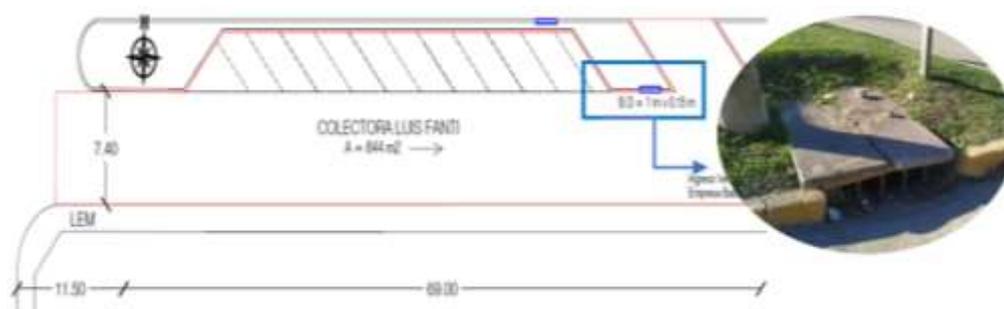


Figura 37 - Boca de Desagüe en Colectora Luis Fanti.

Para el cálculo se debe tener en cuenta la intensidad máxima de precipitación  $I_{m\acute{a}x}$ , que considera la precipitación máxima en 10 minutos con un período de retorno de 100 años. Para la ciudad de Rafaela se utiliza un valor de 166,1 mm/h.

El valor es obtenido de las Curvas IDF<sup>7</sup>, que muestran la probabilidad de ocurrencia de intensidades de lluvia en períodos cortos para distintas duraciones. A menudo se trata de un conjunto de curvas, cada una indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un período de retorno expresado en años (Marcus et al., 2019).

Obtenida la intensidad máxima se calcula el caudal máximo, mediante la siguiente ecuación del Método Racional Clásico:

$$Q = \frac{s \cdot I_{m\acute{a}x} \cdot e}{3600} \quad (16)$$

Siendo:

- s el área de proyección horizontal de la superficie de recogida.  $s = 844 \text{ m}^2$ .
- e el coeficiente de escorrentía. Se utiliza el valor 0,95 al ser calle de hormigón o asfalto.

$$\text{De ecuación (13)} \quad Q = 0,037 \text{ m}^3/\text{s} = 37,00 \text{ l/s}$$

Entonces el caudal por precipitación para un área de  $844 \text{ m}^2$  es de 37,00 l/s. Esto debe ser evacuado por la única boca de tormenta que se encuentra en el tramo. Mediante la ecuación de Manning se determina el caudal que evacua actualmente la boca de desagüe para poder verificar si las dimensiones son las correctas.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (17)$$

Siendo,  $1/n$  el coeficiente de rugosidad de Manning, utilizando un valor de 0,013 para superficies lisas de hormigón. R el radio hidráulico (relación entre el área de la sección

<sup>7</sup> La relación que vincula la intensidad de la precipitación, su duración y su recurrencia (Marcus et al., 2019)

transversal ocupada por el líquido dentro del conducto y su perímetro mojado<sup>8</sup>, Ecuación 15) y S la pendiente de 0,11%.

$$R = \frac{b y}{b + 2 y} \quad (18)$$

De ecuación (15)

$$R = 0,12 \text{ m}$$

Obtenidos los resultados, el caudal que desagota actualmente la boca de desagüe es de:

De ecuación (14)

$$Q_D = 0,092 \text{ m}^3/\text{s} = 92,99 \text{ l/s}$$

Las dimensiones actuales verifican el caudal calculado,  $Q_D \geq Q$ . No se deben realizar modificaciones respecto a las dimensiones de la boca de tormenta.

---

<sup>8</sup> Perímetro de la sección transversal del conducto en el que hay contacto de líquido con la pared sin incluir la superficie libre si ésta existe. <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf>

# CAPÍTULO 6

## CÓMPUTO Y PRESUPUESTO

### 6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El análisis de cómputo y presupuesto garantiza a la obra las cantidades y valores aproximados de insumos necesarios para llevar a cabo la intervención, con el fin de brindar una solución a la Colectora Luis Fanti. También se lo utiliza como recurso de comparación entre ambos métodos de construcción.

El cómputo métrico sirve para establecer el costo y la cantidad de materiales necesarios para realizar las intervenciones. Por lo tanto, se debe estudiar los planos y planillas realizadas, respetando las mediciones. El presupuesto es la cuantificación de los recursos analizados en el cómputo y el costo de los mismos.

El trabajo se divide por etapas, cada una de las cuales constituye un rubro del presupuesto. En esta clasificación, se separan las partes que sean susceptibles de costo distinto, lo cual facilita la formación del presupuesto y de la lista indicativa de los trabajos por ejecutar.

### 6.2 ANÁLISIS DE PRECIOS

Los costos de los materiales, maquinaria y mano de obra fueron obtenidos en el mes de Julio del año 2021. Se calcula el costo económico estimativo de los rubros que se deben realizar para la reconstrucción de la colectora, describiendo los costos unitarios necesarios para la producción de una unidad de cada rubro.

Se deben tener en cuenta los costos relacionados con los materiales, mano de obra y maquinaria. Previamente se determina el coeficiente de resumen que tiene una incidencia significativa en el precio final (Tabla 22). Éste comprende los siguientes ítems:

Tabla 22 – Coeficiente resumen.

<b>COMPONENTES</b>			
a. Materiales			
b. Mano de Obra			
c. Equipos			
<b>TOTAL DEL COSTO (1)</b>			1,0000
d. Gastos Generales (% de 1)	5,000%		
<b>SUBTOTAL (2)</b>			0,0500
e. Beneficios % de (1) + (2)	10,00%		0,1050
f. Gastos Financieros % de (1) + (2)	5,000%		0,0525
<b>SUBTOTAL (3)</b>			0,1575
<b>TOTAL COSTO DIRECTO = (1) + (2) + (3) = (4)</b>			1,2075
g. IVA % de (4)	21,000%		0,2536
h. Ingresos brutos % de (4)	3,0000%		0,0362
<b>TOTAL IMPUESTOS (5)</b>			0,2898
<b>TOTAL COSTO DIRECTO + IMPUESTOS (6)</b>			<b>1,4973</b>

De todos los paquetes obtenidos se optó por realizar la comparación de presupuestos en el pavimento de 15 cm de hormigón y el de pavimento flexible de 12 cm por las explicaciones dadas en el punto 5.6.

Cada ítem de obra se compone a partir de un análisis de precios. Los mismos fueron elaborados sobre la base de modelos y rendimientos estándar. Se debe determinar las

unidades de medida y los precios unitarios, teniendo en cuenta el precio de los materiales, equipos y mano de obra.

### 6.2.1 Trabajos para ambos pavimentos

Los trabajos de extracción del pavimento existente, remodelación de vereda y construcción de cordón, se consideran por igual en ambas obras (Tabla 23, 24 y 25).

Tabla 23 - Análisis de precio. Extracción del pavimento existente

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial	h	0,018	\$ 709,30	\$ 25,53
Ayudante	h	0,021	\$ 602,84	\$ 25,32
<b>c. Equipos</b>				
Camión volcador	h	0,021	\$ 2.115,65	\$ 44,43
Minicargadora	h	0,021	\$ 1.948,86	\$ 40,93
Minicargadora con fresadora	h	0,030	\$ 3.018,29	\$ 90,55
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 226,76
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 339,52</b>

Tabla 24 - Análisis de precio. Remodelación Vereda

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Hormigón H15	m <sup>3</sup>	0,150	\$ 7.500,00	\$ 1.125,00
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial especializado	h	0,011	\$ 831,93	\$ 9,15
Oficial	h	0,011	\$ 709,30	\$ 7,80
Ayudante	h	0,011	\$ 602,84	\$ 6,63
<b>c. Equipos</b>				
Minicargadora	h	0,013	\$ 1.948,86	\$ 25,34
Camión Volcador	h	0,016	\$ 2.115,65	\$ 33,85
Martillo neumático	h	0,250	\$ 576,76	\$ 144,19
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 1.351,96
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 2.024,29</b>

Tabla 25 - Análisis de precio. Construcción de cordón.

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Hormigón H30	m <sup>3</sup>	0,030	\$ 13.000,00	\$ 390,00
Barra nervada de 6 mm	kg	1,5	\$207,96	\$ 311,94
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial especializado	h	0,100	\$ 831,93	\$ 83,19
Oficial	h	0,150	\$ 709,30	\$ 106,40
Ayudante	h	0,170	\$ 602,84	\$ 102,48
<b>c. Equipos</b>				
Camión Volcador	h	0,100	\$ 2.115,65	\$ 211,57
Martillo neumático	h	0,25	\$ 3.000,00	\$ 750,00
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 1.955,57
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 2.928,08</b>

### 6.2.2 Trabajos para pavimento Rígido

Las tareas a realizar para la construcción del pavimento rígido son:

- Preparación de la subrasante para pavimento rígido, movimiento de suelo y apertura de caja. Mano de obra y equipos para la compactación (Tabla 26)
- Ejecución del pavimento de hormigón de 15 cm de espesor (Tabla 27).

Tabla 26 - Análisis de precio. Preparación de la Subrasante - e = 15 cm.

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial	h	0,046	\$ 709,30	\$ 32,63
Ayudante	h	0,056	\$ 652,67	\$ 36,55
<b>c. Equipos</b>				
Motoniveladora	h	0,013	\$ 6.001,99	\$ 78,03
Pala mecánica	h	0,006	\$ 5.459,09	\$ 32,75
Camión volcador	h	0,020	\$ 2.115,65	\$ 42,31
Equipo Regador	h	0,002	\$ 4.772,24	\$ 9,54
Vibro compactador	h	0,003	\$ 4.001,33	\$ 12,00
Tractor	h	0,018	\$ 2.318,57	\$ 41,73
Rastra y disco	h	0,018	\$ 191,82	\$ 3,45
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 289,01
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 432,73</b>

Tabla 27 - Análisis de precio. Ejecución Pavimento de Hormigón - e = 15 cm

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Hormigón Elaborado H30	m <sup>3</sup>	0,150	\$ 13.000,00	\$ 1.950,00
Hierro Nervado 10	kg	1,000	\$ 244,57	\$ 244,57
Hierro redondo Liso 20	Kg	0,90	\$ 244,57	\$ 220,11
Arena fina	m <sup>3</sup>	0,030	\$ 3.000,00	\$ 90,00
Liq. curado base solvente	l	0,040	\$ 192,35	\$ 7,69
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial especializado	h	0,40	\$ 831,93	\$ 332,77
Oficial	h	0,50	\$ 709,30	\$ 354,65
Ayudante	h	0,90	\$ 602,84	\$ 542,56
<b>c. Equipos</b>				
Regla vibradora	h	0,010	\$ 108,10	\$ 1,08
Aserradora	h	0,001	\$ 540,52	\$ 0,54
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 3.743,98
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 5.605,85</b>

### 6.2.3 Trabajos para pavimento Flexible

La construcción del pavimento flexible comprende:

- Preparación de la subbase y base, movimiento de suelo y apertura de caja. Mano de obra y equipos para la compactación (Tabla 28 y 29).
- Ejecución del pavimento asfáltico con cunetas de hormigón (Tabla 30 y 31).

Tabla 28 - Análisis de precio. Preparación de la Subbase - e = 35 cm

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial	h	0,107	\$ 709,30	\$ 75,90
Ayudante	h	0,131	\$ 602,84	\$ 78,97
<b>c. Equipos</b>				
Motoniveladora	h	0,030	\$ 1.949,03	\$ 58,47
Pala mecánica	h	0,140	\$ 1.825,59	\$ 255,58
Camión volcador	h	0,047	\$ 584,71	\$ 27,48
Equipo Regador	h	0,002	\$ 702,95	\$ 9,54
Tractor	h	0,042	\$ 2.318,57	\$ 97,38
Vibro compactador	h	0,070	\$ 1.299,36	\$ 90,95
Rastra y disco	h	0,042	\$ 84,46	\$ 3,55
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 697,83
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 1044,86</b>

Tabla 29 - Análisis de precio. Preparación de la base - e = 10 cm

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Cal	kg	6,0	\$ 23,40	\$ 140,40
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial especializado	h	0,056	\$ 831,93	\$ 46,59
Oficial	h	0,056	\$ 709,30	\$ 39,72
<b>c. Equipos</b>				
Motoniveladora	h	0,009	\$ 6.001,99	\$ 52,22
Pala mecánica	h	0,040	\$ 5.459,09	\$ 218,36
Camión volcador	h	0,013	\$ 2.115,65	\$ 27,50
Vibro compactador	h	0,020	\$ 4.001,33	\$ 80,03
Tractor	h	0,012	\$ 2.318,57	\$ 27,82
Rastra y disco	h	0,012	\$ 191,82	\$ 2,30
Equipo regador	h	0,002	\$ 2.318,57	\$ 46,37
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 657,92
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 985,10</b>

Tabla 30 - Análisis de precio. Ejecución Pavimento de Concreto Asfáltico. e = 12 cm

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Riego Asfáltico	lt	2,000	\$ 97,75	\$ 195,50
Emulsión Asfáltica	kg	0,300	\$ 205,00	\$ 61,50
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial especializado	h	0,011	\$ 831,93	\$ 9,15
Oficial	h	0,011	\$ 709,30	\$ 7,80
Ayudante	h	0,011	\$ 602,84	\$ 6,63
<b>c. Equipos</b>				
Terminadora	h	0,013	\$ 4.330,02	\$ 56,29
Aplanadora Mecánica	h	0,016	\$ 3.739,70	\$ 59,84
Rodillo Neumático	h	0,017	\$ 3.503,54	\$ 59,56
Regador de Material Asfáltico	h	0,001	\$ 4.772,24	\$ 4,77
<b>COSTO - COSTO</b>				\$ 461,04
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 690,32</b>

Tabla 31 - Análisis de precio. Ejecución de cunetas

<b>OBRA: REPAVIMENTACIÓN COLECTORA LUIS FANTI ENTRE M. OLIBER Y FCO. PERETTI</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>a. Materiales</b>				
Hormigón Elaborado H30	m <sup>3</sup>	0,150	\$ 13.000,00	\$ 1.950,00
Arena fina	m <sup>3</sup>	0,030	\$ 3.000,00	\$ 90,00
<b>b. Mano de Obra</b>				
Oficial	h	0,50	\$ 709,30	\$ 354,65
Ayudante	h	0,90	\$ 602,84	\$ 542,56
<b>c. Equipos</b>				
Fratacho	U	2,000	\$ 320,00	\$ 640,00
<b>COSTO - COSTO</b>				<b>\$ 3.577,21</b>
Coeficiente de Resumen				1,4973
<b>PRECIO DE APLICACIÓN</b>				<b>\$ 5.356,15</b>

### 6.3 RESULTADOS

Obtenidos los precios de cada ítem, se realiza el presupuesto para la construcción de cada uno de los pavimentos (Figura 38 y 39). Se evalúa cual de los dos es el más económico.

<b>Pavimento de Concreto Afáltico e = 12 cm.</b>						
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Incidencia</b>
<b>REPARACIÓN VEREDA</b>						1%
1	Cordon	l	2.8	\$2,928.08	\$8,198.63	
	Vereda	m2	8.6	\$2,024.29	\$17,408.90	
<b>DEMOLICIÓN PAVIMENTO</b>						9%
	Demolición mecánica de pavimento y traslado de escombros.	m2	450.9	\$339.52	\$153,091.59	
<b>PREPARACIÓN DE LA BASE - e = 10 cm</b>						29%
	Movimiento de suelo y apertura de caja con retiro de capa de ripio suelo. Mano de obra y equipos para la compactación de la subrasante.	m2	520.8	\$985.10	\$513,038.86	
<b>PREPARACIÓN DE LA SUBBASE - e = 35 cm</b>						31%
	Movimiento de suelo y apertura de caja con retiro de capa de ripio suelo. Mano de obra y equipos para la compactación de la subrasante.	m2	520.8	\$1,044.86	\$544,163.25	
<b>EJECUCIÓN PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO. e = 12 cm</b>						18%
	Materiales, mano de obra y equipos para la ejecución de pavimento.	m2	450.9	\$690.32	\$311,264.83	
<b>EJECUCIÓN CUNETAS</b>						12%
	Materiales, mano de obra y equipos para la ejecución de pavimento.	m2	70.2	\$2,928.08	\$205,551.27	
<b>TOTAL OPCION 2</b>					<b>\$1,752,717.32</b>	<b>100%</b>

Figura 38 - Presupuesto para la construcción pavimento flexible.

Pavimento de Hormigón e = 15 cm. Subbase suelo común						
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	recio Unitari	TOTAL	Incidencia
1	<b>REPARACIÓN VEREDA</b>					1%
	Cordon	l	2.8	\$2,928.08	\$8,198.63	
	Vereda	m2	8.6	\$2,024.29	\$17,408.90	
2	<b>DEMOLICIÓN PAVIMENTO</b>					5%
	Demolición mecánica de pavimento y traslado de escombros.	m2	450.9	\$339.52	\$153,091.59	
3	<b>PREPARACIÓN DE LA SUBBASE - e = 10 cm</b>					7%
	Movimiento de suelo y apertura de caja con retiro de capa de ripio suelo. Mano de obra y equipos para la compactación de la subrasante.	m2	520.8	\$432.73	\$225,365.30	
4	<b>EJECUCIÓN PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON CORDONES INTEGRALES</b>					88%
	Materiales y elaboración de hormigón, materiales tomado de juntas, pasadores y líquido de curado. Mano de obra y equipos para la ejecución de pavimento.	m2	520.8	\$5,605.85	\$2,919,529.04	
		<b>TOTAL OPCION 1</b>			<b>\$3,323,593.46</b>	<b>100%</b>

Figura 39 - Presupuesto para la construcción pavimento rígido

Para el caso del pavimento de hormigón el costo es de \$ 3.323.593. El del concreto asfáltico es de \$ 1.752.717. Hay una diferencia de \$ 1.570.876, siendo éste un valor elevado, pero se compensa con los costos de los mantenimientos.

Aparte, el costo por año de vida útil del pavimento de hormigón es de \$ 110.786 y el de concreto asfáltico de \$ 116.848. Por lo tanto, la opción más eficiente es realizar un pavimento rígido, ya que la diferencia de precio entre ambos en función de la vida útil no presenta grandes diferencias.



