



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**DESEMPEÑO DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL POR  
REFLECTIVIDAD EN NICARAGUA**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por**

Br. Julio Cesar Luquez García

**Tutor**

Ing. Jose Bustamante Arteaga

Managua, Noviembre 2016

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi ayuda, protector, proveedor y salvador.

A mis padres,

Julio Cesar Luquez Zamora

Marta García Somarriba

Por su ayuda y arduo esfuerzo que han hecho por mí para que salgan adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Como estuve trabajando en esta monografía por un largo tiempo, tengo que darles las gracias a muchas personas que me han ayudado.

Eternamente estaré agradecido con Dios, por lo fiel que ha sido conmigo y que no me desamparó en cada obstáculo que enfrente en el transcurso de este estudio.

Agradezco al Ing. Jose Bustamante Arteaga por todas las consultas que me dio. También, quiero agradecer a la Ing. Lubina Cantarero Zeas por haberme otorgado esta investigación para que la llevase a cabo.

Siempre estaré en deuda con el Ing. Manuel Zamora, el Ing. German Cruz, la Arq. Francis Alvir y el Ing. Cristhian Martínez; por sus consejos y el valioso tiempo que me brindaron.

Y por último, pero no menos importante, le doy las gracias a mi papa Julio Cesar Luquez Zamora y a mi mama, Marta García Somarriba, por su amor y apoyo incondicional.

## Índice

<b>I – Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación	5
<b>II – Objetivos</b>	<b>6</b>
2.1 Objetivo General	6
2.2 Objetivos Específicos	6
<b>III - Marco Teórico</b>	<b>7</b>
3.1 Señalización horizontal	7
3.1.1 Líneas de borde	7
3.1.2 Línea central	8
3.2 La reflectividad	9
3.2.1 Reflexión difusa	9
3.2.2 Reflexión en ángulo opuesto o especular	10
3.2.3 Reflexión o Retroreflectividad	10
3.2.4 La retroreflectividad en la señalización horizontal	11
3.3 Pintura para la demarcación vial	14
3.3.1 Pintura de tráfico con base de 100% acrílico (base de agua)	15
3.3.2 Pintura acrílica (base solvente)	15
3.3.3 Pintura Termoplástica en caliente	16
<b>IV - Descripción de las secciones a investigar</b>	<b>18</b>
4.1 Tramos de estudio	18
4.1.1 Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km)	18
4.1.2 Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km – 62+500Km)	22
4.1.3 Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000km – 32+900km)	26
4.1.4 La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000km – 124+900km)	30
4.2 Tramos de referencia	34
4.2.1 Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km – 32+500Km)	34
4.2.2 Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km – 61+000Km)	40
4.2.3 Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)	43
4.3 Resumen de la caracterización de los tramos de estudio y de referencia.	47
<b>V – Metodología de trabajo</b>	<b>48</b>
5.1 Trabajo de campo	48
5.1.1 Toma de las lecturas del coeficiente de retroreflectividad en la carretera	48

5.1.2 Especificaciones técnicas del equipo a utilizar _____	52
5.2 Selección de la muestra _____	53
5.2.1 Media aritmética _____	53
5.3 Pronóstico mediante el análisis de tendencia por mínimos cuadrados _____	54
5.3.1 Intervalo de confianza _____	56
5.3.2 Coeficiente de correlación _____	57
VI – Análisis y comparación de las muestras obtenidas en los tramos de estudio y referencia _____	58
6.1 Tramo de estudio: Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km) y Tramo de referencia: Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km – 32+500Km) _____	58
6.2 Tramo de estudio 1: Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km – 62+500Km), Tramo de estudio 2: La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000km – 124+900km) y Tramo de referencia: Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km – 61+000Km) _____	62
6.3 Tramo de estudio: Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000km – 32+900km) y Tramo de referencia: Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km) _____	66
VII – Análisis de las proyecciones calculadas _____	67
7.1 Señalización horizontal de termoplástico en concreto hidráulico _____	68
7.2 Señalización horizontal de pintura acrílica (base solvente) en concreto asfáltico _____	69
7.3 Señalización horizontal de pintura acrílica (base solvente) en adoquín _____	71
VIII – Conclusiones _____	73
IX – Recomendaciones _____	75
X – Bibliografía _____	76

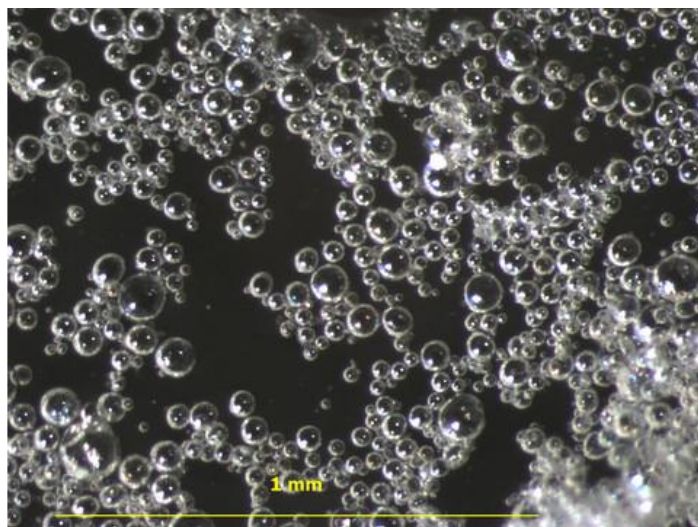
## I – Introducción

La señalización horizontal son marcas de tráfico las cuales están constituidas por las líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas; así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

La demarcación vial es visible durante la noche, gracias a la retroreflectividad que producen los retrorreflectores incrustados sobre la pintura de la señalización. La retroreflectividad o retroreflexión, es un fenómeno óptico que ocurre cuando los rayos de luz provenientes de una fuente, son emitidos en dirección a un objeto en particular y estos rayos retornan en la misma dirección de donde provienen. Los retrorreflectores usados en la demarcación horizontal son las microesferas de vidrio. Las microesferas de vidrio son el resultado de un proceso de reciclaje en el que se muelen trozos planos de vidrio roto (vidrio descartado por los fabricantes de ventanas) y en altos hornos se transforman en reflectores de forma esférica, convirtiéndose en un producto para la seguridad vial.

Imagen N° 1

Microesferas de vidrio



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

Por medio de este trabajo que lleva por título “**Desempeño de la señalización vial horizontal por reflectividad en Nicaragua**” se conocerá el comportamiento de la retroreflectividad en la demarcación vial con respecto al tiempo. Para ello se eligieron 4 vías que fueron recién pintadas, las que se designaron como tramos de estudio y 3 que ya tenían tiempo de haber sido trazadas, a las que se conocen como tramos de referencia.

En ambos tipos de secciones se tomaron lecturas de la retroreflectividad, específicamente las líneas de borde y la línea central, mediante el uso del retroreflectómetro horizontal. Las lecturas en los tramos de estudio se realizaron durante 4 meses consecutivos y en los de referencia se hicieron dos lecturas con un lapso de tiempo de 3 meses a más.

Con la información obtenida en los tramos de estudio, se procedió a realizar un análisis de tendencia por regresión lineal. Al final, después de haber realizado el análisis de regresión, se dará a conocer la vida útil estimada de la retroreflectividad en la demarcación vial y esta se comparará con la durabilidad de la retroreflectividad obtenida en los tramos de referencia.

## 1.1 Antecedentes

En Estados Unidos, el primer uso documentado de una línea central pintada fue en 1911, en la carretera Trenton's River en el condado Wayne, Michigan. La idea de usar esa demarcación fue concebida por Edward N. Hines, el cual era presidente del consejo de carreteras del condado Wayne, Michigan; después de haber visto a un camión que transportaba leche y al tener una fuga iba dejando un rastro blanco sobre el pavimento.

En 1917, la idea de trazar un eje central en autopistas rurales fue puesta en acción en tres estados diferentes (Michigan, Ohio y California) al parecer independientemente el uno del otro. En algún momento de ese año, una línea central blanca fue pintada en el sector conocido como Dead Man's Curve, en lo que es la ruta 492 en el condado Marquette, Michigan, bajo la dirección de Kenneth Ingalls Sawyer quien sirvió como ingeniero superintendente de la comisión de carreteras del condado Marquette.

### Imagen N° 2

Esta imagen muestra la línea central pintada a mano en el tramo Dead Man's Curve a lo largo de la ruta 492, en el condado Marquette, Michigan. La fotografía fue tomada en 1917.



Fuente: en.wikipedia.org



Las primeras láminas retrorreflectantes fueron introducidas por primera vez en 1930. Sin embargo, no fue hasta mediados de los años cincuenta, que estuvieron disponibles láminas reflectivas con lentes adjuntas a ellas (microesferas de vidrio) y desde ese momento las señales retrorreflectivas fueron mundialmente conocidas. Poco después, las lentes que estaban adjuntas a las láminas, fueron añadidas a las pinturas de tráfico, con la intención de dar la propiedad de retroreflectividad a la señalización vial horizontal.

Hasta la fecha, en diversos países se han llevado a cabo estudios para analizar la influencia de diferentes condiciones que afectan la demarcación vial; sin embargo, los resultados reflejan una alta variabilidad, sobre todo en cuanto a niveles de retroreflexión y su relación con ciertos factores.

Actualmente, en este recinto universitario (UNI-RUPAP) y en las instituciones como el MTI y FOMAV, no hay ninguna documentación que dé a conocer el momento adecuado para poder reemplazar la señalización horizontal, en los distintos tipos de superficies de rodamiento. Por lo que este trabajo monográfico es el primero de su tipo en Nicaragua.