# **CAPÍTULO 7**

## **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **7.1 GENERALIDADES**

El impacto ambiental se define como toda modificación significativa, positiva o negativa, producida sobre el ambiente y en la calidad de vida de la población, como consecuencia del desarrollo de obras o actividades.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el proceso que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos que un proyecto de obra o actividad puede causar al ambiente, en el corto, mediano y largo plazo; previo a la toma de decisión sobre la ejecución de un proyecto.

Según el artículo 11 de la Ley Nacional N° 25.675, toda obra en el territorio de la Nación, sea susceptible de degradar el ambiente o afectar la calidad de la vida de la población, en forma significativa, estará sujeto a un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo a su ejecución.

El documento técnico de la EIA es el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) que realiza el proponente del proyecto y contiene: descripción de proyecto, la línea de base ambiental y social, el marco legal de cumplimiento, el análisis de alternativas, la identificación y valoración de los potenciales impactos ambientales y sociales que el proyecto puede causar en el corto, mediano y largo plazo, así como la previsión de la gestión ambiental para abordarlos<sup>9</sup>.

### **7.2 DESARROLLO METODOLÓGICO**

El análisis de impactos ambientales consiste en la identificación, valoración, dimensionamiento y evaluación de los impactos de un proyecto sobre el medio ambiente. El análisis parte de la identificación de los efectos sobre el ambiente, para luego valorarlos, estudiarlos detalladamente, cuantificarlos y posteriormente determinar su significatividad, en la evaluación de impactos.

La evaluación de impactos implica asignar una magnitud a los mismos, no sólo en base a la experiencia profesional, sino mediante la adopción de principios éticos o criterios que parten de una mirada subjetiva.

Para este capítulo se utiliza la Matriz Causa - Efecto PROGNOS II. Esta matriz de doble entrada, tiene como filas los factores ambientales susceptibles de ser alterados y como columnas las acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente. Es una matriz de interacción simple para identificar los diferentes impactos ambientales potenciales de un proyecto determinado.

Kaczan y Gutiérrez (2009) han desarrollado el Método "PROGNOS II" de Evaluación de Impacto Ambiental mediante el desarrollo de matrices semicuantitativas, donde no conforman una estructura rígida predeterminada, sino que presentan una estructura abierta y dinámica.

Al no existir metodologías universalmente aceptadas y de uso común, se adopta en la presente evaluación el criterio de la Tabla 32 para la valoración de los impactos.

---

<sup>9</sup> <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/evaluacion-de-impacto-ambiental>

Tabla 32 - Discriminación de los impactos según sus características sistema Prognos II

Orden secuencial	Característica del impacto	Símbolo utilizado
1	Signo	(+) Positivo – color verde (-) Negativo – color rojo (X) Probable – color negro (.....) No considerado
2	Importancia	(1) Menor (2) Mediana (3) Mayor
3	Riesgo de ocurrencia	(C) Cierta (P) Posible
4	Duración	(T) Temporaria (V) Recurrente (S) Permanente
5	Término de ocurrencia	(E) Inmediato (M) Mediato (L) Largo plazo
6	Reversibilidad	(B) Reversible a corto plazo (D) Reversible a mediano plazo (H) Reversible a largo plazo (I) Irreversible (K) No considerado
7	Extensión areal	(F) Focalizada (A) Local (R) Regional (G) Global
8	Necesidad de monitorear los efectos considerados	(Y) Si (N) No

### 7.3 RESULTADOS

El área afectada contempla una calle transitada con frecuencia baja-media. Es una zona no inundable, de características industriales, con veredas no arboladas.

Con la implementación del proyecto se generarán beneficios para el ambiente socioeconómico, entendiéndose que se encuentra en la actualidad totalmente urbanizado y que no implementará grandes cambios estructurales.

Los impactos relevantes a mitigar están asociados a la Etapa de Construcción, por lo que su perduración se entiende como esporádica. Los impactos durante la Etapa de Operación no representan una gran complejidad, considerando factible su manejo a través de operaciones sencillas de manejo ambiental.

En las Figuras 40 y 41 se observa el estudio de los impactos generados para cada tipo de pavimento, mediante el desarrollo de la Matriz Causa – Efecto.

MATRIZ DE INTERACCIONES DE IMPACTO - PAVIMENTO RÍGIDO															
Medio		Abiótico					Antrópico								
Componente		Suelo	Aire		Agua		Paisaje	Social			Economico		Higiene		
IMPACTO		Erosión	Ruido	Material Particulado	Emision Gases	Drenaje superficial	Acuíferos	Medio Visual	Molestias	Calidad de vida	Reduccion de accidentes	Seguridad vial	Empleo	Poblacion activa	Salud
ACTIVIDADES															
ETAPA PRELIMINAR															
Inspecciones		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	(.....)
Señalización		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	(.....)
Transporte de maquinarias y materiales		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Demolición pavimento actual		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CVEDFN	X1PTMKFN	-1CTMDFN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Elaboración Hormigón en planta		(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
CONSTRUCCIÓN															
Replanteo, Nivelación		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Escarificación suelo		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CVEDFN	X1PTMKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Compactación suelo		-1CSEKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CSEKFN	X1PTMKFN	-1CTMDFN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
Colocación Hormigón		-3CSEIFN	-1CTEBFN	(.....)	-1CTEBFN	+3PSEIFN	X1PTMKFN	+2CTMBLN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
Curado		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3PSEIFN	X1PTMKFN	+2CTMBLN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
Aserrado y sellado de juntas		(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+2CTMBLN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
OPERACIÓN															
Puesta en servicio		(.....)	-1CSEIFN	(.....)	-1CSEIFN	+3PSEIFN	-1CSEKFN	+3CSEILN	+3CSEILN	+3CSEILN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN
Mantenimiento		(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CSEIFN	-1CTEBFN	-1CSEKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	+3CSEILN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN

Figura 40 - Matriz de Interacciones de Impacto. Pavimento rígido.

MATRIZ DE INTERACCIONES DE IMPACTO - PAVIMENTO FLEXIBLE															
Medio		Abiótico					Antrópico								
Componente		Suelo	Aire		Agua		Paisaje	Social			Economico		Higiene		
IMPACTO		Erosión	Ruido	Material Particulado	Emision Gases	Drenaje superficial	Acuíferos	Medio Visual	Molestias	Calidad de vida	Reduccion de accidentes	Seguridad vial	Empleo	Poblacion activa	Salud
ACTIVIDADES															
ETAPA PRELIMINAR															
Inspecciones		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	(.....)
Señalización		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	(.....)
Transporte de maquinarias y materiales		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Demolición pavimento actual		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CVEDFN	X1PTMKFN	-1CTMDFN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Elaboración de Concreto en planta		(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
CONSTRUCCIÓN															
Replanteo, Nivelación		(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Escarificación suelo		-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CVEDFN	X1PTMKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	(.....)
Compactación suelo		-1CSEKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-2CSEKFN	X1PTMKFN	-1CTMDFN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
Imprimación material asfaltico		-3CSEIFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	+3PSEIFN	X1PTMKFN	+2CTMBLN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
Colocación mezcla asfáltica		-3CSEIFN	-1CTEBFN	(.....)	-1CTEBFN	+3PSEIFN	X1PTMKFN	+2CTMBLN	-1CTMDFN	-1CTEBFN	(.....)	(.....)	+3CTEBLN	+3CTEBLN	-1CTEBFN
OPERACIÓN															
Puesta en servicio		(.....)	-1CSEIFN	(.....)	-1CSEIFN	+3PSEIFN	-1CSEKFN	+3CSEILN	+3CSEILN	+3CSEILN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN
Mantenimiento		(.....)	-1CTEBFN	-1CTEBFN	-1CSEIFN	-1CTEBFN	-1CSEKFN	-1CTEBFN	-1CTEBFN	+3CSEILN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN	+3CTEBLN

Figura 41 - Matriz de Interacciones de Impacto. Pavimento flexible.

### 7.3.1 Etapa preliminar

Las tareas que comprenden en la etapa preliminar es la preparación de la zona de trabajo eliminando de la carpeta existente y su respectiva limpieza.

A partir de las matrices realizadas, se determina que, al retirar la carpeta asfáltica actual por sus malas condiciones, se vuelve residuo. Al ser transportado al Relleno Sanitario genera un impacto negativo al suelo, dependiendo del volumen y las características del residuo (Michaca, et al., 2001).

También se produce un incremento de ruido, alteraciones en el tránsito vehicular, generación de residuos y afectación directa en la salud de los vecinos y trabajadores. Estos son efectos de carácter transitorio. Tiene un aspecto positivo temporal, que es la generación de empleo.

Durante la ejecución del proyecto, se deberá desviar la calle afectada por la obra, afectando las calles aledañas por el tránsito de los vecinos.

Sólo el 30% de los impactos tiene una importancia mayor, el 63% una menor y el resto una mediana. Por lo tanto, se puede decir que los efectos en el medio ambiente son mínimos. En cuestión de duración el 96% son temporarios y el 4% recurrente.

En cuanto a la reversibilidad el 85% son impactos reversibles a corto plazo, solamente se tiene un pequeño porcentaje de que representa a un impacto reversible a mediano plazo (11%), que está referido a las molestias provocadas por la demolición del pavimento actual.

De acuerdo a los 27 casilleros de los impactos provocados por la etapa preliminar se puede observar que el 67% es considerado negativo, el 30% es positivo y el 3% con impactos probables (Figura 42). Únicamente el impacto en napas freáticas es considerado de duración recurrente, los demás son temporarios.

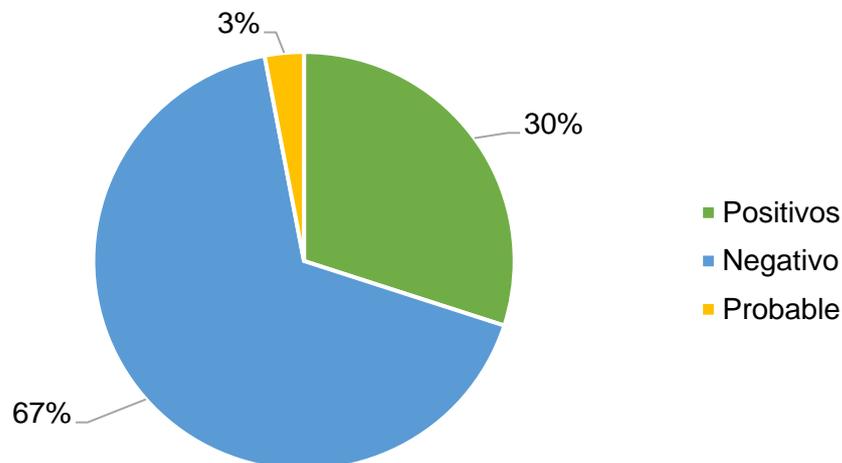


Figura 42 – Porcentaje de impactos en etapa preliminar.

### 7.3.2 Etapa de Construcción del Pavimento Rígido

Las tareas que comprenden esta etapa son apertura de caja, composición de subrasante mediante aporte de suelo cal; y ejecución de carpeta de rodamiento de hormigón de 15 cm de espesor.

En la planta de hormigón los efectos negativos que se pueden observar son la generación de partículas sólidas suspendidas provocadas por el acopio de materiales arrastrado por el viento y la emisión de gases producida por el transporte del hormigón a la zona de trabajo.

En el curado la humedad que se mantiene sobre la superficie de rodamiento genera una evapotranspiración que altera temporal y puntualmente las condiciones de humedad y temperatura en la zona del proyecto (Michaca, et al., 2001). Esto es un impacto local y temporario de 3 a 7 días.

De acuerdo a los 53 casilleros de los impactos provocados por la construcción del pavimento de hormigón se puede observar que el 60% es considerado negativo, el 32% positivo y el 8% probable (Figura 43). Como se dijo anteriormente, estos efectos son temporarios.

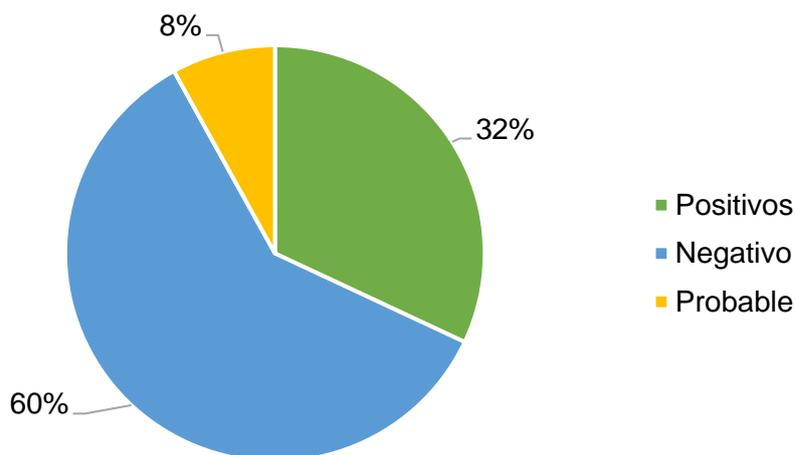


Figura 43 - Porcentaje de impactos en etapa construcción pavimento rígido.

Sólo el 6% de los impactos negativos son de mayor importancia, comprendiendo la erosión del suelo en la colocación del hormigón, y el 81% son de menor importancia. En cambio, en los impactos positivos más del 80 % son de gran importancia.

En cuanto a la reversibilidad, el 72% son impactos reversibles a corto plazo, solamente se tiene un pequeño porcentaje de que representa a un impacto irreversible (6%), que está referido a la erosión del suelo producido por la colocación del hormigón y al mejoramiento del drenaje superficial.

### 7.3.3 Etapa de Construcción del Pavimento Flexible

Durante el calentamiento de la mezcla asfáltica en proceso de fabricación del asfalto se generan emisiones de gases provocados por la combustión incompleta de los derivados del petróleo (Michaca, et al., 2001). Además, se utilizan materiales pétreos por lo que se producen emisiones de partículas sólidas suspendidas.

En la etapa de construcción del pavimento también se genera una disminución de la calidad del aire por el mismo motivo que la etapa anterior, la utilización de agregados pétreos, generando nubes de polvo.

En el mantenimiento, si se llegan a producir hundimientos en la carpeta, es necesario utilizar nuevamente mezcla asfáltica teniendo en cuenta los problemas de emisiones de gases y partículas que generan en su preparación y colocación. Es un impacto temporario poco significativo ya que las cantidades de vapores emitidas son mínimas.

Los porcentajes obtenidos son muy parecidos a los del pavimento rígido, de los 48 casilleros, el 63% son impactos negativos, el 29% positivo (Figura 44). De los efectos negativos el 87% tienen una importancia menor y el 7% son de gran importancia.

La duración de los efectos positivos es temporaria, excepto el mejoramiento del drenaje superficial, en cambio en los efectos negativos el 83% son temporarios y el 13% son permanentes debido a que el suelo se vuelve impermeable.

En cuanto a la reversibilidad, el 87% son impactos reversibles a corto plazo y un 11% son impactos irreversibles, que está referido a la erosión del suelo producido por la colocación del concreto y al mejoramiento del drenaje superficial.

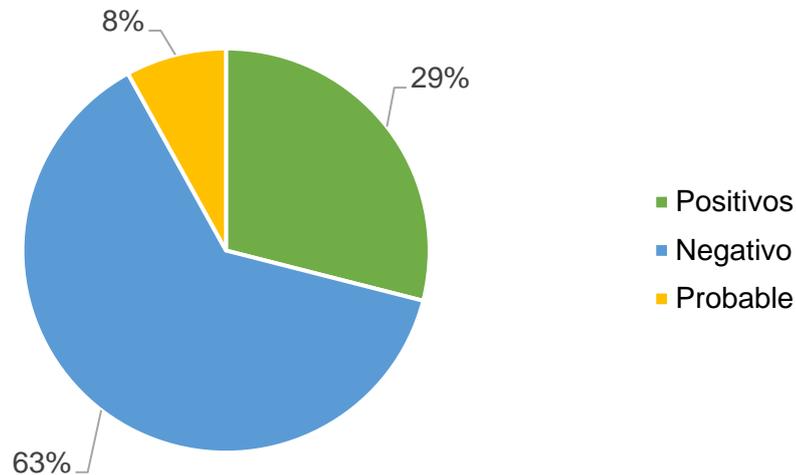


Figura 44 - Porcentaje de impactos en etapa construcción pavimento flexible.

#### 7.3.4 Etapa Operación

Una vez terminada su construcción los efectos adversos que traen ambos pavimentos son:

- Disminución en la recarga de acuíferos al disminuir la superficie de infiltración y modificación de la tasa de infiltración. Es un impacto permanente, pudiendo afectar las reservas hídricas.
- Disminución de los tiempos de traslado, mejorando el índice de servicio. Es un impacto beneficioso significativo.
- Mejora visual del ingreso a la empresa de válvulas Basso S.A y mejoras en la seguridad vial.

No se prevé una mayor circulación de vehículos en el barrio sino una mejora de los mismos. De esta manera, no se espera una mayor emisión de gases, de material particulado y generación de ruidos por el tránsito local.

De los 25 casilleros el 60% son impactos positivos y el 40% son negativos. Esto quiere decir que a pesar de los efectos negativos encontrados en las etapas anteriores el resultado final es un impacto ambiental bajo. Hay una cantidad mínima de impactos negativos que provocan riesgos o molestias mínimas a la población y al medio ambiente.



## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES**

Es importante aclarar que la selección y la aplicación del método PCI depende del criterio que tenga el profesional encargado, lo cual influirá en las decisiones futuras acerca de lo estructural, económico y ambiental.

En el trabajo se pudo observar que mediante la aplicación del método PCI, el estado de la Colectora Luis Fanti es muy mala, siendo los hundimientos la patología más evidente en el tramo estudiado, ocupando un 32%. A partir de esto, se realizó una comparación entre dos de los métodos de pavimentación que se realizan en la ciudad de Rafaela, es decir, con hormigón y concreto asfáltico.

Para el cálculo de ambas alternativas con el método AASHTO se debe tener en cuenta el clima, la calidad de la subrasante (CBR) y la cantidad de flujo vehicular. A partir de esto se pudo determinar que, aumentado los valores del CBR, para un flujo vehicular constante se obtienen menores espesores en los paquetes estructurales de los pavimentos. La aplicación del 5% de cal produjo un aumento del 87,5% del valor del CBR.

De todos los paquetes obtenidos se optaron por comparar el pavimento de hormigón de espesor de 15 cm con suelo común y el flexible de 12 cm de espesor con suelo cal. Los pavimentos de mayor espesor tienen menor pérdida de rugosidad, siendo significativa a los términos de mantenimiento y costos. Por lo que se pudo determinar que el pavimento de hormigón es el más recomendado para dicha repavimentación.

En la Tabla 33 se puede observar que el pavimento rígido tiene un costo de \$ 3.323.593 y el flexible de \$ 1.752.717. La diferencia se basa en el bajo valor del concreto asfáltico y el bajo nivel de tránsito en el tramo, ya que si el tránsito fuera elevado el pavimento flexible no sería económico debido a su elevado espesor por ser un material con problemas en la resistencia.

Tabla 33 - Comparación pavimento rígido y flexible.

	Pavimento de Hormigón	Pavimento de Concreto Asfáltico
Espesor subrasante	15 cm	-
Espesor Subbase	-	35 cm
Espesor Base	-	10 cm
Espesor Carpeta de rodamiento	15 cm	12 cm
Costo	\$ 3.323.593	\$ 1.752.717
Vida útil (años)	30	15
Costo por año de vida útil	\$ 110.786	\$ 116.848

En la parte ambiental el hormigón posee mejores aspectos positivos en la etapa de construcción teniendo un 63% de aspectos negativos, mientras que el concreto asfáltico tiene un 60%, esta diferencia se encuentra en la elaboración del material.

A pesar de que el pavimento flexible sea más económico que el rígido, si se analiza el costo por años de vida útil, el pavimento de hormigón es más barato.

Además, se optó por utilizar el hormigón ya que su vida útil es mayor, el desgaste superficial es menor por lo que los costos de mantenimiento son bajos y produce menores efectos negativos en el medio ambiente. También debido que al flujo vehicular es bajo, hay altas probabilidades que la vida útil se prolongue por más tiempo.

La ejecución de esta obra permitirá mejorar la transitabilidad de la calle afectada, otorgando un mayor plazo de vida útil, optimizando las condiciones de seguridad para una normal circulación, y bajando sustancialmente los costos de mantenimiento a valores casi nulos, en

donde se ejecute la obra. También produce una mejora en el drenaje de las aguas de lluvia evitando así su acumulación en algunos sectores de la Colectora.

Los trabajos a realizar consisten en la demolición del pavimento existente, incluidas las cunetas, la extracción de la carpeta estabilizada granular dejando los cordones de hormigón existentes. La ejecución de la obra de pavimento de hormigón sin armar de 0,15 m de espesor, con pasadores y barras de unión, que se construirá sobre una base de suelo compactado de 0,15 m de espesor y subrasante de suelo natural compactado, con anchos de calzada previamente definidos.

Los dos tipos de pavimentos tienen ventajas que deben ser aprovechadas. Cada proyecto debe ser analizado para determinar cuál es la mejor opción para cada caso, haciendo un análisis de todos los factores que intervienen en el proyecto.

## REFERENCIAS

- AASHTO, *A policy on geometric design of highways and streets*, 6ª Ed, AASHTO, Washington D.C, 2011.
- AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*, 2ª Ed, AASHTO, Washington D.C, 1993.
- ACURIO, J. R. M., *Ingeniería de Pavimentos, Materiales, Diseño y Conservación*, 1ª Ed, Fondo ICG, Lima, 2009.
- ARIAS L. A. C., *Determinación de factores de camión para el diseño de pavimentos flexibles en Guatemala*, Tesis de Grado, USCG, Guatemala, 2010.
- ARISTIDES H. L. J., REMBERTO R., EDUARDO C. A., *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos*, Tesis de Grado, UDS, 2016.
- ASTMD 2487-93., *Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes*.
- ASTMD 6433., *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- ESCOBAR L. M. M., GAVIRIA M. J. y VASQUEZ G. C. L., *Diseño de pavimento flexible y rígido*, Tesis de Grado, UDQ, 2012 Armenia.
- HIRPAHUANCA L. D., *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlín*, Tesis de Grado, UAC, Ecuador, 2016.
- INVIAS, *Guía Metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimento asfáltico de carreteras*, 2ª Ed, Colombia, 2008.
- KACZAN, L. y GUTIERREZ T. C. F., *Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*, Dirección de posgrado UTN, Facultad Regional Santa Fe, 2009.
- MARCUS, R., MORRESI, M. DEL V., ELIZALDE CARRILLO, E., MACOR, J., & CRISTINA, I., *Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986–2016. Cuadernos Del CURIHAM, 25, 41–57.* <https://doi.org/10.35305/curiham.v25i0.118>, 2019.
- MICHACA H. L. J, GRANADOS S. M. V., CHAIRES C. I., HERNÁNDEZ D. A. y GUTIÉRREZ T. R., *Impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento*, Tesis de Grado, IMT, México, 2001.
- PADILLA R. P., *Diseño del pavimento rígido para el Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme - Celica - Alamor*, Tesis de Grado, UIDE, Ecuador, 2011.
- PANIGATTI, *Consideraciones sobre el clima del centro – oeste de la provincia de Santa Fe*, INTA, RAFAELA 1968.
- PIARC., *HDM-4 the Highway Development and Management Series*, Software, Francia, 2004.
- SABOGAL, F. S., *INGENIERIA DE PAVIMENTOS*, 2ª Ed, Agora, Colombia, 2002.
- SANTANA A. O. M., *“Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de Soporte de California en los diferentes tipos de suelos*, Tesis de Grado, UTA, Ambato, 2016.

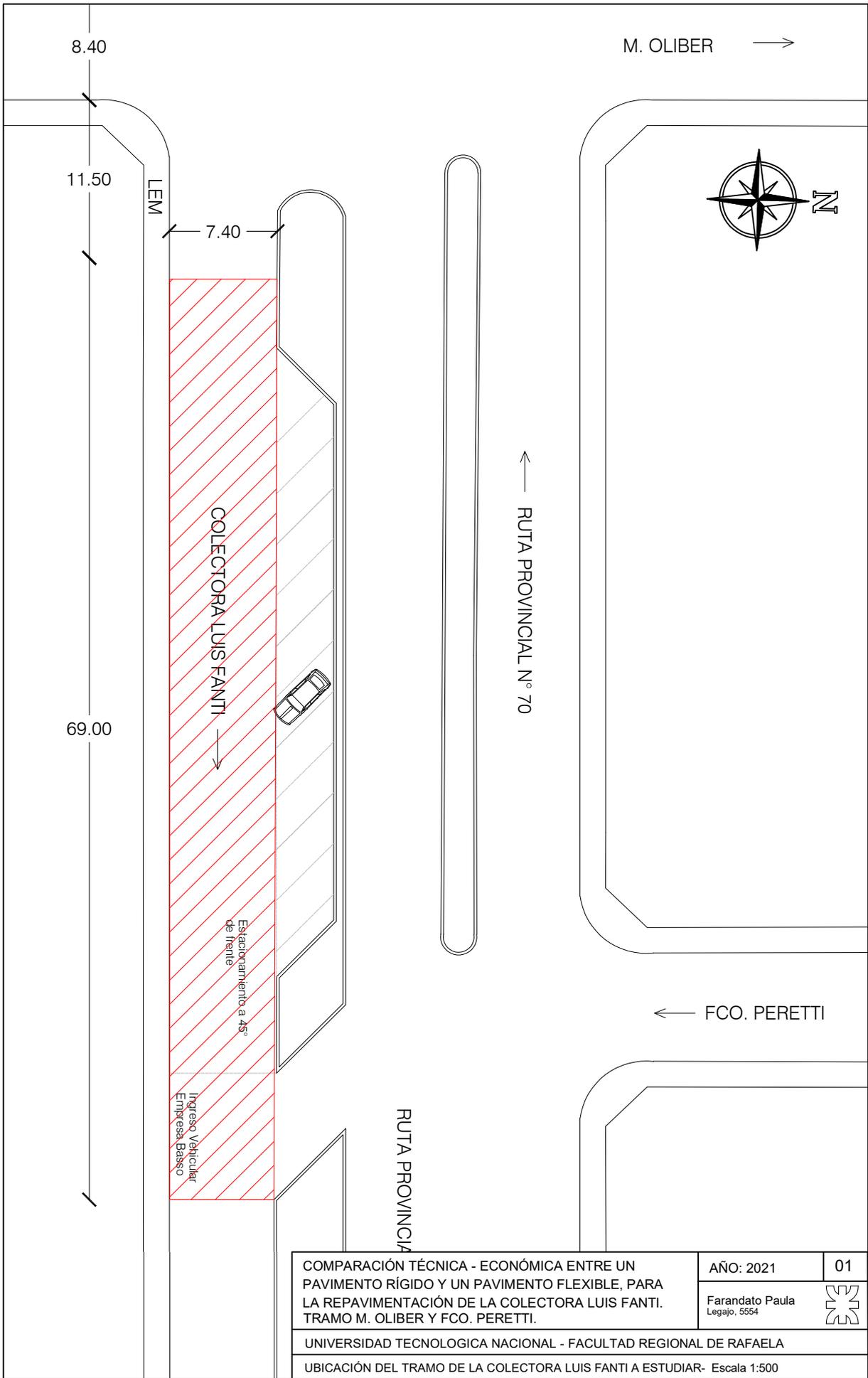
VALENZUELA C. y OLIVA F., *Conservación de caminos de pavimento flexible*, Tesis de Grado, UNS, México, 2002.

VARELA L. R. V., *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)*, 1ª Ed, ingepav, Colombia, 2002.

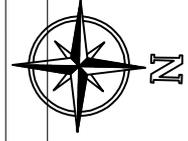
VELÁSQUEZ E. D. R., *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla*, Tesis de Grado, UDEP, Chile, 2008.

# **ANEXO I**

## **MÉTODO PCI**



COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.	AÑO: 2021	01
	Farandato Paula Legajo, 5554	
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA		
UBICACIÓN DEL TRAMO DE LA COLECTORA LUIS FANTI A ESTUDIAR- Escala 1:500		



← RUTA PROVINCIAL N° 70

← FCO

RUTA PROVINCIAL

COLECTORA LUIS FANTI →

A1 = 255.5 m2

A2 = 255.5 m2

Ingreso Vehicular  
Empresa Basso

7.40

34.50

69.00

34.50

COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.

AÑO: 2021

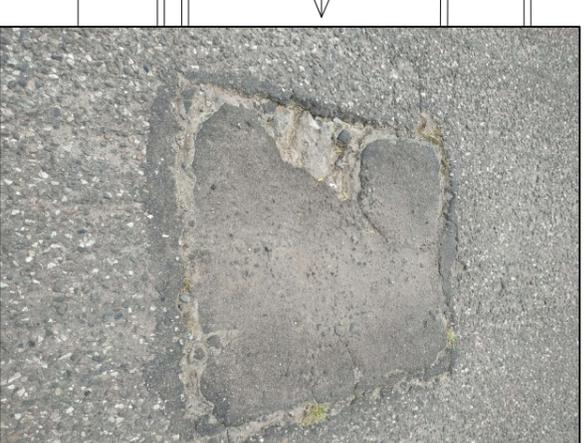
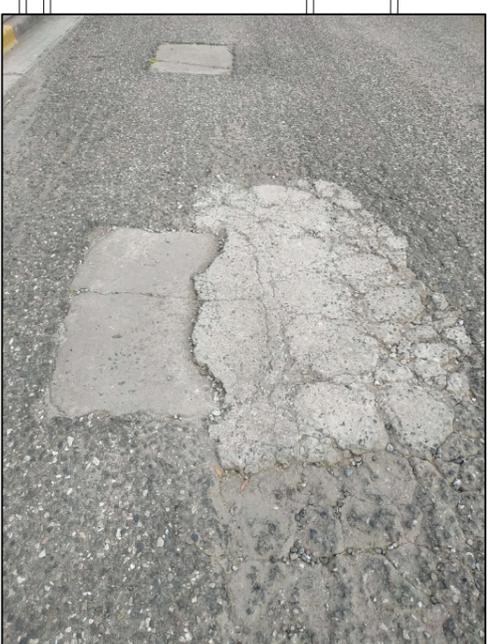
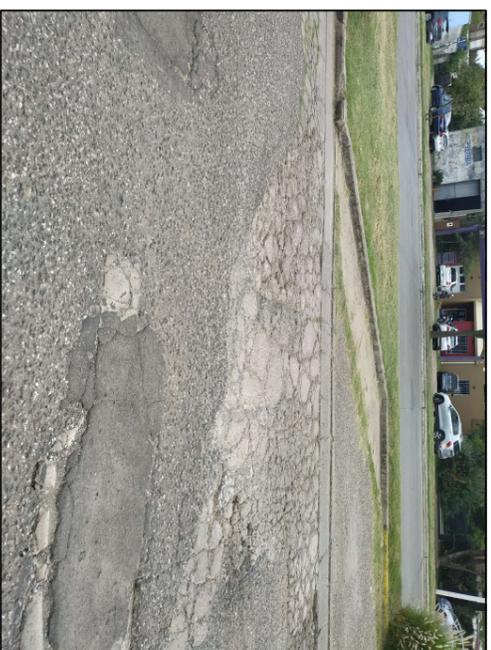
02

Farandato Paula  
Legajo. 5554

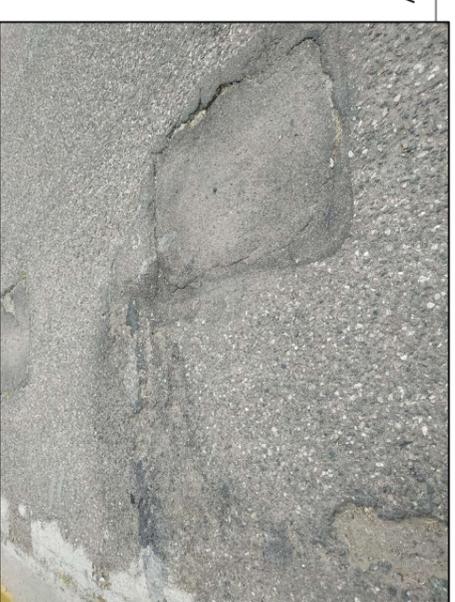
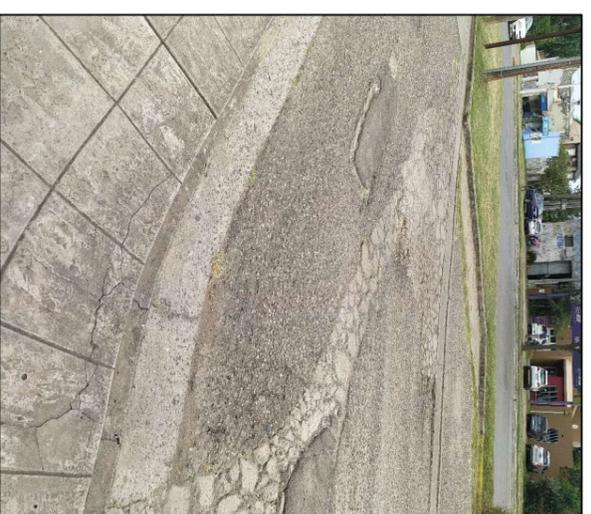
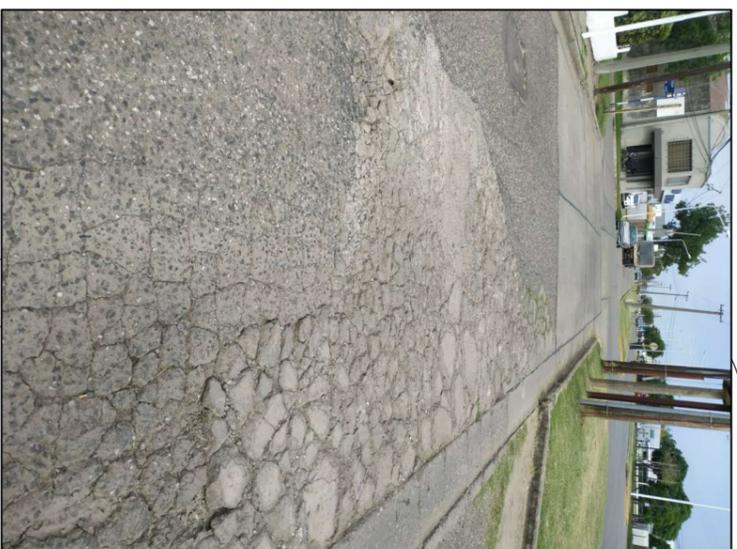
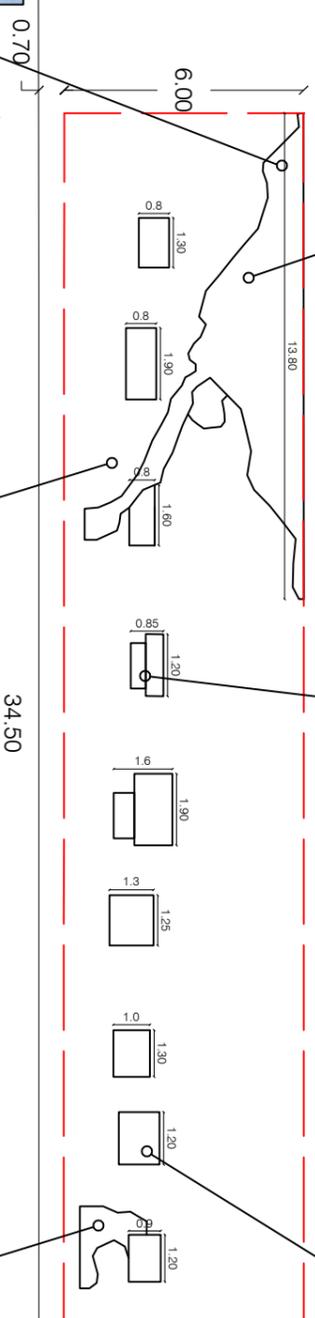