## **1.2 Justificación**

Este estudio tiene por objetivo principal, investigar la durabilidad de la retroreflectividad en las pinturas de tráfico aplicada en los tres tipos de superficie de rodamiento: concreto hidráulico, concreto asfáltico y adoquín. Al conocer la vida útil de la retroreflectividad en las líneas de borde y la línea central, se sabrá el momento adecuado para poder repintar la demarcación vial, y de esa forma hacer uso efectivo de los recursos económicos del estado. Ya que, si se repinta muy pronto, los costos de mantenimiento se incrementan y si se reemplaza demasiado tarde, la seguridad y la comodidad al conducir se ven comprometidos. Por lo que este documento, también será de vital ayuda para el FOMAV (fondo de mantenimiento vial), ya que servirá como un parámetro que indique el momento idóneo para reemplazar la señalización horizontal.

Tener una excelente demarcación en las carreteras del país, brindará mayor seguridad a los conductores que circulan en la noche o bajo climas adversos, por lo que ellos serán los principales beneficiados con esta investigación. Por lo tanto, este es un aporte importante para disminuir la tasa de accidentes de tránsito que actualmente tiene nuestro país, ya que una vía con una pintura de tráfico deficiente hace que sean más propensas dichas fatalidades.

## **II – Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

- Conocer la durabilidad que tiene en Nicaragua, la pintura retroreflectiva en los distintos tipos de superficie de rodamiento (concreto, asfalto y adoquín) mediante investigaciones de campo; con la finalidad de saber el tiempo adecuado para reemplazar la pintura.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un documento que presente las lecturas de retroreflectividad obtenidas en los distintos tramos de carretera a investigar.
- Realizar un análisis de tendencia por serie de tiempo, con la información adquirida en los estudios de campo.
- Hacer uso efectivo del retroreflectómetro manual portátil EASYLUX.
- Conocer el estado actual de la señalización horizontal, tanto en las vías que fueron recién pintadas, como en las secciones que ya tienen un tiempo considerable de haber sido demarcadas.

### **III - Marco Teórico**

#### **3.1 Señalización horizontal**

De todas las demarcaciones existentes, en este estudio se evaluó el desempeño de la retroreflectividad en las líneas de borde y en la línea central.

##### **3.1.1 Líneas de borde**

Las líneas del borde del pavimento son blancas y continuas, en un rango de 0.10 metros (vías con velocidad máxima menor o igual a 60km/h) a 0.15 metros (vías con velocidad máxima mayor a 60km/h) de ancho. Deben usarse solamente como un suplemento y no para sustituir la línea central o las de carril. Las líneas del borde del pavimento tampoco son un sustituto adecuado de los delineadores.

Los propósitos de marcar líneas al borde del pavimento son los siguientes:

1. Evitar el paso de vehículos pesados por los hombros (espaldones), que generalmente tiene una capacidad estructural menor que la del pavimento adyacente.
2. Suministrar una guía continua al automovilista, haciendo más cómoda su labor, principalmente durante la noche, en tiempo lluvioso o nublado.
3. Disminuir accidentes de tránsito.
4. Reducir el ancho de un carril que tenga 4.30m o más de ancho.

### 3.1.2 Línea central

Las líneas de centro se usan para designar el centro de la superficie de rodaje de una carretera con tránsito en ambos sentidos. La línea amarilla de trazo discontinuo se utiliza como línea de centro en carreteras de dos carriles en sentido contrario donde es permitido adelantar.

La línea doble constituida por una línea amarilla de trazo continuo y una de trazo discontinuo demarca el borde de un flujo de circulación donde se permite circular en ambos lados de la línea en sentido opuesto, y donde adelantar es permitido para el tránsito adyacente a la línea de trazo discontinuo y es prohibido para el tránsito adyacente a la línea de trazo continuo.

Las líneas de centro son convenientes en todas las carreteras pavimentadas, y como mínimo debe ejecutarse en:

1. Carreteras con flujo en ambos sentidos con un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) mayor de 1,000 vehículos por día.
2. Carreteras con tránsito en ambos sentidos con un ancho inferior a 6 m y un volumen promedio diario (TPDA) mayor de 500 vehículos por día.
3. Carreteras de dos carriles con un ancho inferior a 5.5m, pero no menor de 5 m y un volumen TPDA mayor de 300 vehículos por día. En pavimentos con un ancho menor de 5 m no se emplean las líneas de centro. En los puentes angostos o de una vía no se emplean, en estos casos la línea de centro se deja de pintar 45 m antes de esas estructuras.
4. Carreteras no divididas de 4, 6 y 8 carriles.
5. Deben emplearse en todos aquellos sitios donde las estadísticas de accidentes indican que son necesarias y en caminos de superficie áspera donde la visibilidad de los conductores se reduce frecuentemente, como por ejemplo, en regiones donde abunda la neblina.

## 3.2 La reflectividad

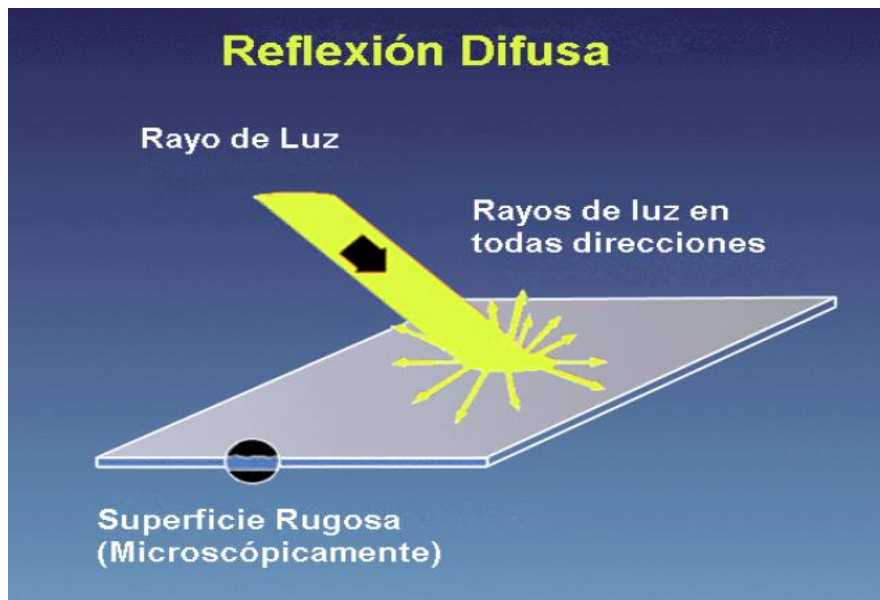
La principal característica de la reflectividad es que no crea su propia luz, toma luz prestada de otra fuente. Las ondas de luz prestadas tocan un objeto y rebotan de éste. La reflectividad del objeto, que es cuanto brilla éste, depende de la intensidad de la luz que lo toca y de los materiales que está hecho. La reflectividad se clasifica en tres tipos, los cuales son:

### 3.2.1 Reflexión difusa

Es el tipo más común de reflectividad y ocurre cuando la luz toca superficies ásperas, tales como follaje, ropa, vehículos etc. Estas superficies ocasionan rayos de luz que se dispersan en todas las direcciones. Solo una pequeña cantidad de luz es reflejada de regreso hacia la fuente. Las superficies difusas ofrecen a los conductores baja visibilidad de noche.

Imagen N° 3

Representación de la reflexión difusa



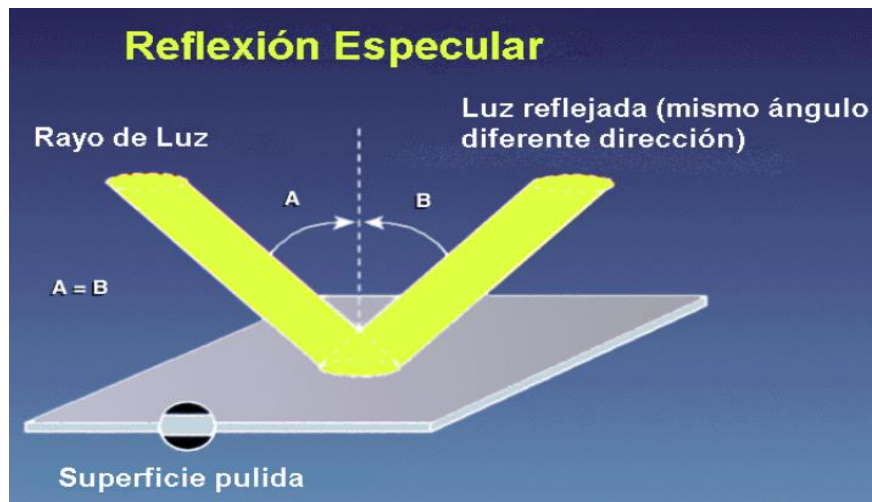
Fuente: Teoría de la retroreflectividad. Ing. Mpp Daniel Beata García

### 3.2.2 Reflexión en ángulo opuesto o especular

Esta ocurre cuando la luz toca superficies suaves o brillantes. La luz se refleja en la superficie en un ángulo igual pero opuesto a la fuente.

Imagen N° 4

Representación de la reflexión especular



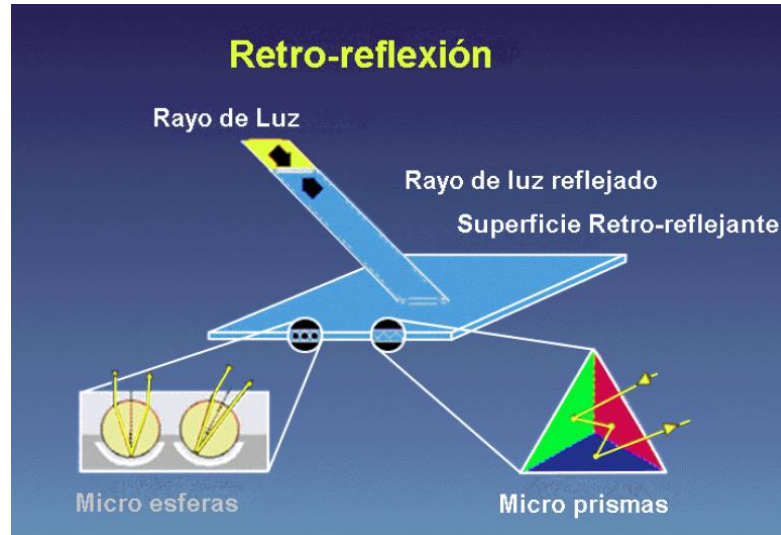
Fuente: Teoría de la retroreflectividad. Ing. Mpp Daniel Beata García

### 3.2.3 Reflexión o Retroreflectividad

Ocurre cuando las superficies regresan una porción de la luz dirigida a su fuente. Esta es la razón por la que los materiales retroreflejantes se ven más brillantes para los observadores ubicados cerca de la fuente de luz.