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA

UBICACIÓN DEL TRAMO DE LA COLECTORA LUIS FANTI A ESTUDIAR- Escala 1:300



**COLECTORA LUIS FANTI**



**COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.**

**AÑO: 2021**

**03**

Farandato Paula  
Legajo. 5554



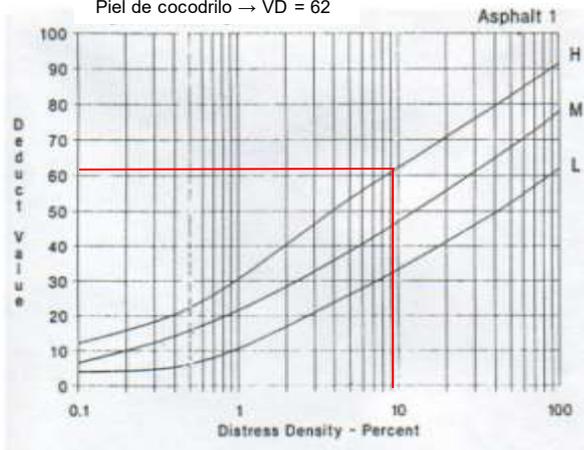
**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA**

**RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO DE LA COLECTORA LUIS FANTI - Escala 1 : 200**

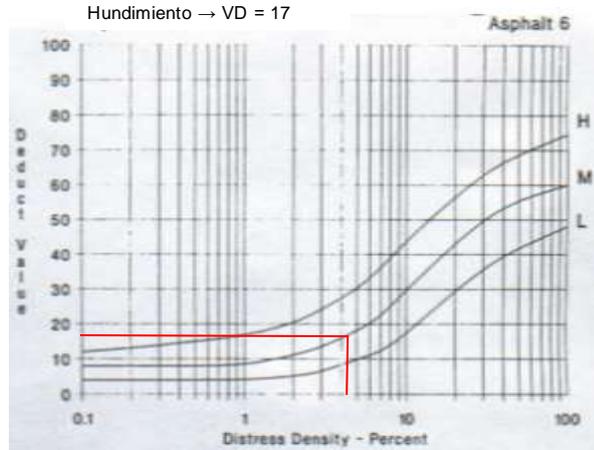
MÉTODO PCI										
ÍNDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: Colectora Luis Fanti					Unidad de Muestra: U1					
Fecha: 22/03/2021					Área: 255,3 m <sup>2</sup>					
<b>1. Piel de cocodrilo</b> 2. Exudación 3. Fisuras en bloque <b>4. Hundimientos</b> 5. Corrugación 6. Depresión			7. Fisura de borde 8. Fisura de reflexión de junta 9. Desnivel carril-berma 10. Fisuras longitudinales y transversales <b>11. Parches</b> 12. Agregado pulido			<b>13. Baches</b> 14. Ahuellamiento 15. Desplazamiento 16. Hinchamiento <b>17. Peladuras</b>			Valor Deducido	
Falla	Cantidad		Total	Densidad	Valor Deducido					
1.H	24,20				24,20	9,5%	62			
11.L	1,04	1,52	1,02	1,32	13,23	5,18%	10			
13.H	1,08				1,08	0,42%	38			
4.M	0,98	1,04	1,28	1,08	11,03	4,32%	17			
17.H	34,15				34,15	13,37%	47			

## CURVAS DE VALOR DEDUCIDO PARA MUESTRA U1

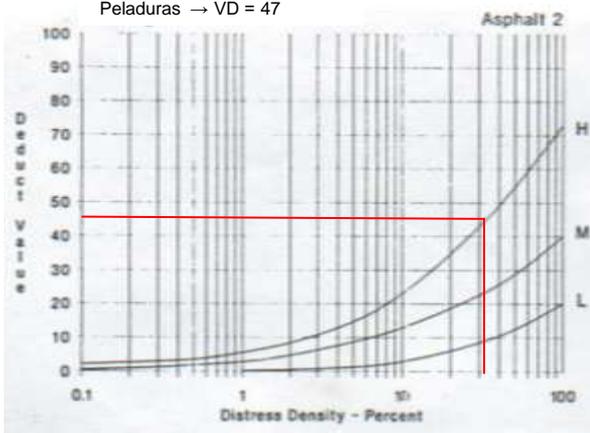
Piel de cocodrilo → VD = 62



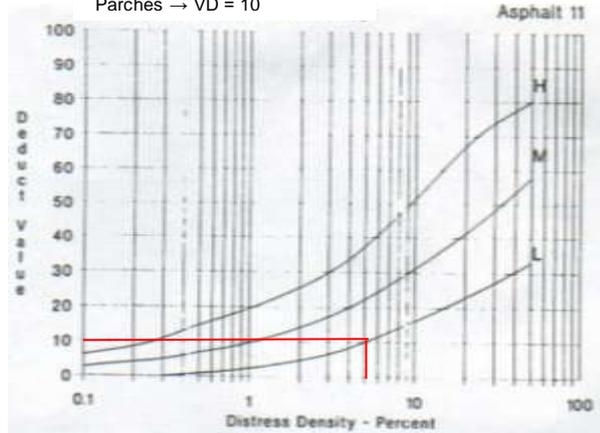
Hundimiento → VD = 17



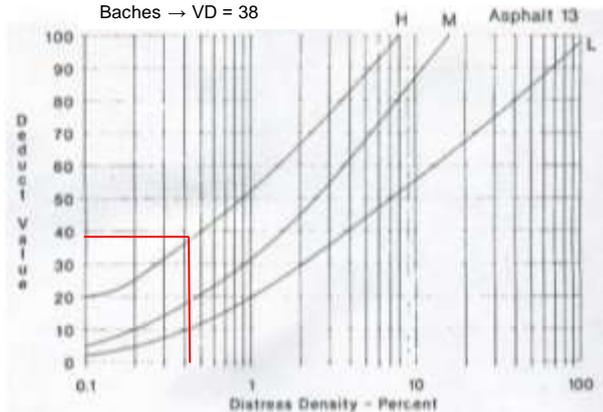
Peladuras → VD = 47



Parches → VD = 10

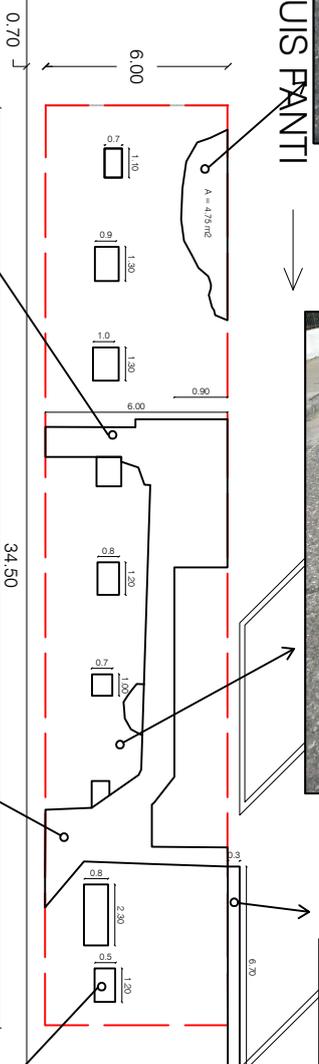


Baches → VD = 38





COLECTORA LUIS FANTI



COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI, TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.

AÑO: 2021

04

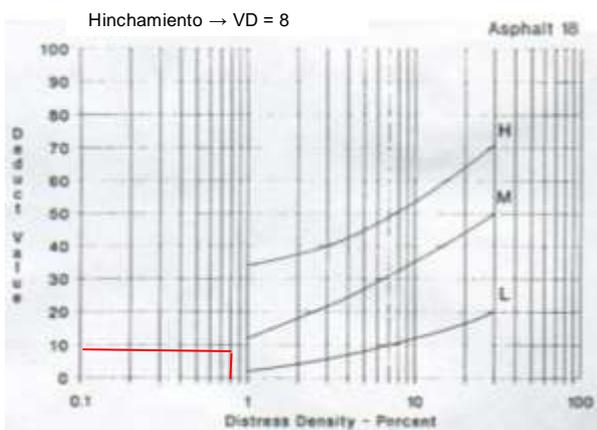
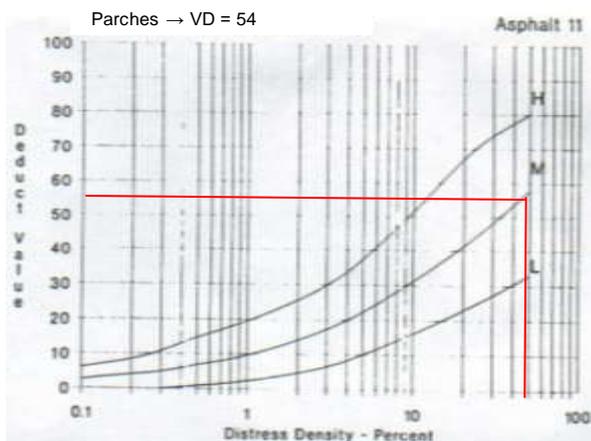
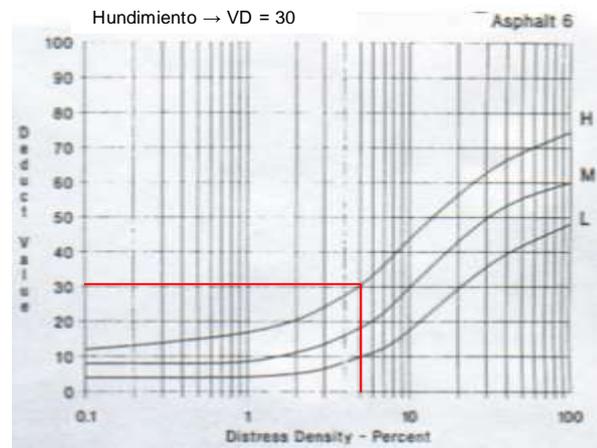
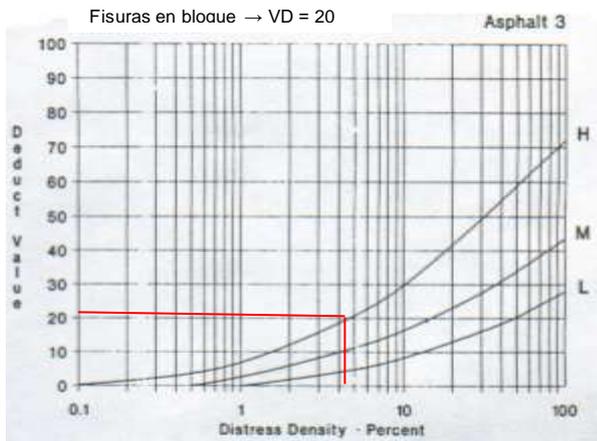
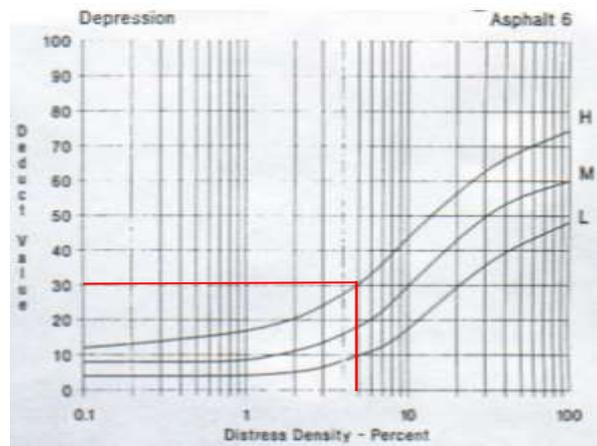
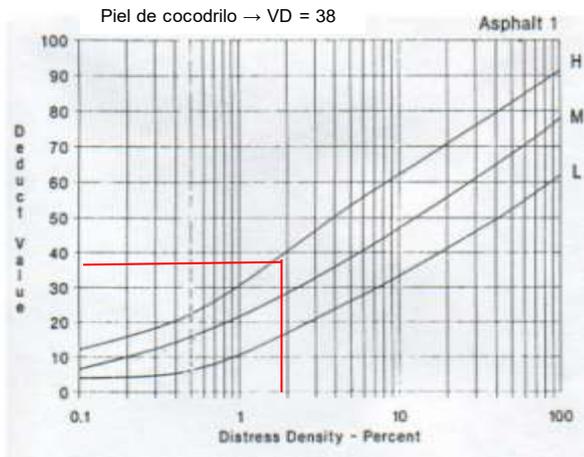
Farandato Paula  
Legajo: 5554



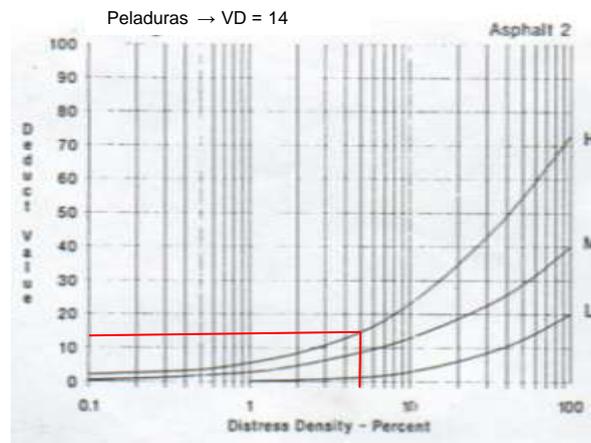
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA  
RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO DE LA COLECTORA LUIS FANTI - Escala 1:200

MÉTODO PCI											
ÍNDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE											
HOJA DE REGISTRO											
Nombre de la vía: Colectora Luis Fanti.			Unidad de Muestra: U2								
Fecha: 22/03/2021			Área: 255,3 m <sup>2</sup>								
<b>1. Piel de cocodrilo</b> 2. Exudación <b>3. Fisuras en bloque</b> <b>4. Hundimientos</b> 5. Corrugación 6. Depresión			7. Fisura de borde 8. Fisura de reflexión de junta 9. Desnivel carril-berma 10. Fisuras longitudinales y transversales <b>11. Parches</b> 12. Agregado pulido			13. Baches 14. Ahuellamiento 15. Desplazamiento <b>16. Hinchamiento</b> <b>17. Peladuras</b>			Total	Densidad	Valor Deducido
4.H	7,25	1,17	1,3	1,1	0,62	2,9			14,34	5,6%	30
11.M	0,77	1,17	1,3	1,1	0,96	0,70	0,62	31,88	41,4	16,21%	54
16.M	2,00								2,00	0,78%	8
1.H	4,75								4,75	1,86%	38
3.H	11,4								11,4	4,46%	20
17.H	12,9								12,9	5,05%	14

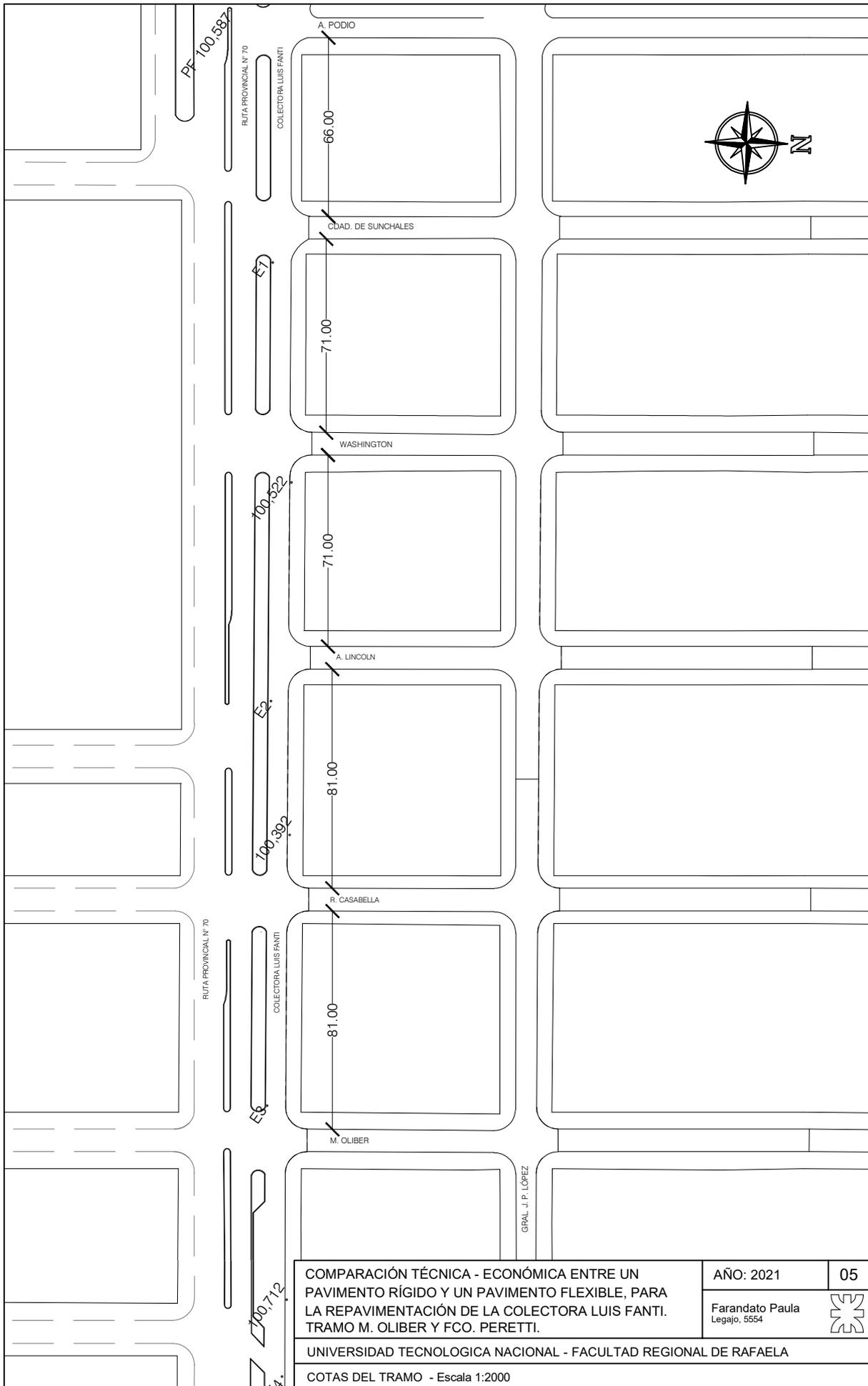
## CURVAS DE VALOR DEDUCIDO PARA MUESTRA U2



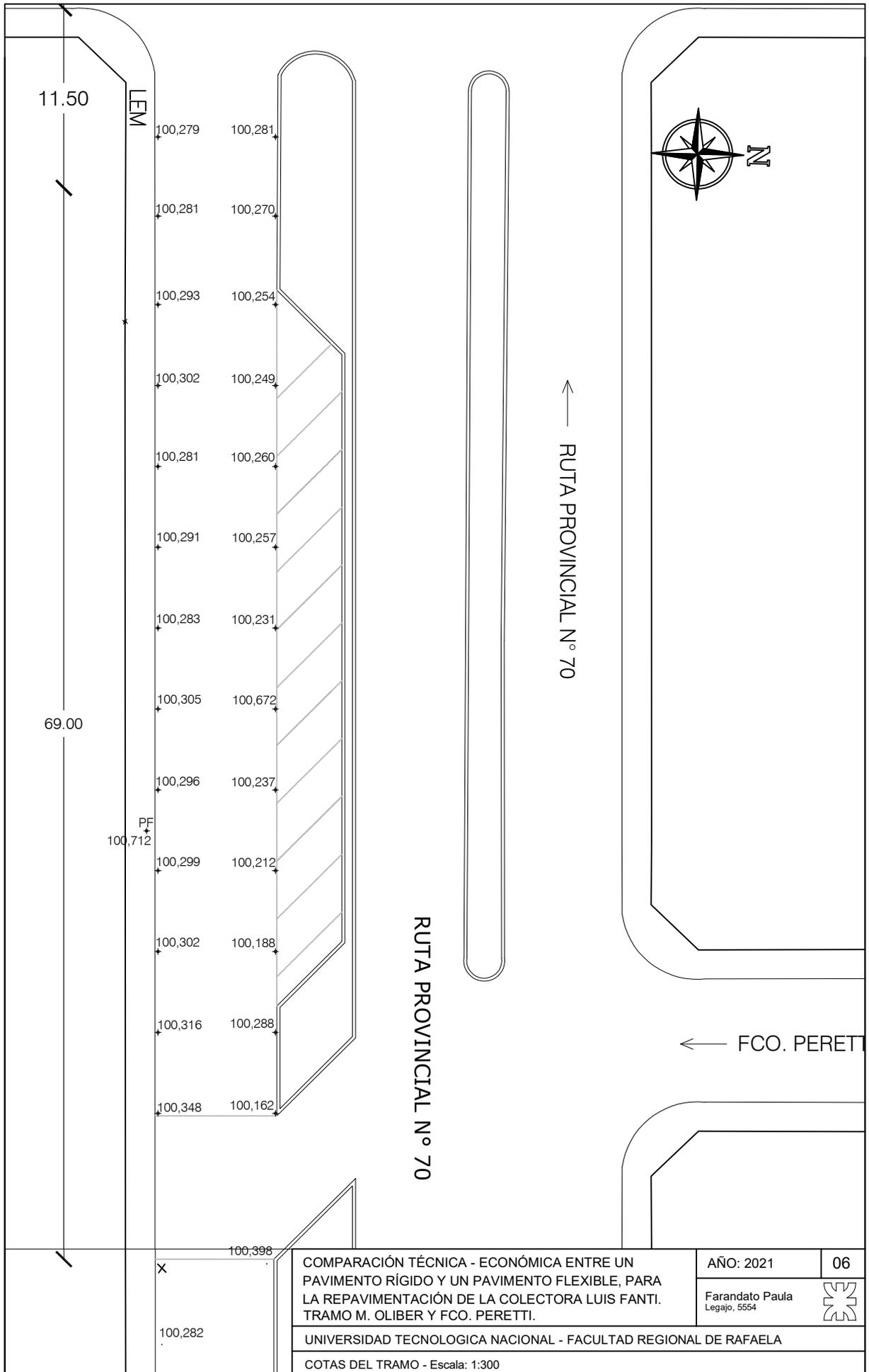
## CURVAS DE VALOR DEDUCIDO PARA MUESTRA U2



**ANEXO II**  
**RELEVAMIENTO PLANIMÉTRICO**



<p>COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.</p> <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA</p> <p>COTAS DEL TRAMO - Escala 1:2000</p>	<p>AÑO: 2021</p>	<p>05</p>
	<p>Farandato Paula Legajo. 5554</p>	
	<p>GRAL. J. P. LÓPEZ</p>	



**ANEXO III**  
**ENSAYOS LABORATORIO**



Área Laboratorios: Acuña esq. Aragón - Tel 03492-432702

## ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Normas IRAM 10.501 - 10.507

Hoja 01/02

Comitente: **PAULA FARANDATO**  
 Obra: **Proyecto Final**  
**Suelo Natural**

Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Cód. Ensayo	SU03 / 21

Muestra	Descripción	Límites de Atterberg ( % )				Pasa Tamiz 75µm	Clasif. SUCS	Índice de Grupo	Clasif. HRB	Proctor T-99		Valor Soporte	
		H. N.	LL	LP	IP					Dmáx [g/cm <sup>3</sup> ]	Hópt. [%]	V.S.	Hincham. [%]
1	Arcilla de mediana plasticidad de color pardo oscuro con presencia de material orgánico	-	47,34	23,62	23,72	98,28%	CL	26	A - 7 - 6	1,486	25,7	3	0,32

Ensayó: R.R.  
 Confeccionó: R.R.

RAFAELA, 14/06/2021



Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Cód.Ensayo SU03/20	

Comitente: **PAULA FARANDATO**  
Obra: **Proyecto Final**  
**Suelo Natural**

**PASAJE POR TAMIZ 0,075 mm (N° 200)**

	<b>Muestra 1</b>
Peso muestra seca [gr]	234,5
Peso seco [gr]	4,0
<b>Pasa Tamiz 0,075 mm</b>	<b>98,29</b>

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

	<b>Muestra 1</b>	
Peso inicial [gr]:	234,5	
Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]	4,0	
<b>Tamiz</b>	<b>Retenido</b>	
	<b>grs.</b>	<b>%</b>
4,76 mm (N° 4)	0,0	0,00
2,0 mm (N° 10)	0,5	0,21
0,42 mm (N° 40)	0,5	0,21
0,150 mm (N° 100)	1,5	0,64
0,075 mm (N° 200)	1,5	0,64
Pasa tamiz 0,075 mm (N° 200)	230,5	98,29
Total	234,5	100,00
Índice de Grupo:	<b>26</b>	
Clasificación según H.R.B (Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)	<b>A - 7 - 6</b>	

**ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR**

Capas	Golpes	Pisón	φ Molde
3	25	2,5 kg.	101,6 mm

**Comitente:** Farandato, Paula

**Obra:** Proyecto Final

**Muestra:** Suelo natural

(seleccionado por la alumna)

Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Código Ensayo	

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	-	4785	3475	1310	940	1,394	1,202
2	-	4975	3475	1500	940	1,596	1,336
3	-	5115	3475	1640	940	1,745	1,425
4	-	5230	3475	1755	940	1,867	1,485
5	-	5195	3475	1720	940	1,830	1,412

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	8	319,5	276,5	7,0	43,0	269,5	15,96
2	9	299,0	251,5	7,5	47,5	244,0	19,47
3	1	379,0	311,0	7,5	68,0	303,5	22,41
4	2	275,5	220,5	7,0	55,0	213,5	25,76
5	40	263,5	205,0	7,5	58,5	197,5	29,62

**Observaciones:**

- 1.- Muestra de suelo tomada por el comitente.
- 2.- Humedad natural de la muestra de suelo: 15,96%

Ensayó:

Serra - Rosetti

Confeccionó:

Rosetti

RAFAELA, 19/04/2021

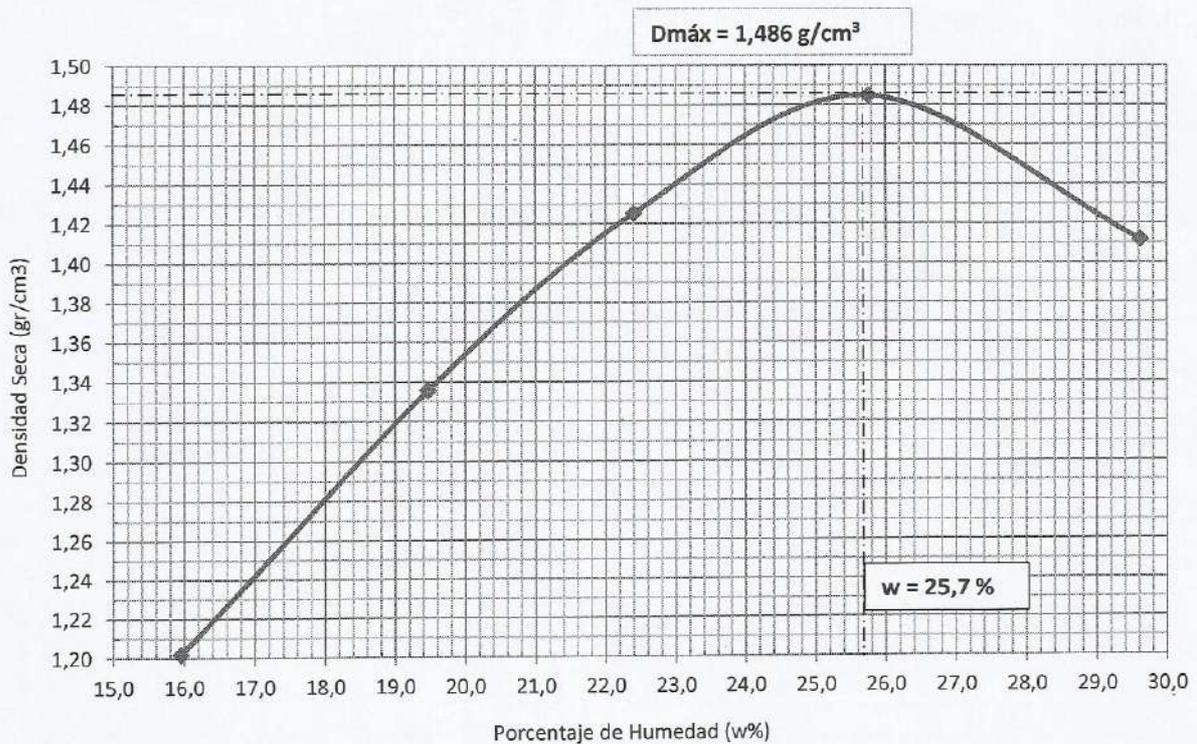
Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio Ingeniería Civil



Comitente: Farandato, Paula

Obra: Proyecto Final

### ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR Suelo natural



DENSIDAD MAXIMA (Ds): 1,486 (gr/cm<sup>3</sup>)

HUMEDAD ÓPTIMA (w%): 25,7 %

Ensayó: Serra - Rosetti

Confeccionó: Rosetti

RAFAELA, 19/04/2021

Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio de Ingeniería Civil



**Ensayo VALOR SOPOTE RELATIVO (C.B.R.)**  
Norma Vialidad Nacional VN E6 - 84

Comitente: **PAULA FARANDATO**  
Obra: Proyecto Final  
Suelo natural

N° de Informe:	
Registro Comitente	
Ingreso Muestras.	
Código ensayo :	

Compactación			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	1		
N° de capas	5		
Peso suelo + molde	10985 g		
Peso molde	7050 g		
Peso suelo compactado	3935 g		
Volumen molde	2088,46 cm <sup>3</sup>		
Densidad húmeda	1,884 g/cm <sup>3</sup>		
Densidad seca	1,491 g/cm <sup>3</sup>		

Hinchamiento			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	1		
1° día	31		
2° día	36		
3° día	36		
4 día	37		
% de hinchamiento	0.317		

Humedad de moldeo			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	1		
PF	4		
PPF	7,0 g		
PF+PSH	263,5 g		
PF+PSS	210,0 g		
% Humedad	26,35 %		

Humedad Final			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	1		
PF	7		
PPF	7,0 g		
PF+PSH	573,0 g		
PF+PSS	453,5 g		
% de Humedad	26,76 %		

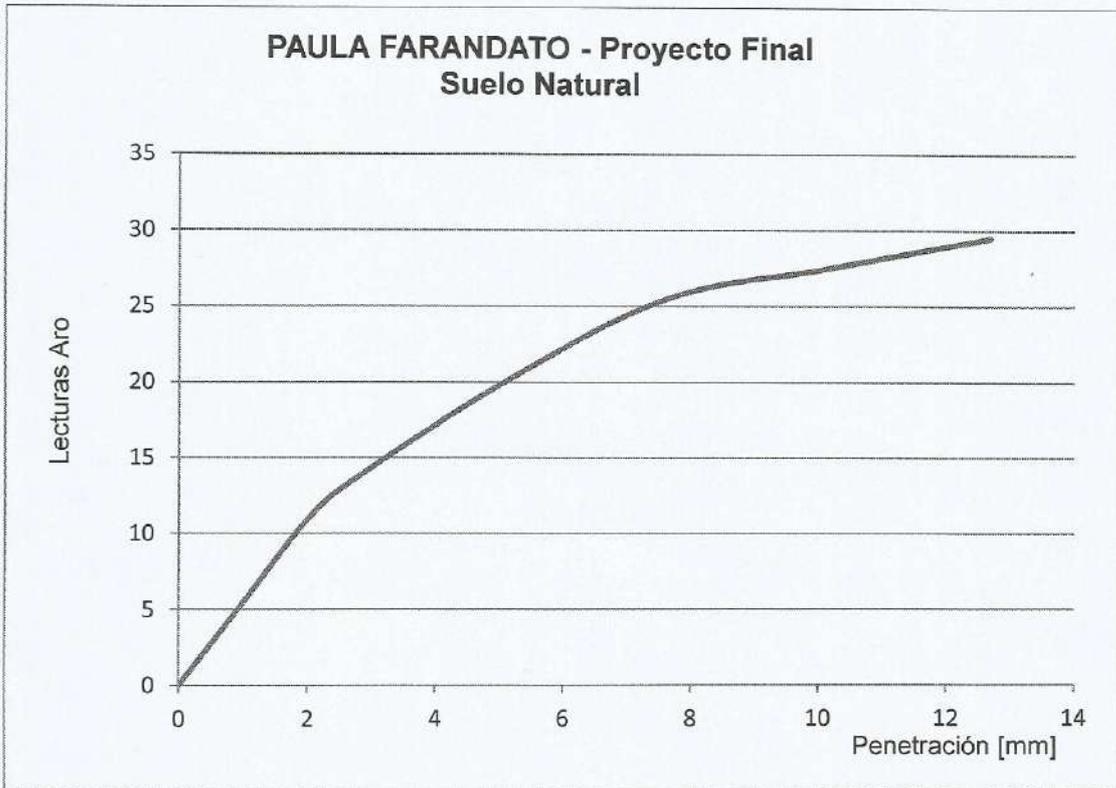
Ensayo Proctor	
3 capas de 25 golpes - pisón 2,5 kg	
H. Optima	Dens. Máx
25,7 %	1,486 g/cm <sup>3</sup>

Penetración		0.64	1.27	1.91	2.54	5.08	7.62	10.16	12.70	V.S.R.%	Cte.aro = 3.40 kg
Factor de cálculo					K:0.0738	K:0.0492					<b>V.S.R. adoptado: 3</b>
Molde N°1 56 golp	Lectura dial	3,5	7	10.5	13	20	25.5	27.5	29.5		L.L. L.P. S.U.C.S
	Lectura corregida				44,2	68,0					47.34 23.62 CL
	Factor x lect.correg.				3,26	3,35				3	Observaciones: Sobrecarga: 4,54 kg
Molde N°4 25golp	Lectura dial										Ensayó: R. Rosetti - A. Serra
	Lectura corregida.										
	Factor x lect.correg.										
Molde N°5 12 golp	Lectura dial										
	Lectura corregida.										
	Factor x lect.correg.										

Rafaela, 14/06/2021

Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio de Ingeniería Civil





La curva no presenta cambio de curvatura por lo tanto no corresponde realizar correcciones al valor de las lecturas.

Rafaela, 14/06/2021

  
Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio de Ingeniería Civil





Área Laboratorios: Acuña esq. Aragón - Tel 03492-432702

**ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS**  
 Normas IRAM 10.501 - 10.507

Hoja 01/02

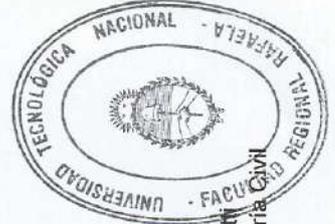
Comitente: **PAULA FARANDATO**  
 Obra: **Proyecto Final**  
**Suelo Natural con 5% de cal**

Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Cód. Ensayo SU03 / 21	

Muestra	Descripción	Límites de Atterberg ( % )				Pasa Tamiz 75µm	Clasif. SUCS	Índice de Grupo	Clasif. HRB	Proctor T-99		Valor Soporte	
		H. N.	LL	LP	IP					Dmáx [g/cm³]	Hópt. [%]	V.S.	Hincham. [%]
1	Arcilla de mediana plasticidad de color pardo oscuro con presencia de material orgánico al que se le incorporó 5% de cal, transformándose en un suelo limoso de baja plasticidad	-	36,77	27,55	9,22	98,23%	ML	11	A - 4	1,455	22,7	24	0,227

Ensayó: R.R.  
 Confeccionó: R.R.