Imagen N° 5

Representación de la retroreflectividad



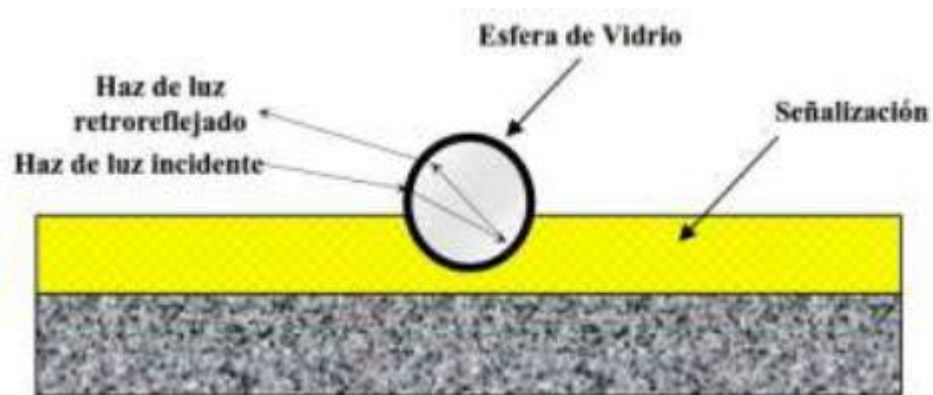
Fuente: Teoría de la retroreflectividad. Ing. Mpp Daniel Beata García

### 3.2.4 La retroreflectividad en la señalización horizontal

La señalización retroreflectiva en las demarcaciones viales se logra con la adición de microesferas de vidrio que, actuando como pequeños lentes, recolectan y concentran los rayos emitidos por los faros de un vehículo, devolviéndolos a los ojos del conductor del mismo vehículo.

Imagen N° 6

Retroreflectividad en la microesfera



Fuente: www.google.com



Para la medida de la retroreflectividad se emplea el coeficiente de luminancia retrorreflejada  $R_L$ , que representa el brillo de una marca vial tal como es percibida por los conductores de vehículos bajo la iluminación de sus propios faros.

La  $R_L$  de una señalización horizontal se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$R_L = \frac{L}{E}$$

donde,

- $L$  = es la intensidad luminosa de una superficie en iluminación, desde una única fuente de luz. Su unidad de medida es en candelas por metro cuadrado.
- $E$  = es el nivel de iluminación en una superficie creada por la fuente de luz. Su unidad de medida esta expresada en lux.

Debido al bajo nivel de retroreflectividad en la demarcación horizontal, se trabaja en  $\text{mcd/lux/mts}^2$  (milicandelas lux por metro cuadrado).

Para caracterizar el rendimiento global de la demarcación vial, sin importar la forma del vehículo, los retroreflectómetros horizontales trabajan usando la geometría de los 30 metros, basados en la norma ASTM E 808. Esta geometría simula para un automovilista una distancia de observación de 30 metros, un ángulo de observación  $1.05^\circ$  y un ángulo de incidencia de  $88.76^\circ$ . También existen otros tipos de dispositivos que trabajan con una geometría de 15 metros. Esta consiste en una distancia de observación de 15 metros, un ángulo de observación de  $1.50^\circ$  y un ángulo de incidencia de  $86.50^\circ$ . Para ambos parámetros, la altura de visión del conductor es de 1.20 metros y los faros del carro están a 0.65 metros.

Para una mejor comprensión, es necesario conocer el significado de estos siguientes elementos anteriormente mencionados:

Ángulo de entrada o incidencia ( $\beta$ ): Es el ángulo entre el eje normal al material retroreflectivo y la dirección de iluminación.

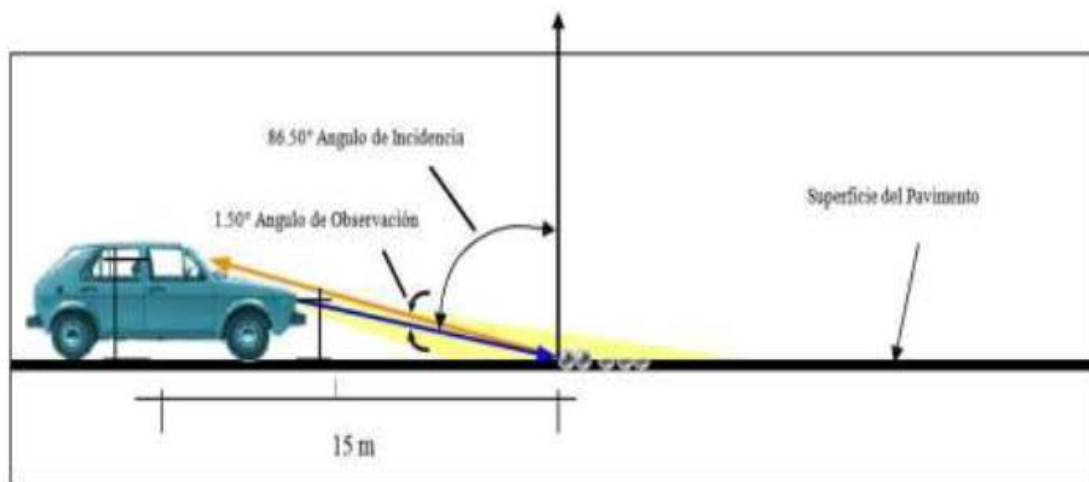
Ángulo de observación ( $\alpha$ ): Es el ángulo entre el rayo de luz provocado por la fuente luminosa y el rayo de luz retrorreflejada por el material retroreflectivo que regresa a los ojos del conductor.

Altura de faroles: Es la distancia entre la superficie del pavimento y los faroles del vehículo.

Altura de visión del conductor: Es la distancia entre la superficie del pavimento y los ojos del conductor.

Imagen N° 7

Esta gráfica muestra los términos anteriormente descritos pero aplicados a la geometría de 15 metros.



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

Según las especificaciones técnicas especiales dadas por el FOMAV en noviembre del 2015, la retroreflectividad en la demarcación vial se debe medir con equipos cuya geometría es de 15 metros y los valores de retroreflectividad inicial exigidos en la señalización horizontal son los siguientes: 250 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca y 200 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla, ambas hechas de pintura base solvente.

Con base en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes de Control del Tránsito dado por el SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana) en noviembre del 2015, la retroreflectividad mínima de acuerdo con el color son los indicados en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 1

Retroreflectividad mínima para la señalización horizontal

COLOR	RETORREFLEXIÓN MÍNIMA (mcd / lx) / m <sup>2</sup>					
	PINTURAS BASE SOLVENTE Y BASE AGUA			PINTURA TERMOPLÁSTICA		
	INICIAL	A 180 DÍAS	VIDA DEL PROYECTO	INICIAL	A 180 DÍAS	VIDA DEL PROYECTO
BLANCO	250	150	100	300	250	150
AMARILLO	200	150	50	250	175	100

Fuente: Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Anexo del acuerdo centroamericano sobre señales viales uniformes.

Año 2014.

A como se demuestra en el cuadro N° 1, la retroreflectividad inicial es aquella que debe ser medida no antes de 3 días y no más de 30 días de aplicada la pintura. Si la lectura dada por el retroreflectómetro horizontal es menor a la retroreflectividad vida del proyecto o reflectividad mínima mantenida, la demarcación vial deberá de pintarse nuevamente.

### 3.3 Pintura para la demarcación vial

De los diferentes tipos de materiales que hay en el mercado, para la demarcación de la señalización horizontal; en Nicaragua se usan las siguientes:

### **3.3.1 Pintura de tráfico con base de 100% acrílico (base de agua)**

El ligante de este tipo de pintura es un polímero acrílico cuyas partículas, de tamaño menor de una micra, emulsionadas en agua en presencia de sustancias tenso activas y de coalescentes que favorecen la formación de la película cuando el agua se evapora.

Su tiempo de secado es bastante mayor que el de las pinturas con disolventes orgánicos y se encuentra muy limitado por las condiciones climáticas; la pequeña proporción de disolventes orgánicos que contienen hace que sean considerados como productos más respetuosos con el medio ambiente.

Se aplican muy fácilmente y, una vez que han adquirido la dureza final, poseen buenas propiedades mecánicas y de retención de color, no producen efectos de sangrado (variación del color en la pintura) sobre pavimentos bituminosos y pueden usarse directamente sobre hormigón. Es hasta este año que el FOMAV (Fondo de Mantenimiento Vial) permite el uso de este tipo de pintura en la señalización horizontal.

### **3.3.2 Pintura acrílica (base solvente)**

El ligante está basado exclusivamente en monómeros acrílicos (acrílicas puras), o en una combinación con otros polímeros de distinta naturaleza como por ejemplo el estireno (acrílicas estirenadas), disueltos en disolventes orgánicos. La combinación de monómeros acrílicos con otras resinas como el estireno (polímero que se emplea como caucho sintético), permite tener un precio más bajo y mejorar algunas propiedades, como la resistencia a las grasas.