RAFAELA, 22/06/2021



*[Firma]*  
 Ing. Rubén Rosetti  
 Laboratorio de Ingeniería Civil

Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Cód.Ensayo SU03/20	

Comitente: **PAULA FARANDATO**  
 Obra: **Proyecto Final**  
**Suelo Natural con 5% de Cal**

**PASAJE POR TAMIZ 0,075 mm (N° 200)**

	<b>Muestra 1</b>
Peso muestra seca [gr]	226,0
Peso seco [gr]	4,0
<b>Pasa Tamiz 0,075 mm</b>	<b>98,23</b>

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

	<b>Muestra 1</b>	
Peso inicial [gr]:	226,0	
Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]	4,0	
<b>Tamiz</b>	<b>Retenido</b>	
	<b>grs.</b>	<b>%</b>
4,76 mm (N° 4)	0,0	0,00
2,0 mm (N° 10)	0,2	0,09
0,42 mm (N° 40)	0,8	0,35
0,150 mm (N° 100)	1,0	0,44
0,075 mm (N° 200)	2,0	0,88
Pasa tamiz 0,075 mm (N° 200)	222,0	98,23
Total	226,0	100,00
Índice de Grupo:	<b>11</b>	
Clasificación según H.R.B (Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)	<b>A - 4</b>	



Laboratorio de Ingeniería Civil

Área Laboratorios: Acuña esq. Aragón - Tel 03492-432702

<b>ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR</b>
--------------------------------

Capas	Golpes	Pisón	φ Molde
3	25	2,5 kg.	101,6 mm

**Comitente:** Farandato, Paula**Obra:** Proyecto Final**Muestra:** Suelo natural con 5% de cal  
(seleccionado por la alumna)

Informe N°:	
Registro Comitente N°:	
Ingreso Muestras:	
Código Ensayo	

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	-	4900	3475	1425	940	1,516	1,306
2	-	5010	3475	1535	940	1,633	1,373
3	-	5145	3475	1670	940	1,777	1,453
4	-	5160	3475	1685	940	1,793	1,428
5	-	5165	3475	1690	940	1,798	1,388

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	8	234,5	203,0	7,0	31,5	196,0	16,07
2	34	296,0	250,0	7,5	46,0	242,5	18,97
3	7	323,0	265,5	7,0	57,5	258,5	22,24
4	40	322,0	258,0	7,0	64,0	251,0	25,50
5	1	277,0	215,5	7,5	61,5	208,0	29,57

Observaciones:

- 1.- Muestra de suelo tomada por el comitente.
- 2.- Humedad natural de la muestra de suelo: 11,57%

Ensayó:

Serra - Rosetti

Confeccionó:

Rosetti

RAFAELA, 19/05/2021



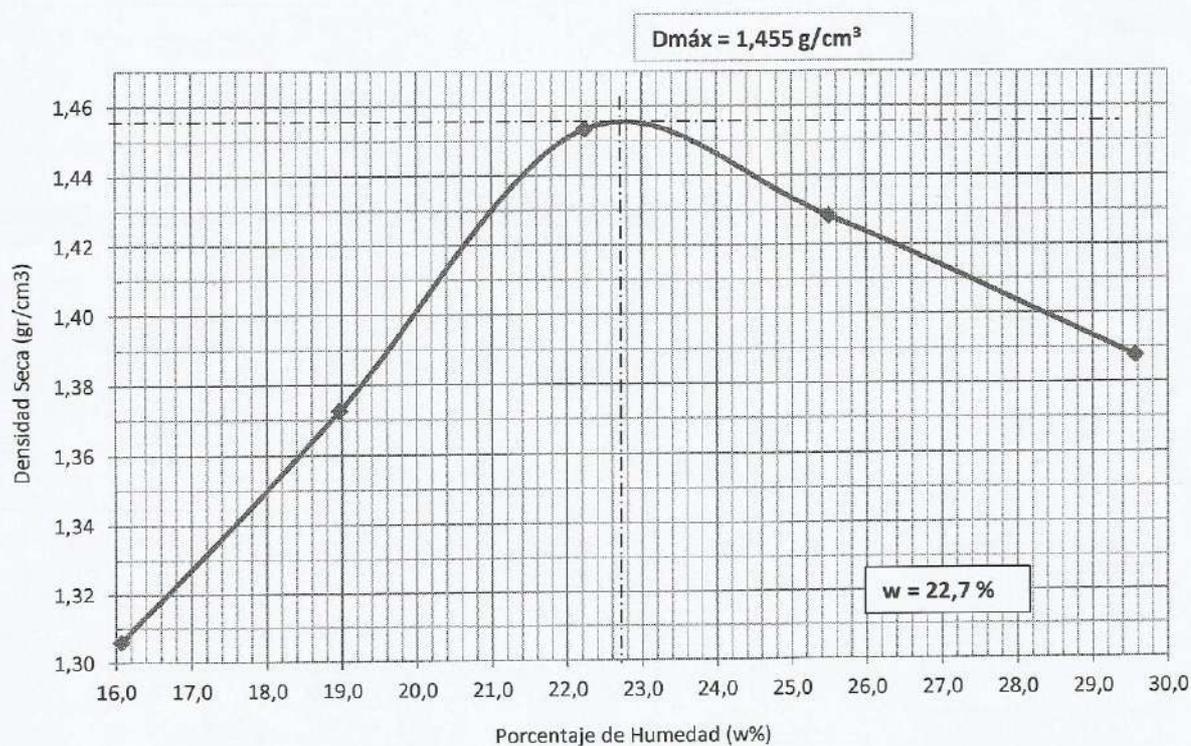
Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio Ingeniería Civil



Comitente: Farandato, Paula

Obra: Proyecto Final

### ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR Suelo natural con 5% de cal



DENSIDAD MAXIMA (Ds): 1,455 (gr/cm3)

HUMEDAD ÓPTIMA (w%): 22,7 %

Ensayó: Serra - Rosetti

Confeccionó: Rosetti

RAFAELA, 19/05/2021

Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio de Ingeniería Civil




**Ensayo VALOR SOPOTE RELATIVO (C.B.R.)**  
Norma Vialidad Nacional VN E6 - 84

Comitente: **PAULA FARANDATO**  
Obra: **Proyecto Final**  
**95 % Suelo natural - 5 % Cal**

N° de Informe:	
Registro Comitente	
Ingreso Muestras.	
Código ensayo :	

Compactación			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	2		
N° de capas	5		
Peso suelo + molde	10915 g		
Peso molde	6835 g		
Peso suelo compactado	4080 g		
Volumen molde	2100,93 cm <sup>3</sup>		
Densidad húmeda	1,942 g/ cm <sup>3</sup>		
Densidad seca	1,573 g / cm <sup>3</sup>		

Hinchamiento			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	2		
1° día	21		
2° día	31		
3° día	58		
4 día	26		
% de hinchamiento	0,227		

Humedad de moldeo			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	2		
PF	7		
PPF	7,0 g		
PF+PSH	220,0 g		
PF+PSS	179,5 g		
% Humedad	23,48 %		

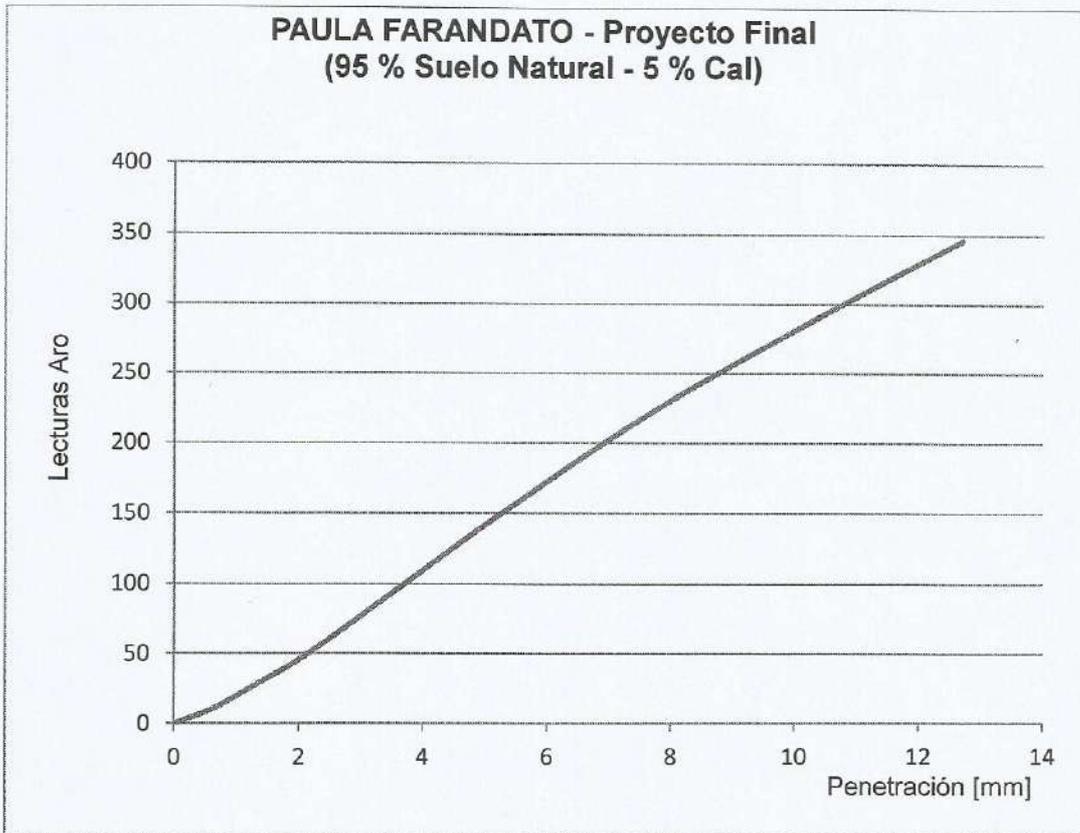
Humedad Final			
N° de golpes	56	25	12
Molde N°	2		
PF	10		
PPF	7,0 g		
PF+PSH	433,5 g		
PF+PSS	350,5 g		
% de Humedad	24,16 %		

Ensayo Proctor	
3 capas de 25 golpes - pisón 2,5 kg	
H. Óptima	Dens. Máx
22,7 %	1,455 g/cm <sup>3</sup>

Penetración		0.64	1.27	1.91	2.54	5.08	7.62	10.16	12.70	V.S.R.%	Cte.aro = 3.40 kg		
Factor de cálculo					K:0.0738	K:0.0492					<b>V.S.R. adoptado: 24</b>		
Molde N°1 56 golp	Lectura dial	11	27	43	62	144	220	285	346		L.L.	L.P.	S.U.C.S
	Lectura corregida				210,8	489,6					33,77	27,55	ML
	Factorxlect.correg.				15,56	24,09				24	Observaciones: Sobrecarga: 4,54 kg		
Molde N°4 25golp	Lectura dial										Ensayó: R. Rosetti - A. Serra		
	Lectura corregida.												
	Factor x lect.correg.												
Molde N° 5 12 golp	Lectura dial												
	Lectura corregida.												
	Factor x lect.correg.												

Rafaela, 22/06/2021

  
 Ing. Rubén Rosetti  
 Laboratorio de Ingeniería Civil  

La curva no presenta cambio de curvatura por lo tanto no corresponde realizar correcciones al valor de las lecturas.

Rafaela, 22/06/2021

Ing. Rubén Rosetti  
Laboratorio de Ingeniería Civil



**ANEXO IV**  
**E.S.A.L FACTOR**

**Table D.10. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.0**

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002	002
6	011	010	010	010	010	010	010	010	010
8	035	033	032	032	032	032	032	032	032
10	087	084	082	081	080	080	080	080	080
12	186	180	176	175	174	174	173	173	173
14	353	346	341	338	337	336	336	336	336
16	.614	609	604	601	599	599	598	598	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 55	1 56	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59	1 59
22	2 32	2 32	2 35	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41	2 42
24	3 37	3 34	3 40	3 47	3 51	3 53	3 54	3 55	3 55
26	4 76	4 69	4 77	4 88	4 97	5.02	5 04	5 06	5 06
28	6 58	6 44	6 52	6 70	6 85	6 94	7 00	7 02	7 04
30	8 92	8 68	8 74	8 98	9 23	9 39	9 48	9 54	9 56
32	11 9	11.5	11 5	11 8	12 2	12 4	12 6	12 7	12 7
34	15 5	15 0	14 9	15 3	15 8	16 2	16 4	16 6	16 7
36	20 1	19 3	19 2	19 5	20 1	20 7	21 1	21 4	21 5
38	25 6	24 5	24 3	24 6	25 4	26 1	26 7	27 1	27 4
40	32 2	30 8	30 4	30 7	31 6	32 6	33 4	34 0	34 4
42	40 1	38 4	37 7	38 0	38 9	40 1	41 3	42 1	42 7
44	49 4	47 3	46 4	46 6	47 6	49 0	50 4	51 6	52 4
46	60 4	57 7	56 6	56 7	57 7	59 3	61 1	62 6	63 7
48	73 2	69 9	68 4	68 4	69 4	71 2	73 3	75 3	76 8
50	88 0	84 1	82 2	82 0	83 0	84 9	87 4	89 8	91 7

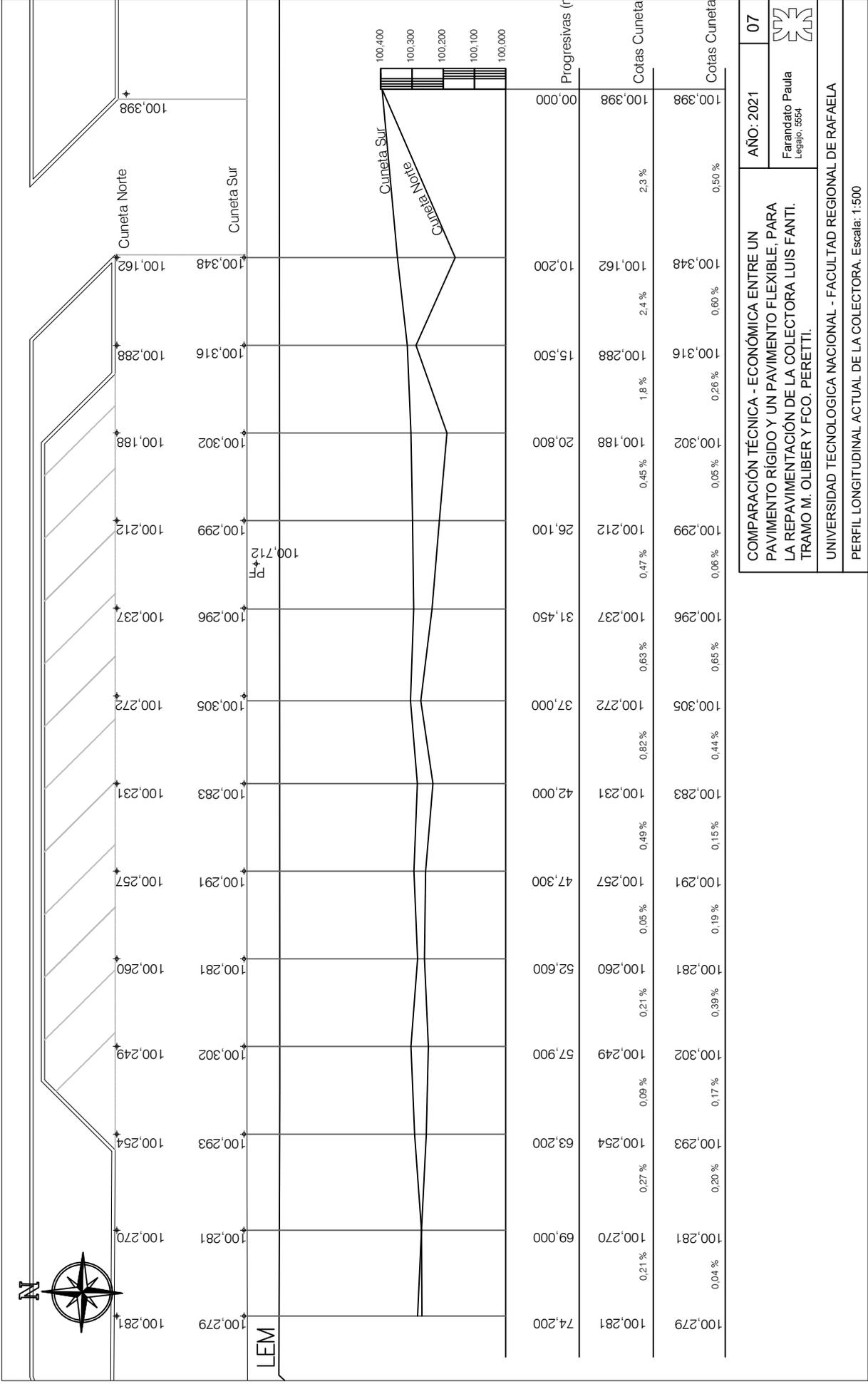
**Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.0**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	003	002	002	002	002
6	009	.012	011	010	009	009
8	030	035	036	033	031	029
10	075	085	090	085	079	076
12	165	177	189	183	174	168
14	325	338	354	350	338	331
16	589	598	613	612	603	596
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 61	1 59	1 56	1 55	1 57	1 59
22	2 49	2 44	2 35	2 31	2 35	2 41
24	3 71	3 62	3 43	3 33	3 40	3 51
26	5.36	5 21	4 88	4 68	4 77	4 96
28	7 54	7 31	6 78	6 42	6 52	6 83
30	10 4	10 0	9 2	8 6	8 7	9 2
32	14 0	13 5	12 4	11 5	11 5	12 1
34	18 5	17 9	16 3	15 0	14 9	15 6
36	24 2	23 3	21 2	19 3	19 0	19 9
38	31 1	29 9	27 1	24 6	24 0	25 1
40	39 6	38 0	34 3	30 9	30 0	31 2
42	49 7	47 7	43 0	38 6	37 2	38 5
44	61 8	59 3	53 4	47 6	45 7	47 1
46	76 1	73 0	65 6	58 3	55 7	57 0
48	92 9	89 1	80 0	70 9	67 3	68 6
50	113	108	97	86	81	82

Table D.20. Traffic Growth Factors\*

Analysis Period Years (n)	Annual Growth Rate, Percent (g)							
	No Growth	2	4	5	6	7	8	10
1	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0
2	2 0	2 02	2 04	2 05	2 06	2 07	2 08	2 10
3	3 0	3 06	3 12	3 15	3 18	3 21	3 25	3 31
4	4 0	4 12	4 25	4 31	4 37	4 44	4 51	4 64
5	5 0	5 20	5 42	5 53	5 64	5 75	5 87	6 11
6	6 0	6 31	6 63	6 80	6 98	7 15	7 34	7 72
7	7 0	7 43	7 90	8 14	8 39	8 65	8 92	9 49
8	8 0	8 58	9 21	9 55	9 90	10 26	10 64	11 44
9	9 0	9 75	10 58	11 03	11 49	11 98	12 49	13 58
10	10 0	10 95	12 01	12 58	13 18	13 82	14 49	15 94
11	11 0	12 17	13 49	14 21	14 97	15 78	16 65	18 53
12	12 0	13 41	15 03	15 92	16 87	17 89	18 98	21 38
13	13 0	14 68	16 63	17 71	18 88	20 14	21 50	24 52
14	14 0	15 97	18 29	19 16	21 01	22 55	24 21	27 97
15	15 0	17 29	20 02	21 58	23 28	25 13	27 15	31 77
16	16 0	18 04	21 82	23 66	25 67	27 89	30 32	35 95
17	17 0	20 01	23 70	25 84	28 21	30 84	33 75	40 55
18	18 0	21 41	25 65	28 13	30 91	34 00	37 45	45 60
19	19 0	22 84	27 67	30 54	33 76	37 38	41 45	51 16
20	20 0	24 30	29 78	33 06	36 79	41 00	45 76	57 28
25	25 0	32 03	41 65	47 73	54 86	63 25	73 11	98 35
30	30 0	40 57	56 08	66 44	79 06	94 46	113 28	164 49
35	35 0	49 99	73 03	90 32	111 43	138 24	172 32	271 02

**ANEXO V**  
**PERFILES LONGITUDINALES**



AÑO: 2021  
 Farandato Paula  
 Legajo: 5654

COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIVER Y FCO. PERETTI.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA  
 PERFIL LONGITUDINAL ACTUAL DE LA COLECTORA. Escala: 1:500

Progresivas (r)	Cotas Cuneta	Cotas Cuneta
74,200	100,281	100,279
69,000	100,270	100,281
63,200	100,254	100,293
57,900	100,249	100,302
52,600	100,260	100,281
47,300	100,257	100,291
42,000	100,231	100,283
37,000	100,272	100,305
31,450	100,237	100,296
26,100	100,212	100,299
20,800	100,188	100,302
15,500	100,288	100,316
10,200	100,162	100,348
00,000	100,398	100,398

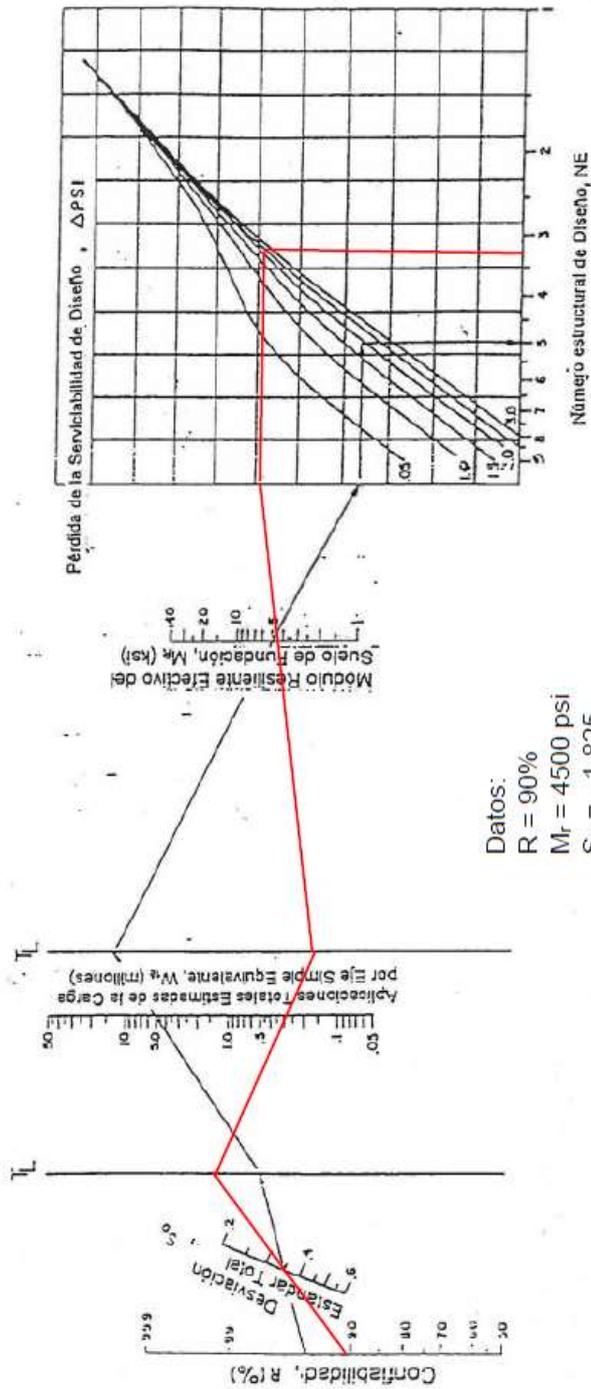


## **ANEXO VI NOMOGRAMAS**

## NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL SN

### SOLUCION DEL NOMOGRAMA

$$\log_{10} W = z_R \cdot S_o + 5.36 \cdot \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log_{10} M_r^h - 0.07$$

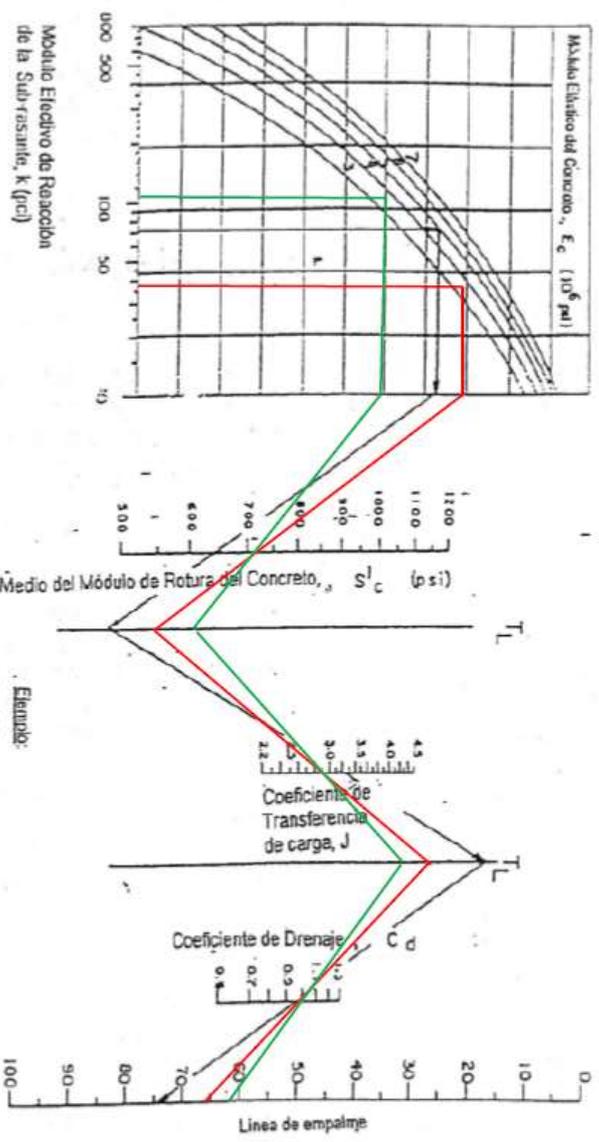


# NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL D - PARTE 1

SOLUCION DEL NOMOGRAMA

$$10^3 W'_{18} = Z_N S_o + 7.35 \times 10^3 J_0 (D+1) - 0.06 + \frac{10^3 \left[ \frac{4.151}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.62 \times 10^7}{(D+1) D \cdot 46}} + (4.22 - 0.120 P_c)^{+1} 10^3 J_0$$

$$\left[ \frac{S'_c + C_d \left[ P^{0.75} - 1.132 \right]}{215.6 J + \left[ P^{0.75} - \frac{18.42}{(E'_{p/A})^{0.25}} \right]} \right]$$



- Subbase suelo natural
- Subbase suelo cal

Elemento:

$k = 72 \text{ pci}$   
 $E_c = 5 \times 10^6 \text{ psi}$   
 $S'_c = 650 \text{ psi}$   
 $J = 3.2$   
 $C_d = 1.0$

$S_o = 0.29$   
 $R = 95\% (Z_N = -1.645)$   
 $\Delta \text{ PSI} = 4.2 - 2.5 = 1.7$   
 $W'_{18} = 81 \times 10^6 (10 \text{ kip CSAU})$   
 Solución:  $D = 10.0$  plgs (a media)

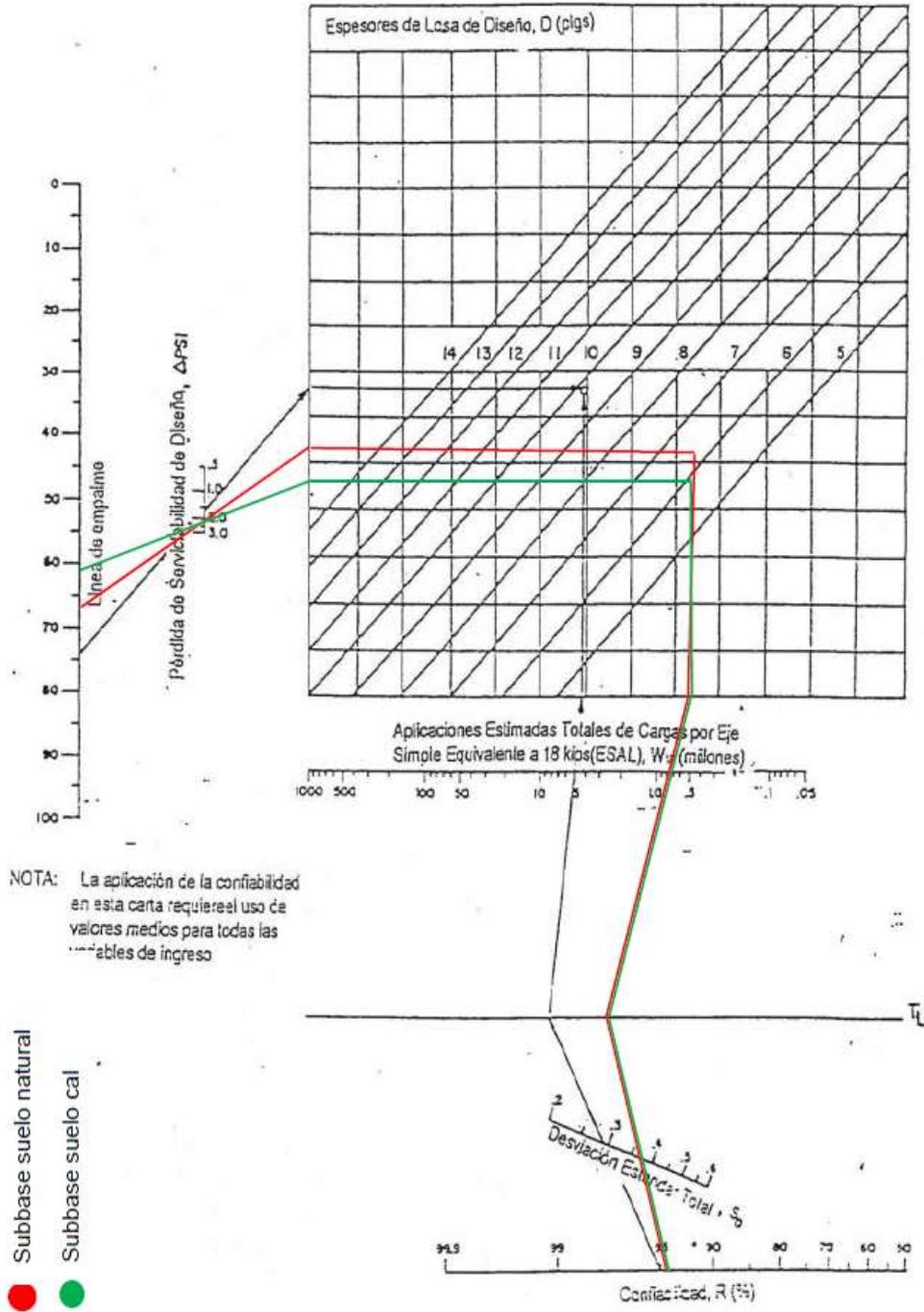
Datos suelo natural:

$E_c = 3,72 \times 10^6 \text{ psi}$   
 $S'_c = 711, 18 \text{ psi}$   
 $J = 2.8$   
 $\text{PSI} = 2$   
 $W_{18} = 0,81 \times 10^6$   
 $C_d = 1$   
 $k = 38,40 \text{ psi}$   
 $D = 6,2 \text{ pulg}$

Datos suelo cal:

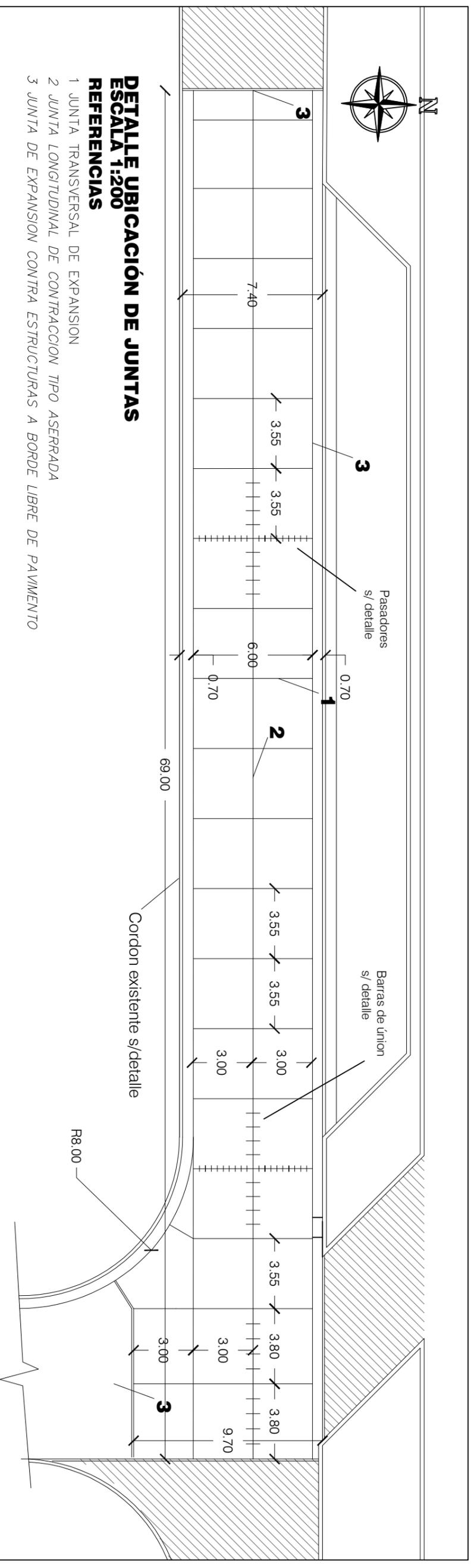
$E_c = 3,72 \times 10^6 \text{ psi}$   
 $S'_c = 711, 18 \text{ psi}$   
 $J = 2,8$   
 $\text{PSI} = 2$   
 $W_{18} = 0,81 \times 10^6$   
 $C_d = 1$   
 $k = 113,8 \text{ psi}$   
 $D = 6 \text{ pulg}$

NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL D – PARTE 2



NOTA: La aplicación de la confiabilidad en esta carta requiere el uso de valores medios para todas las variables de ingreso

**ANEXO VII**  
**DETALLES ESTRUCTURALES**

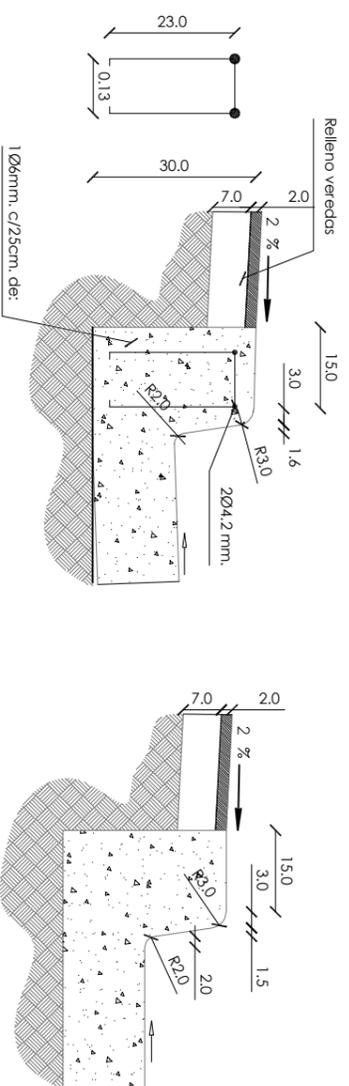


### DETALLE UBICACION DE JUNTAS ESCALA 1:200

#### REFERENCIAS

- 1 JUNTA TRANSVERSAL DE EXPANSION
- 2 JUNTA LONGITUDINAL DE CONTRACCION TIPO ASERRADA
- 3 JUNTA DE EXPANSION CONTRA ESTRUCTURAS A BORDE LIBRE DE PAVIMENTO

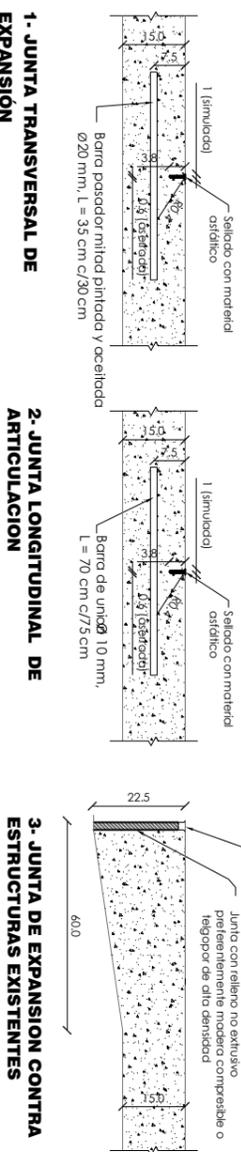
### DETALLE DE CORDONES Escala 1:10



### DETALLE CORDÓN DE HORMIGÓN (Armado)

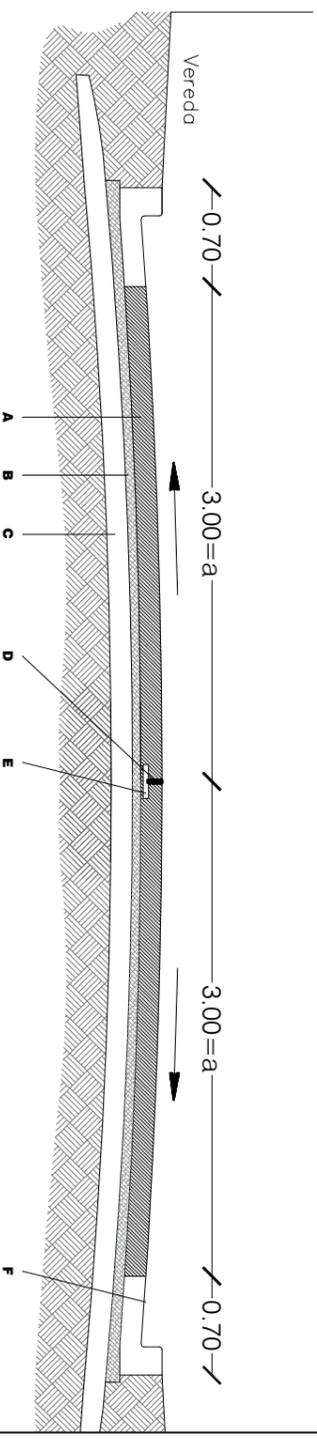
### DETALLE CORDON DE HORMIGÓN

### DETALLE DE JUNTAS Escala 1:10



### PERFIL TRANSVERSAL ESCALA 1:75

L.E.