Su característica diferencial más notable es su rápido secado y endurecimiento a fondo, además de poseer buena resistencia a la radiación ultravioleta, versatilidad de aplicación y buen comportamiento sobre asfalto sin riesgo de “sangrado” (variación del color en la pintura) en el caso de las acrílicas puras.

En Nicaragua la pintura acrílica base solvente más usada son los tipos acrílicas estirenadas, específicamente compuestas por resina de caucho clorado.

### **3.3.3 Pintura Termoplástica en caliente**

Se trata de una mezcla compuesta por sustancias minerales de granulometría gruesa (hasta 700 micras), una resina y un plastificante ambos en forma sólida granular o en escamas; contienen también microesferas de vidrio premezcladas, un aceite mineral especial que ayuda a controlar la viscosidad de aplicación y plastificar el conjunto y un pigmento que le da el color.

Las resinas más usadas son polímeros alifáticos de olefinas de 5 átomos de Carbono obtenidas en la destilación del petróleo y las resinas derivadas de la Colofonia. También se usan resinas Alcídicas modificadas, Maleicas y Fenólicas, especialmente en climas cálidos y tropicales. En todos los casos son resinas de tipo termoplástico, sólidas a temperatura ambiente que se reblandecen con el calor pasando a líquidas, y retornan de nuevo al estado sólido al enfriarse, y no pueden aplicarse directamente sobre pavimentos de hormigón.

Los materiales de carga o agregados son de naturaleza idéntica a los de las pinturas, pero de granulometría mucho más elevada; el pigmento es el Dióxido de Titanio en el color blanco y el Cromato de Plomo estabilizado, para soportar las altas temperaturas, en el amarillo.

En el proceso de producción de los materiales termoplásticos se incorpora una cantidad variable de microesferas de vidrio que asegura su permanencia en la marca vial durante toda su vida útil, lo que hace de ellos una de las mejores alternativas para una retroreflexión duradera, ya que el desgaste natural de la marca vial las va haciendo aparecer paulatinamente.

De hecho, son los materiales con los que se logran los mayores niveles de visibilidad nocturna al cabo de su vida útil (3 años), pudiendo alcanzarse valores de más de 400 mcd (milicandelas). después de soportar 4 millones de pasos de rueda en el ensayo de durabilidad.

Los materiales Termoplásticos carecen de disolventes y es el calor el que fluidifica el producto para permitir su aplicación, una vez realizada la cual se vuelven sólidos de manera inmediata, permitiendo la apertura al tráfico en unos pocos segundos, lo que constituye su característica más singular y otra de sus más notables ventajas de empleo.

## IV - Descripción de las secciones a investigar

### 4.1 Tramos de estudio

Se definen como tramos de estudio, a aquellas secciones recién pintadas y en las cuales se realizaron mediciones mensuales de la retroreflectividad en la señalización horizontal (líneas de borde y línea central) durante un periodo de 4 meses. Con los datos obtenidos en las mediciones, se comenzó a hacer el análisis de tendencia; el cual pronosticará la vida útil de la demarcación vial de acuerdo a la retroreflectividad mínima permitida (Cuadro N° 1).

#### 4.1.1 Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km)

Imagen N° 8

Ubicación del tramo de estudio



Fuente: Google Earth

En este tramo se realizaron las mediciones a lo largo de 4.9 kilómetros. Esta sección se encuentra entre los semáforos Auto Hotel Nejapa hasta el empalme Santa Rita, cuenta con una población aledaña de 36027 habitantes. Por su función se clasifica como troncal principal, es de terreno ondulado, tiene muchas curvas horizontales y algunas curvas verticales. El drenaje está constituido por cunetas y bordillos, las cuales no muestran desgaste, grietas ni escalonamiento (desnivel entre dos módulos de concreto).

## Imagen N° 9

Carretera Vieja a León NIC – 12A kilómetro 22+000



Fuente: Archivo personal

La carretera vieja a León fue construida a base concreto asfáltico entre 1956 y 1958, rehabilitada en 1991 hasta 1993 y reconstruida en concreto reforzado desde 2014 y finalizado el 18 de marzo del 2015. Toda la señalización horizontal está hecha a base de pintura termoplástica y es eficiente porque hasta la cuarta medición cumplía con la retroreflectividad mínima requerida ( $150 \text{ mcd/lux/mts}^2$  para la línea blanca y  $100 \text{ mcd/lux/mts}^2$  para la línea amarilla de termoplástico).



Tabla N° 1

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de estudio (Auto hotel Nejapa – Empalme Santa Rita)

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
102	NIC-11B	1801	ECD	Emp. Catarina - Emp. El Guanacaste	2014	1149	1104	411	849	131	47	305	385	301	38		294					10	5,024
					2012	651	708	295	682	134	24	257	302	277	71	1	263			1		7	3,673
					2010	802	839	455	889	118	20	339	361	286	49	1	251					11	4,421
					2009	539	755	403	935	112	13	358	334	249	68		322					10	4,099
					2007	294	469	198	548	63	15	299	220	223	30		175					6	2,540
					2005	208	750	361	858	83	26	354	194	216	28		174	2	1	1		12	3,288
					2003	200	755	379	904	103	21	237	218	284	42		184	0	0	1		22	3,351
					2002	167	562	338	915	89	24	273	191	210	34		194	1				20	3,017
					1999	124	404	356	641	11	19	209	118	216	58		215	1		1	1	7	2,381
					1998	139	484	288	772	20	23	261	150	183	26	2	189	1		1		5	2,544
					1997	113	303	303	674	8	52	207	65	150	23	4	154	1	1	1	1	20	2,080
103	NIC-12A	1215	ECD	Emp. Nejapa - Semáforos Auto Hotel Nejapa	2012	2474	7669	3497	3928	562	180	497	1148	599	174	1	380			2		27	21,138
					2009	2152	6974	4009	4140	448	250	462	1196	598	70	2	238			1	1	36	20,578
					2006	954	6261	3213	4465	505	76	452	1024	644	84	3	307			2	2	40	18,033
					2004	433	5472	2465	3418	500	50	449	673	334	43		105	1				23	13,963
					2001	531	6286	3304	4331	787	108	544	622	465	81	0	224	8		0	1	12	17,304
					1999	253	2745	1692	1865	95	56	250	216	176	26	2	164			5		26	7,573
104	NIC-12A	1200	ECD	Semáforos Auto Hotel Nejapa - Emp. Santa Rita	2009	366	604	271	710	32	11	159	200	91	14		39					16	2,503
					2008	275	578	254	695	45	8	171	171	89	11		33					15	2,345
					2007	173	546	262	708	39	13	133	195	93	16		34					17	2,249
					2006	128	489	254	661	31	12	130	170	95	16		27					13	2,026
					2005	96	471	235	599	24	3	129	149	82	11	1	33			1		13	1,848
					2004	88	399	213	524	19	4	126	124	69	11	1	26					12	1,614
					2003	76	430	281	638	22	10	138	124	89	15		76					12	1,910
					2002	75	460	337	704	46	5	148	120	80	19		137					13	2,142
					2001	71	423	276	661	20	7	131	101	90	18		76			1		17	1,892
					2000	68	309	255	596	18	8	134	103	77	16	0	112			1		21	1,718
					1999	84	380	321	672	16	8	127	84	105	31	2	119			2		15	1,966
					1998	55	432	352	673	23	9	145	77	115	14	1	165				3	19	2,083
					1997	49	467	403	831	29	9	138	75	167	21	2	252		1	2		24	2,470
					1996	50	421	421	902	16	32	128	66	136	27	3	147	1	3	4		23	2,382

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

De acuerdo a la Tabla N° 1, Esta sección hasta el 2009, tiene un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) de 2503 vehículos por día. Para conocer el porcentaje de vehículos que circulan sobre la vía, primero se clasificó el transporte en cuatro categorías:

- Livianos (motos, autos, jeep, camionetas).
- Livianos de pasajeros (McBus<15 pasajeros, MnBus 15-30 pasajeros, Bus).
- Medianos de carga (Liv 2.5 Ton, C2 5 + Ton, C3).
- Pesados (Tx-Sx <= 4e, Tx-Sx >= 5e, Cx-Rx <= 4e, Cx-Rx >= 5e, V.A, V.C)
- Otros

El producto de la suma de los vehículos por su categoría, divididos entre el último TPDA (en este caso es del año 2009) y multiplicados por 100, da como resultado el porcentaje del tipo de vehículo que transita por la carretera. De manera similar se repitió este proceso en las demás secciones de estudio y referencia.

Cuadro N° 2

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2009). Tramo de estudio Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km).