#### REFERENCIAS

- A) LOSA DE HORMIGÓN CON CORDONES INTEGRALES -- e: 0.15 m
- B) MANTO DE ARENA -- e=0.03m (máximo)
- C) SUBRASANTE HOMOGENEIZADA Y COMPACTADA -- e = 0.15 m
- D) JUNTA LONGITUDINAL ASERRADA
- E) BARRAS DE UNION
- F) CORDON CUNETTA EXISTENTE

COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI, TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.

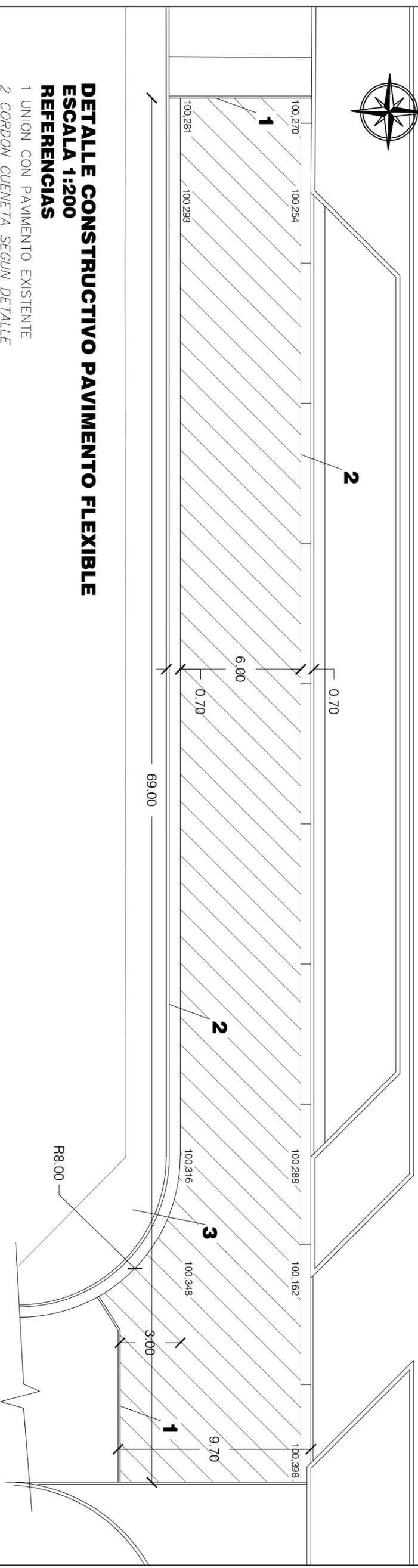
AÑO: 2021

09

Farandato Paula  
Legajo. 5554



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA  
DETALLE ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO RÍGIDO.



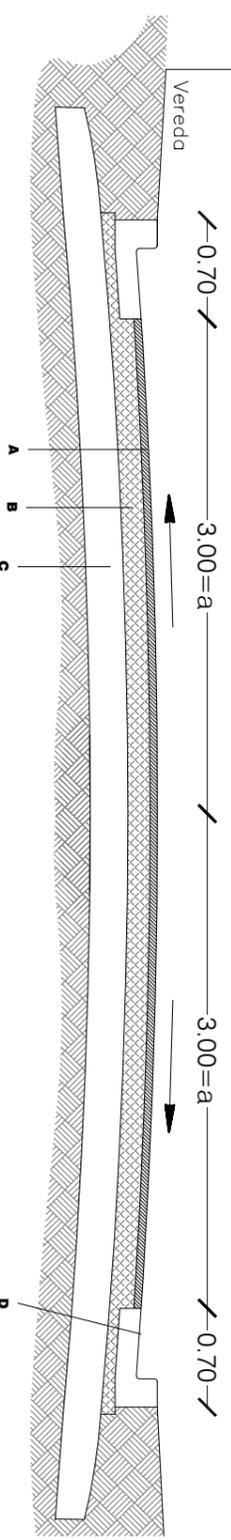
**DETALLE CONSTRUCTIVO PAVIMENTO FLEXIBLE  
ESCALA 1:200**

**REFERENCIAS**

- 1 UNION CON PAVIMENTO EXISTENTE
  - 2 CORDON CUENETA SEGUN DETALLE
  - 3 AMPLIACION VEREDA.  $r = 8 \text{ m}$
- ▨ AREA A REPAVIMENTAR CON CONCRETO ASFALTICO

**PERFIL TRANSVERSAL  
ESCALA 1:75**

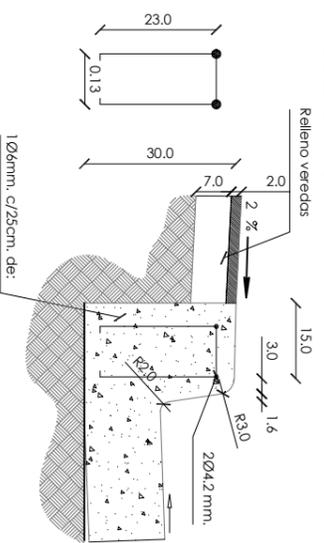
L.E.



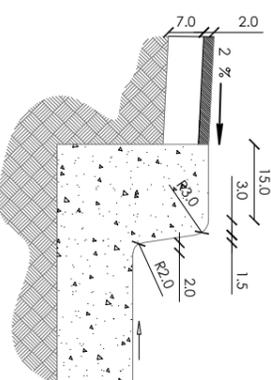
**REFERENCIAS**

- A) CARPETA DE RODAMIENTO DE CONCRETO ASFALTICO -  $e: 12 \text{ cm}$
- B) BASE COMPACTADA SUELO CAL -  $e = 0,10 \text{ m}$
- C) SUBBASE HOMOGENEIZADA Y COMPACTADA -  $e = 0,35 \text{ m}$
- D) CORDON CUENETA SEGUN DETALLE

**DETALLE DE CORDONES  
Escala 1:10**



**DETALLE CORDÓN DE HORMIGÓN (Armado)**



**DETALLE CORDON DE HORMIGÓN**

COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI, TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.

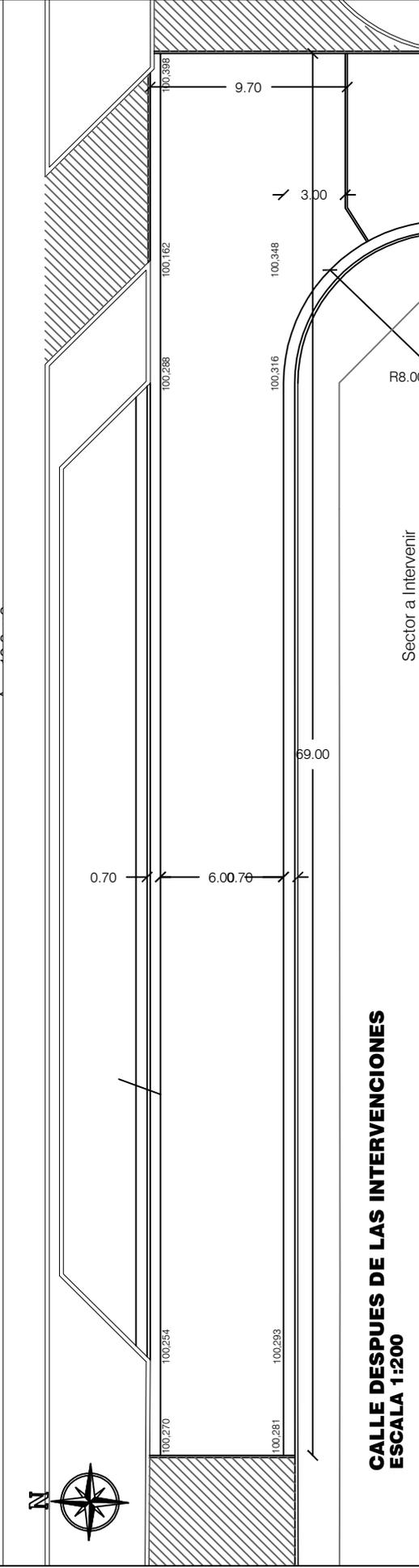
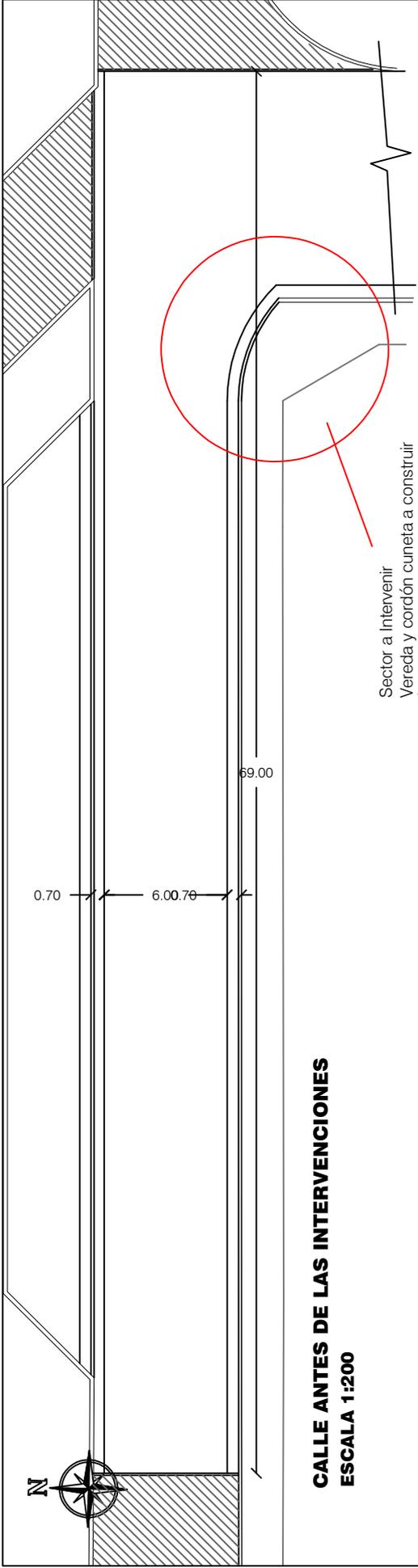
AÑO: 2021

10

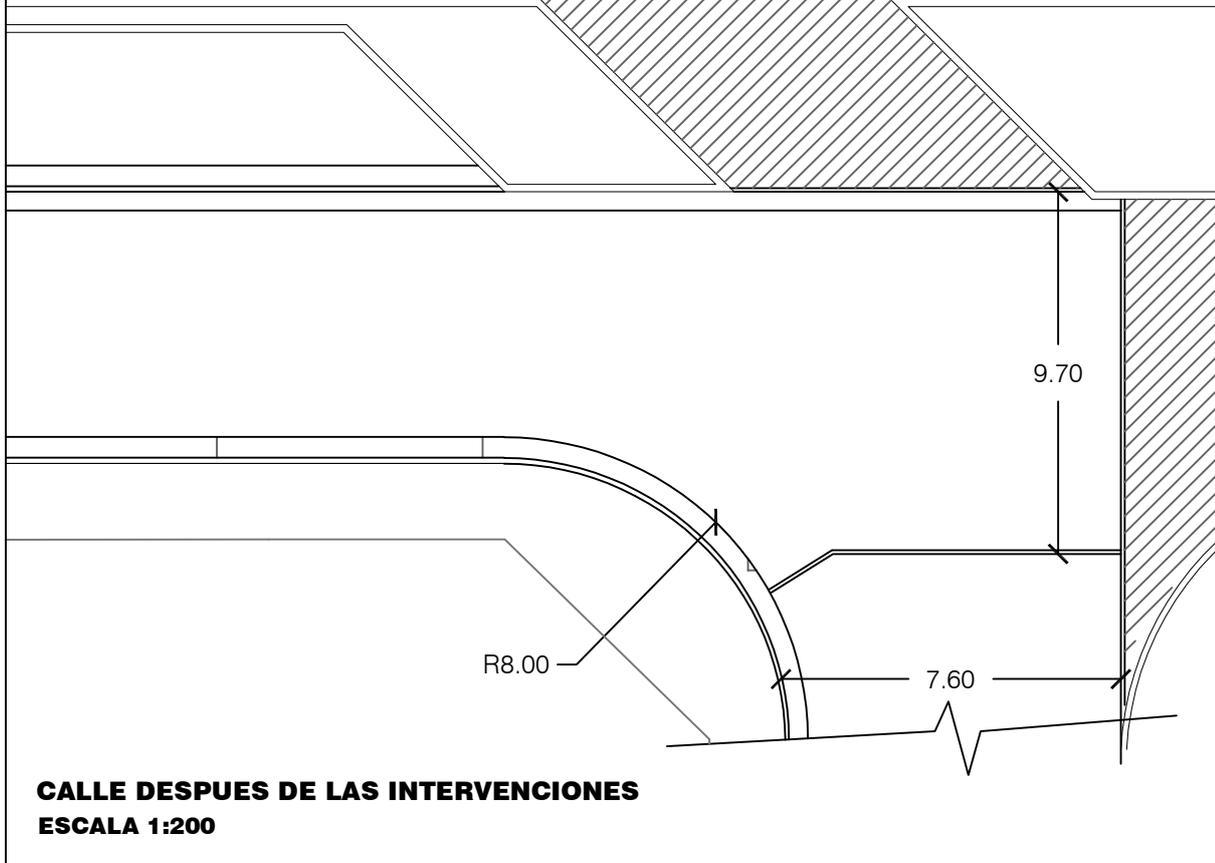
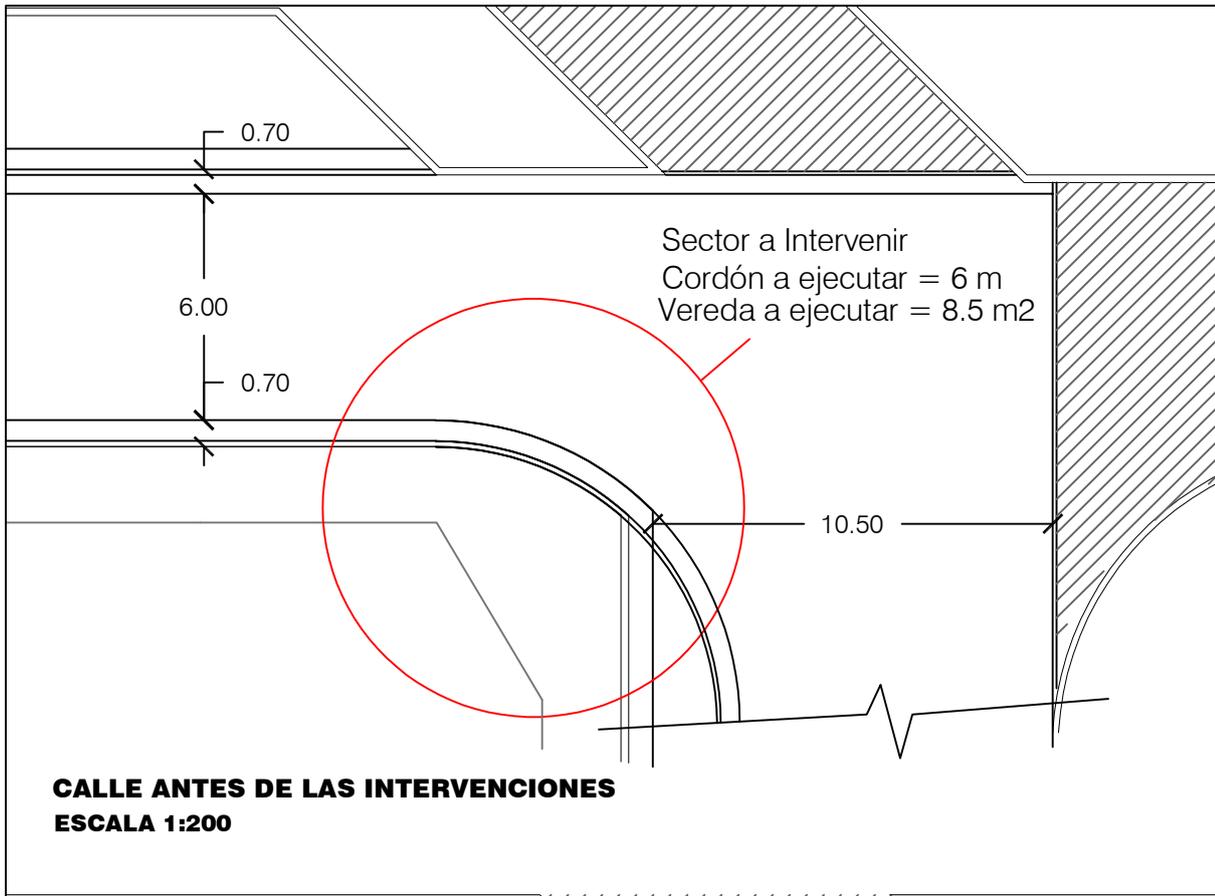
Farandato Paula  
Legajo. 5554



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA  
DETALLE ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO FLEXIBLE



Sector a Intervenir	AÑO: 2021
COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIVER Y FCO. PERETTI.	
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA ESQUINA DE LA COLECTORA A INTERVENIR	
Farandato Paula Legajo: 5654	11



COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE, PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA COLECTORA LUIS FANTI. TRAMO M. OLIBER Y FCO. PERETTI.	AÑO: 2021	12
	Farandato Paula Legajo. 5554	
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DE RAFAELA		
ANTES Y DESPUES DE INTERVENCIÓN EN ESQUINA		