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	77.54
Livianos de pasajeros	8.07
Medianos de carga	12.19
Pesados	1.56
Otros	0.64

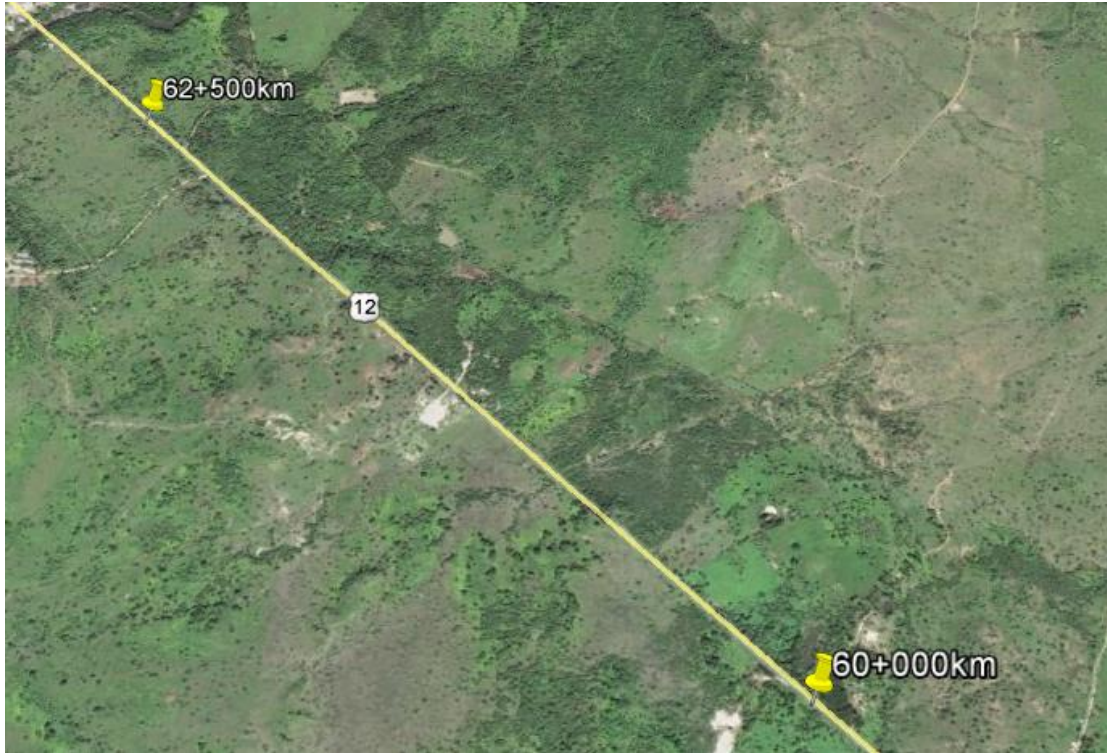
Fuente: Elaboración propia

Pero es hasta este año, que el MTI realizará un aforo de tráfico para conocer el TPDA actual. Ya que debido a las mejores condiciones que presenta esta vía, el flujo vehicular aumentó considerablemente. La primera medición de la retroreflectividad se hizo 9 meses después que se inauguró (18 de marzo del 2015).

#### 4.1.2 Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km – 62+500Km)

Imagen N° 10

Ubicación del tramo de estudio



Fuente: Google Earth

En esta sección se realizaron las mediciones de retroreflectividad en una longitud de 2.5 kilómetros. Este tramo se encuentra localizado entre el empalme a Puerto Sandino y el límite municipal de Nagarote/La Paz Centro. Debido a que hay una alta presencia de curvas verticales (en cresta y en columpio), en ambos lados de la vía hay cunetas que recogen el agua de escorrentía provenientes de los taludes.

## Imagen N° 11

Carretera Vieja a León NIC – 12A kilómetro 61+000



Fuente: Archivo personal

Esta vía fue construida entre 1956 – 1958 y rehabilitada en el 2011, la superficie de rodamiento es de concreto asfáltico; el pavimento de concreto hidráulico termina en el empalme a Puerto Sandino. La pintura de la señalización horizontal está hecha a base de solvente (caucho clorado). Hasta la cuarta lectura, la retroreflectividad en las líneas de borde y la línea central estaban por encima del parámetro permitido ( $100 \text{ mcd/lux/mts}^2$  para la línea blanca y  $50 \text{ mcd/lux/mts}^2$  para la línea amarilla de pintura base solvente)

Tabla N° 2

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de estudio (Emp. Puerto Sandino – Emp. Izapa)

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
105	NIC-12A	1209	ECD	Emp. Santa Rita - Emp. El Tránsito	2009	109	105	95	308	4	1	75	63	58	17		21			3	1	8	868					
					2008	121	96	90	326	6	2	57	81	62	9		33	1					3		887			
					2005	36	95	84	306	1		75	64	54	10		28					4		10		768		
					2004	35	97	121	252	12		78	60	80	24		272	1				2			9		1,043	
					2001	31	194	192	330	10	4	72	59	138	11		81			0		2			15		1,139	
					1999	27	157	267	409	11	5	79	53	125	29	1	171						5			11		1,350
					1997	20	312	303	498	22	3	108	42	154	24	2	208						5			14		1,715
106	NIC-12A	1201	ECS	Emp. El Tránsito - Emp. Puerto Sandino	2009	33	17	18	62			44	17	31	7		18						4	251				
					2008	25	28	14	113		2	35	31	35	4		40							0	3		330	
					2005	4	21	22	83	1	1	51	19	26	6		30									6		268
					2004	13	23	39	95	4		49	17	58	9		298									3		610
					2002	9	92	165	230	18	1	63	30	45	3		115			0		1				6		779
					2001	10	78	110	169	5	1	48	33	87	5		75			0						4		625
107	NIC-12A	1210	ECD	Emp. Puerto Sandino - Emp. Izapa	2009	89	67	67	200	15	21	57	81	79	15	1	130							4	826			
					2008	44	60	71	246	12	9	45	74	80	4		85					3			14		747	
					2005	15	49	58	136	9	12	60	37	46	6		100					1				12		541
					2004	22	54	85	178	25	8	57	40	99	8	16	119									5		717
					2002	13	70	159	239	20	11	77	34	78	3	1	72			0	0					5		781
					2001	19	89	107	249	23	4	65	47	132	47		220			0	3	0				8		1,012
					1997	13	282	270	425	32	1	90	25	184	13	1	164						1			7		1,508

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

### Cuadro N° 3

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2009). Tramo de estudio  
Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km - 62+500Km).

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	51.21
Livianos de pasajeros	11.26
Medianos de carga	21.19
Pesados	15.86
Otros	0.48

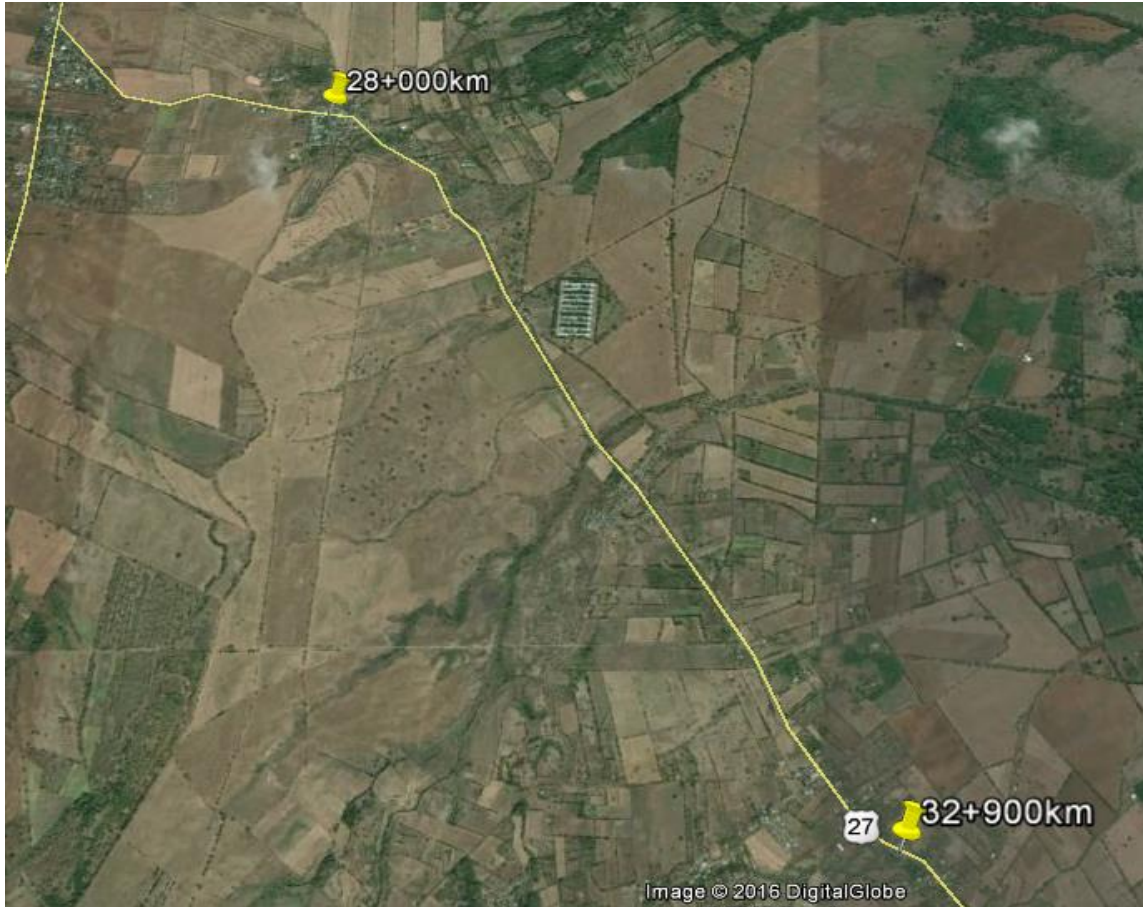
Fuente: Elaboración propia

Este tramo por su función se clasifica como troncal principal y hay una población aledaña de 35288 habitantes, la cual hace uso de esta vía. Hasta el 2009, el TPDA de esta sección es de 826 vehículos por día (Tabla N° 2) y hasta este año el MTI hará un aforo de tráfico para conocer el TPDA actual. La primera medición de la retroreflectividad se hizo 2 meses después que se pintó (octubre del 2015).

#### 4.1.3 Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000km – 32+900km)

Imagen N° 12

Ubicación del tramo de estudio



Fuente: Google Earth

La vía en estudio se encuentra entre el municipio de Tipitapa y el municipio de Tisma. Se empezó a medir la retroreflectividad de la demarcación vial desde la comarca de Zambrano en el kilómetro 28 hasta el kilómetro 32.9. Esta carretera fue adoquinada en el 2009, el drenaje longitudinal no muestra grietas ni escalonamiento (desnivel entre dos módulos de concreto), pero ya tiene desgaste superficial. El terreno por el que pasa es plano, con pocas curvas horizontales y la única señalización horizontal presente es la línea central (hecha a base de caucho clorado).

Hay que destacar que por esta vía circula mucho ganado, debido a las fincas cercanas presentes en el sector. Este ganado ensucia el adoquinado con heces fecales, por lo que afecta de una gran manera a la línea central a como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen N° 13

Desprendimiento de la pintura en la línea central. Empalme a Zambrano – Tisma  
NIC – 27 kilómetro 31+500



Fuente: Archivo personal

En la imagen anterior se aprecia como la demarcación se está desgajando del pavimento, porque fue pintada encima del excremento seco presente en el adoquín. Por esta razón la retroreflectividad de la línea central es deficiente, porque está muy cerca del límite permitido ( $50 \text{ mcd/lux/mts}^2$  para la línea amarilla de pintura base solvente)



#### Imagen N° 14

Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 kilómetro 30+000. Ganado circulando sobre la vía (Empalme a Zambrano – Tisma)



Fuente: Archivo personal

Por su función se clasifica como colectora principal y hasta el 2014 su tránsito promedio diario anual era de 949 vehículos por día (Tabla N° 3). La primera medición de la retroreflectividad se hizo 2 meses después que se pintó (noviembre del 2015).

#### Cuadro N° 4

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de estudio Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000Km - 32+900Km).

Tipo de vehículo	Porcentaje %
Livianos	81.98
Livianos de pasajeros	4.53
Medianos de carga	8.54
Pesados	3.79
Otros	1.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de estudio (Emp. A Zambrano – Tisma)

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA			
183	NIC-26	2603	ECD	Malpaisillo - Los Zarzales	2010	300	82	71	362	20		97	96	81	12		47				9		16	1,193		
					2009	213	80	69	315	21	3	94	93	81	13			55				11		14	1,062	
					2008	174	44	57	269	18	1	90	72	77	13			63				15		16	909	
					2007	76	46	56	271	18		97	83	85	10			62				5		11	821	
					2006	76	56	55	287	17	1	96	77	76	11			56				5		12	826	
					2005	49	44	59	250	22	1	95	70	75	14	6	55					3		10	752	
					2004	49	74	72	273	23	2	97	77	76	10	2	51	1				3	3	10	820	
					2003	45	69	67	266	24	4	91	66	70	11			40				3		8	764	
					2002	42	64	72	247	24		93	62	78	12			40				5		10	750	
					2001	52	50	79	269	21	1	99	56	92	24			84				3		7	836	
					2000	58	38	70	267	12	1	90	53	100	11	1	40	0				8		8	756	
					1999	50	31	70	267	5	0	88	51	96	13	0	39					8	0	10	728	
					1998	54	47	85	238	1	1	72	23	90	11			43					13		18	696
					1997	44	44	76	247	1	1	72	18	84	8			36		1	1	13		13	20	666
184	NIC-26	2602	ECD	Los Zarzales - Emp. San Isidro	2010	68	36	29	158	12		57	53	82	8		78						16	597		
					2007	19	13	20	95	6	4	32	35	35	7			14						1	282	
					2005	24	43	49	166	8		68	47	75	8			84				1		2	574	
					2003	37	48	55	351	18		72	68	129	20	1	77					6		4	885	
					2001	26	64	44	287	12		79	41	107	16			75				3		3	757	
					1999	27	25	56	184	1	1	60	17	102	17			100				7		5	603	
					1997	31	38	59	306	2		59	43	107	16			18			1	9		9	9	698
185	NIC-27	2701	ECD	Emp. a Zambrano - Tisma	2014	512	91	30	145	2	1	40	61	19	1		2				33	1	11	949		
					2013	453	51	26	132			37	61	21								17		26	824	
					2011	167	50	33	126			36	39	30								1		3	485	
					2010	186	37	30	200	5		37	50	68								3	1	36	653	
					2009	123	6	22	88			31	25	19								5		54	372	
					2005	49	53	35	123	8		24	38	24	6		1					8		8	377	
					2004	42	79	38	160	1		26	32	21	1		3					4		2	409	
					1999	42	29	33	146	14		21	19	30	2	2						6	1	6	351	
					1997	50	34	34	112	1	4	14	11	24	4							12		6	306	

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

#### 4.1.4 La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000km – 124+900km)

Imagen N° 15

Ubicación del tramo de estudio



Fuente: Google Earth

Esta carretera es la puerta de entrada a San Juan del Sur y a varias playas cercanas a dicho municipio, por lo que es muy visitada por muchos turistas tanto nacionales como extranjeros; lo que genera un dinamismo en la economía del país por las divisas que generan dichos visitantes.

Al principio se tenía pensado medir la retroreflectividad a lo largo de 5 kilómetros, pero porque llovió sobre la carretera en la segunda medición de la retroreflectividad, se redujo a 1.9 kilómetros, comenzando en el kilómetro 123 hasta el kilómetro 124.9.

## Imagen N° 16

La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 kilómetro 124+900



Fuente: Archivo personal

La superficie de rodamiento es de concreto asfáltico, el terreno en el que se ubica esta sección es plano con leves curvas verticales, pero sin ninguna curva horizontal. Las cunetas tienen desgaste superficial pero no hay escalonamiento ni grietas.

Esta carretera fue construida entre 1958 – 1959, y fue rehabilitada en el 2008. Por su función, se clasifica como troncal secundaria y desde el 2014 presenta un TPDA de 3112 vehículos por día (Tabla N° 4).

La pintura con que está hecha la señalización horizontal es a base de solvente (caucho clorado). La primera medición de la retroreflectividad se hizo 2 meses después que se pintó (abril del 2015).

Hasta la última medición, la retroreflectividad en las líneas de borde y la línea central estaban por encima del parámetro permitido (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca y 50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de pintura base solvente)

Cuadro N° 5

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de estudio  
La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000Km - 124+900Km)

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	86.47
Livianos de pasajeros	4.63
Medianos de carga	8.29
Pesados	0.32
Otros	0.29

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de estudio (La Virgen – San Juan del Sur)

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
123	NIC-15	1502	ECD	Ocotai - Las Manos	2011	178	134	67	277	4	4	61	19	22	2		163							931				
					2009	116	78	83	240	5		53	11	13	8				51								657	
					2007	105	137	82	323	4	1	55	33	35	16					232						4	1,028	
					2004	82	119	90	387	6	7	54	49	48	30					174						4	1,051	
					2001	62	43	89	370	2	2	46	29	81	61	6				37								828
					1999	42	33	68	286	3	4	34	16	97	32					116				6	5	3		744
					1997	51	37	76	315	1	5	26	33	71	45					64						2		726
124	NIC-16	1601	ECD	La Virgen - San Juan del Sur	2014	572	1241	324	554	78	6	60	198	52	8		7					3		9	3,112			
					2012	260	666	198	334	30	4	50	129	24	4				9				1	2	6		1,717	
					2011	272	598	179	322	34	4	43	110	34	4				9				1			4	1,614	
					2010	175	732	197	410	26	2	55	141	77	6				5					1		5		1,832
					2009	187	574	192	317	35	3	46	116	32	3				7				1			7		1,520
					2006	72	696	162	366	21	13	42	86	103	21					28							6	1,616
					2003	73	517	110	341	14	6	39	70	76	9	9			8				3			14		1,289
					2001	95	236	120	297	4	4	53	58	49	4				5					1		15		940
1997	86	73	73	200	3	9	37	26	73	11				2					6		10		609					
125	NIC-17	1701	ECD	Emp. San Francisco - Camoapa	2014	122	153	63	213	4	3	30	101	96	7		11							1	804			
					2011	56	77	45	144		3	27	42	51	1	4	6									1	457	
					2009	63	124	66	155	2	10	38	75	49	4				6									591
					2006	17	101	49	183	4	9	24	62	61	7				7								1	525
					2004	10	74	37	156	6	6	23	38	62	8				8								1	429
					2002	19	52	27	118	4	10	20	40	46	3	1	3										1	343
					2000	19	37	37	128	9	4	20	29	36	13	0	6							0		3		344
					1998	6	43	50	114	9		16	25	47	2				8									320
1997	13	44	44	114	1	3	13	14	36	19				5							1		307					

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

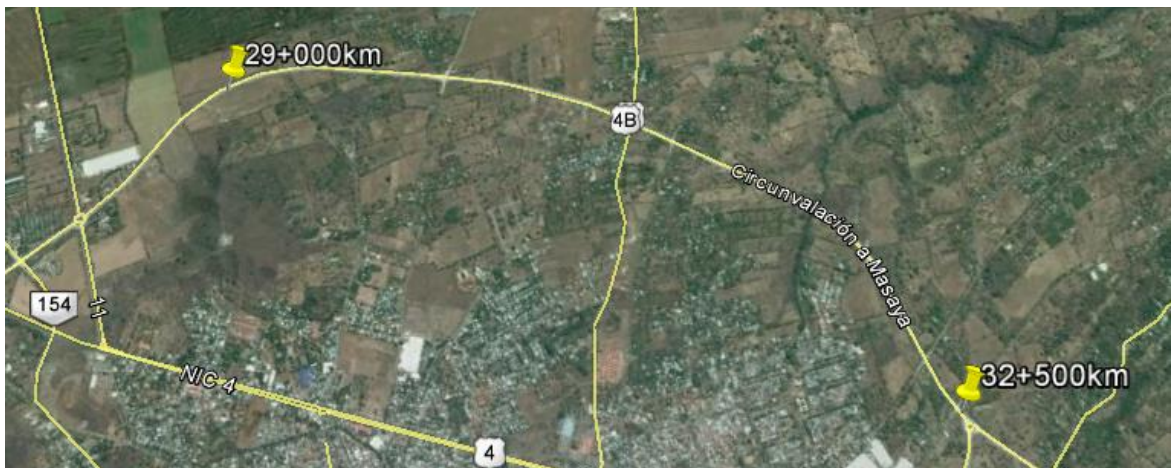
## 4.2 Tramos de referencia

Se denominan tramos de referencia a aquellas secciones que tienen un tiempo considerable de haber sido señalizadas (de 3 meses a más). Estas secciones servirán para conocer la degradación mensual de la retroreflectividad en la señalización horizontal y así poder comparar los pronósticos obtenidos en los tramos de estudio.

### 4.2.1 Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km – 32+500Km)

Imagen N° 17

Ubicación del tramo de referencia



Fuente: Google Earth

Esta pista fue inaugurada el 14 de diciembre del 2013 con la intención de disminuir el tránsito pesado en su totalidad, en el tramo que va desde el empalme del Coyotepe hasta la rotonda las Flores. Se midió la retroreflectividad en la señalización horizontal a lo largo de 3.5 kilómetros, empezando en kilómetro 29, hasta el 32.5. La primera lectura se hizo el 13 de febrero del 2015 y la segunda el 15 de diciembre del 2015, dando un lapso de tiempo de 10 meses de diferencia. La superficie de rodamiento es de concreto hidráulico, pero en algunos sectores los hombros de la vía están hechos a base de concreto asfáltico. El terreno en el que se asienta este tramo es ondulado, ambos carriles tienen cunetas y bordillos

en excelente estado (sin desgaste, grietas o escalonamiento), hay presencia considerable tanto de curvas horizontales como de curvas verticales. Debido a la construcción de esta pista de circunvalación hay una población beneficiada de 162868 habitantes.

Por su función, esta sección se clasifica como troncal principal. A como se observa en las Tablas N° 5 y N° 6, para conocer el tránsito promedio diario anual (TPDA) el MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura) dividió esta pista en tres secciones (Rotonda Nindirí – Rotonda Coyotepe, Rotonda Coyotepe – Rotonda Tisma, Rotonda Tisma – Rotonda Las Flores). Como resultado del promedio de los TPDA de las tres secciones de esta vía, El TPDA de este tramo de referencia es de aproximadamente 4800 vehículos por día. El aforo se realizó en el 2014, un año después de haber sido construida. El material con el que está hecho la demarcación vial es de termoplástico. Pero en algunas secciones, la línea central se ha borrado debido al desgaste y a la vida útil del material; el cual tiene como mínimo 3 años de duración.

Hasta la segunda medición, las líneas de borde eran eficientes porque la retroreflectividad en estas sobrepasaban al parámetro mínimo requerido (150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca). Pero la línea central estaba por cumplir su vida útil (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de termoplástico).

Cuadro N° 6

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de referencia Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B (Rotonda Nindirí – Rotonda Coyotepe).

Tipo de vehículo	Porcentaje %
Livianos	74.84
Livianos de pasajeros	3.62
Medianos de carga	15.96
Pesados	5.12
Otros	0.46

Fuente: Elaboración propia



#### Cuadro N° 7

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de referencia Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B (Rotonda Coyotepe – Rotonda Tisma).

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	63.1
Livianos de pasajeros	3.35
Medianos de carga	23.32
Pesados	9.81
Otros	0.42

Fuente: Elaboración propia

#### Cuadro N° 8

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de referencia Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B (Rotonda Tisma – Rotonda Las Flores).

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	63.85
Livianos de pasajeros	3.05
Medianos de carga	22.63
Pesados	10.22
Otros	0.25

Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 18

Desgaste de la línea central en Pista de circunvalación Masaya kilómetro 30+500



Fuente: Archivo personal

Tabla N° 5

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de referencia (Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B).  
Sección: Rotonda Nindirí – Rotonda Coyotepe.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA				
51	NIC-4	404	ECD	Granada - Emp. Guanacaste	2012	883	642	326	561	141	16	125	174	108	44		20						11	3,051			
					2010	759	582	258	816	128	15	225	247	141	29				42							2	3,244
					2008	644	767	330	853	64	4	155	207	218	32				8							42	3,325
					2006	388	676	240	768	49	3	182	182	182	28				16							14	2,727
					2005	196	528	242	676	70	10	216	141	137	24				25							6	2,270
					2003	171	629	263	660	54	6	213	164	170	28	0			16			0		1		17	2,394
					2002	253	807	355	981	58	8	212	185	190	24				25					2		39	3,139
					1999	130	315	270	511	19	13	193	108	158	57				21					2	1	5	1,801
					1997	225	398	296	599	21	21	172	105	154	35	3			19					7		25	2,080
					1996	234	302	302	725	7	38	152	84	211	17	4			21		1	1	13	1	31	2,144	
52	NIC-4	405	ECD	Emp. Guanacaste - Emp. Nandaime	2012	444	664	363	668	109	28	210	228	286	71		302						5	3,378			
					2010	343	535	336	716	132	67	242	284	226	60	1		346					3		7	3,298	
					2009	325	632	360	753	113	30	279	274	258	33			252							12	3,320	
					2008	226	499	292	612	95	25	279	244	224	28			242								9	2,776
					2007	164	549	347	755	130	22	278	257	290	32			261					1		14	3,098	
					2006	179	545	336	758	130	22	278	254	291	39			261	4							11	3,109
					2005	159	565	300	776	115	36	308	242	282	42	2		265	1			0	0		8	3,102	
					2004	127	583	316	785	118	32	293	227	299	39			306	1							11	3,137
					2003	122	546	287	722	100	22	305	200	225	36			240	12							11	2,828
					2002	110	486	269	713	101	26	307	202	237	35	1		188						1		14	2,689
					2001	101	452	282	711	89	29	282	180	228	39			259	1							17	2,671
					2000	99	418	276	676	71	25	272	156	227	36	1		231	1	0	2	1			11	2,504	
					1999	93	450	281	654	57	25	272	142	221	47	1		222	1			1			8	2,474	
					1998	85	396	252	618	25	11	210	113	173	33	1		159			1	2	1		10	2,090	
					1997	88	383	230	564	22	16	185	110	153	25	1		117	2	1	1				10	1,908	
1996	115	293	293	649	9	39	158	91	262	81	1		184	1	1	3	3			12	2,195						
53	NIC-4B	432	ECD	Rtda. Nindirí - Rtda. Coyotepe (circunvalación)	2014	788	1241	602	947	115	10	48	424	274	65		242				2	1	22	4,781			

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

Tabla N° 6

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de referencia (Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B).  
Sección: Rotonda Coyotepe – Rotonda Tisma y Rotonda Tisma – Rotonda Las Flores.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
S4	NIC-4B	433	ECD	Rtda. Coyotepe - Rtda. Tisma(circunvalacion)	2014	731	1110	318	871	110	15	36	236	788	96		454			17		20	4,802
S5	NIC-4B	434	ECD	Rtda. Tisma - Rtda. Las Flores (circunvalacion)	2014	835	1109	371	741	98	13	35	374	587	122	3	484			1	1	12	4,786
S6	NIC-5	903	ECD	Matagalpa - Emp. San Francisco	2013	615	440	247	1264	46	6	269	169	213	33		46					4	3,352
					2011	654	340	190	1075	48	15	246	147	203	39		39					6	3,002
					2009	553	224	178	768	35		238	113	204	17		6					2	2,337
					2007	325	177	218	761	54	2	270	107	206	6		7					4	2,137
					2003	191	96	191	610	4	16	159	68	149	12		6					2	1,503
					2001	223	76	245	755	4	7	220	87	171	10		14					3	1,815
					1999	109	96	259	854	1	28	172	80	260	21		28					4	1,912
					1997	140	69	236	663	3	50	121	56	185	32	1	11				1	2	1,570
					1996	96	185	185	663	8	25	102	61	136	34	1	4		1	3	1	5	1,510
S7	NIC-5	501	ECD	Emp. San Francisco - Santa Emilla	2013	502	112	99	628	8	1	106	95	201	16	4	16					1	1,789
					2011	358	75	81	534	4	2	95	73	156	21		16					4	1,419
					2009	310	53	92	438	3		96	53	141	13		3						1,202
					2007	145	33	117	405	4		114	55	141	3		3					2	1,022
					2003	90	26	87	290	3	5	59	38	102	5	0	1					0	707
					2001	97	34	113	340	2		82	41	113	5		3				0	1	833
					1999	35	11	112	350	2		80	33	125	17		2			13		10	787
					1997	51	12	91	259	1		55	30	120	17	1	5					2	644
					1996	28	59	59	247	2	12	47	29	72	16		1		1	1		1	575
S8	NIC-5	511	ECD	Santa Emilla - El Tuma	2013	267	54	50	331		2	77	78	129	12		19						1,019
					2011	205	18	46	289	1	3	66	52	132	19	6	9						846
					2009	216	20	37	279	1		77	41	114	11		3						799
					2007	99	21	73	284	4		92	49	139	7		3						771
					2003	52	12	61	176	3	5	50	27	78	7	0	0						472
					2001	65	17	72	223	1	2	66	34	83	6		2			1		2	572

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

**4.2.2 Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km – 61+000Km)**

Imagen N° 19

Ubicación del tramo de referencia



Fuente: Google Earth

Imagen N° 20

Jinotepe – Empalme el Grajinan NIC – 2 kilómetro 61+000



Fuente: Archivo personal

En este tramo, se midió la retroreflectividad, empezando desde el kilómetro 62+500 hasta el kilómetro 61+000, haciendo un total de 1.5 kilómetros. La primera medición se realizó el 5 de junio del 2014; un mes después de haber sido pintada (mayo del 2014), y la segunda el 13 de marzo del 2015, dando aproximadamente 9 meses de diferencia entre ambas lecturas.

El terreno en el que se asienta esta carretera es plano, con una sola curva horizontal. El drenaje está constituido por cunetas en buen estado (no hay escalonamiento, grietas y desgaste). Dicha vía forma parte de la Panamericana Sur, la cual fue construida a base de concreto asfáltico desde 1951 hasta 1953 y rehabilitada en el 2000.

Por su función, esta carretera se clasifica como troncal principal y en el 2012 tenía un TPDA de 2602 vehículos por día (Tabla N° 7). La demarcación vial está hecha con pintura base de solvente (caucho clorado). Hasta la segunda lectura, la retroreflectividad de la señalización horizontal era deficiente, ya que solo la línea de borde izquierda superaba el parámetro requerido (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de base solvente)

#### Cuadro N° 9

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2012). Tramo de referencia Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC – 2 (62+500Km – 61+000Km).

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	63.91
Livianos de pasajeros	7.49
Medianos de carga	14.99
Pesados	12.64
Otros	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de referencia (Jinotepe - Nandaime).

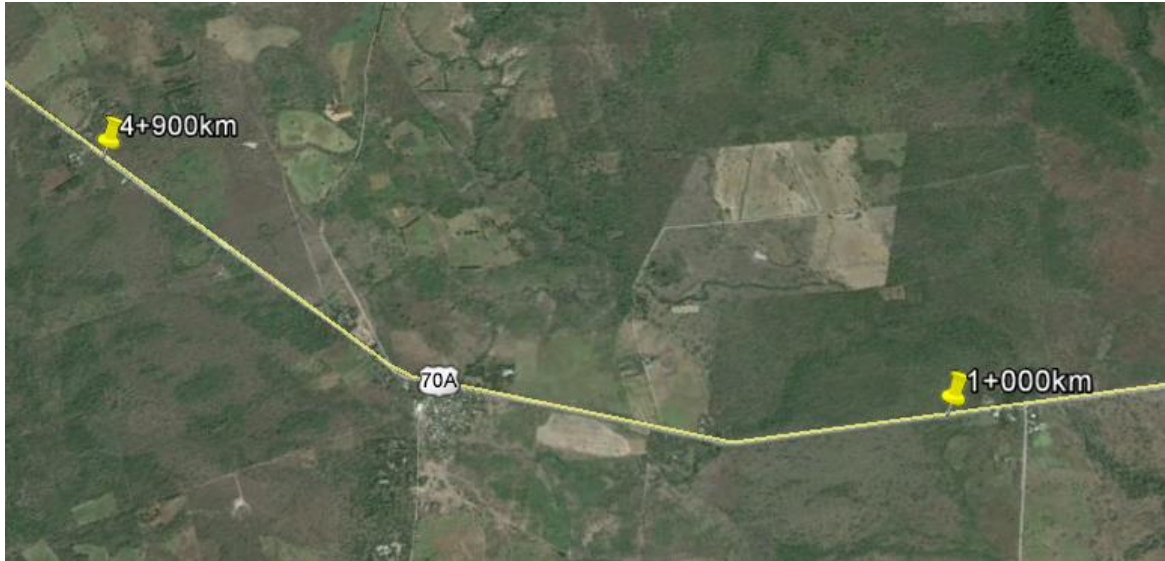
N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
26	NIC-2	203	ECD	Las Esquinas - Diríamba	2010	548	1440	628	1208	722	77	186	328	276	37		280				5		28	5,763				
					2009	476	1190	563	1035	503	79	176	213	215	28	266									9	4,754		
					2006	152	1449	573	1174	587	123	211	215	227	54	299										20	5,085	
					2004	86	963	456	1019	585	102	227	242	419	38	1	174							2		25	4,338	
					2001	63	1168	519	823	393	67	193	141	232	33		211	2					0			17	3,862	
					1999	77	810	431	964	321	135	226	168	190	36		133										12	3,503
					1997	87	731	351	864	247	143	218	111	219	29		141							3		28	3,172	
1996	117	588	588	1190	22	43	173	106	261	26	1	63	1						3	1	20	3,203						
27	NIC-2	204	ECD	Diríamba - Jinotepe	2009	1197	2570	746	1312	1219	279	177	304	153	31		194						9	8,191				
					2006	687	2767	749	1582	1185	152	229	278	254	33		277	1								12	8,206	
					2004	512	2774	884	1506	1092	215	214	308	211	43		105						2			39	7,906	
					2001	311	2866	798	1616	948	208	291	226	191	38		203						1			49	7,746	
					1999	188	1936	697	1440	761	169	325	279	190	33		128						2			37	6,186	
					1997	260	2011	536	1363	451	213	307	192	222	22	1	144						5			71	5,798	
					1996	418	1235	1235	1858	32	58	234	141	302	45	10	68	2					4			113	5,755	
28	NIC-2	205	ECD	Jinotepe - Nandaime	2012	414	537	209	503	108	4	83	194	163	33		306					3		25	2,602			
					2010	218	648	178	458	127	23	77	202	86	16	1	229									2	2,265	
					2006	377	1230	298	1035	585	61	125	257	175	24		281						3			18	4,468	
					2004	128	562	222	587	149	30	92	154	136	26	0	92	0					5	0		11	2,196	
					2001	63	278	143	431	56	2	89	98	98	25		229	1					1			5	1,518	
					1999	52	180	151	346	55	4	93	97	111	18	0	135						1	1		12	1,256	
					1997	66	190	166	379	18	3	88	65	96	22		119						1			11	1,224	
1996	68	146	146	397	5	13	51	50	134	28		44	1					2	1		7	1,093						

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

### 4.2.3 Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)

Imagen N° 21

Ubicación del tramo de referencia



Fuente: Google Earth

Debido a la ausencia de mojones que indiquen el kilometraje en la vía, se comenzó a hacer el levantamiento 50 metros más adelante del puesto de vigía San Antonio. Desde allí fue el punto de partida y con la ayuda del odómetro instalado en la camioneta, se tomaron las lecturas hasta completar 3.9 kilómetros. Se registró la primera lectura el 2 de octubre del 2015 y la segunda el 25 de enero del 2016, dando un tiempo de aproximadamente 3 meses de diferencia.



Esta carretera se ubica en un terreno plano con varias curvas horizontales, posee cunetas en ambos lados de la vía y presenta un buen bombeo; por lo que facilita a que el agua no quede sobre la superficie de rodamiento. Esta vía fue adoquinada en 4 etapas, desde el 2009 hasta el 2013, inaugurada el 11 de Julio del 2014; pero es hasta la fecha que el MTI aún sigue trabajando en el adoquinado. La población beneficiada con el mejoramiento de esta carretera es de 10103 habitantes.

### Imagen N° 22

Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A kilómetro 3+000



Fuente: Archivo personal

Por su función, esta sección se clasifica como colectora principal y hasta el 2014 su TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) era de 394 vehículos por día (Tabla N° 8). La única señalización horizontal presente en este tramo es la línea central y está hecha a base de pintura base de solvente (caucho clorado).

Hasta la segunda lectura, la retroreflectividad de la línea central era deficiente, ya que estaba por cumplir la vida útil requerida (50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente)

#### Cuadro N° 10

Porcentaje de vehículos que transitan sobre la vía (año 2014). Tramo de referencia Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Porcentaje %</b>
Livianos	59.64
Livianos de pasajeros	4.82
Medianos de carga	34.01
Pesados	0.76
Otros	0.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8

Registro del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) en el tramo de referencia (Quebrada Honda – San Francisco Libre)

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA					
313	NIC-68	2604A	ECS	Mina El Limón - Emp. Mayocunda	2010	66	1	4	40			4	13		5						1	3	1	138				
					2008	24		5	86	2		4	35	1	16		1								1	176		
					2004	2		4	18			1	5	1													31	
					2002	7		2	4				1			2										10	28	
314	NIC-70A	7001	ECS	Quebrada Honda (Inter Nio-1) - San. Francisco Libre	2014	119	15	10	91			19	51	80	3		2					1	3	394				
					2007	25	6	23	71	1		14	27	58	2		2					1			4	234		
					2004	15	6	18	76	2		14	18	39	3		2						1			3	196	
					2002	17	4	16	71	1	1	10	19	44	1		1						1			4	190	
					2000	7	2	19	54			5	5	44	3									2			3	145
					1996	8	13	13	42	1	2	8	7	23	3									1	3	1	125	
315	NIC-70A	7009	ECS	San Francisco Libre - Emp. San Benito	2008	101	2	5	36		1	2	10	17	1		3							178				
					2000	19	1	7	32			5	4	31	1		1					1			1	104		
316	NIC-70A	7010	ECS	Emp. San Benito - Laurel Galán - Los Zarzales	2008	104	1	5	38			2	7	22	1		2						1	183				
					2000	17		4	26			2	5	24	1		1					1			1	84		
317	NIC-70B	7011	ECS	Emp. Hda. San Jacinto (Inter NIC-1) - Hda. San Jacinto	2007	2	5	7	25				5	3									2	49				
					2004	1	5	12	13	2			11	3											2	48		
318	NIC-71	7101	ECD	La Curva - Las Miradas	2014	111	76	31	149	3	1	46	90	90	6		18						4	625				
					2010	72	55	18	148	2		39	92	56	2		17									4	501	
					2007	73	62	27	151	3		41	81	79			15									4	536	
					2004	31	78	26	142		4	38	67	50	5		7									1	450	
					2001	12	23	26	106		1	39	51	89	5		9						0	0		1	363	

Fuente: Anuario de aforos de trafico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)

#### 4.3 Resumen de la caracterización de los tramos de estudio y de referencia.

Tabla N° 9

Descripción de los tramos de estudio y referencia

		Población	TPDA	Año TPDA	Tipo de Superficie	Tipo de Terreno	Tipo de pintura	Estado de la señalización	Clasificación Funcional
<b>Tramos de estudio</b>	Carretera vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 24+000Km)	36027	2503	2009	Concreto Hidráulico	Ondulado	Termoplástico	Eficiente	Troncal Principal
	Carretera vieja a León NIC - 12A (60+000Km - 62+500Km)	35288	826	2009	Concreto Asfáltico	Ondulado	Base solvente	Eficiente	Troncal Principal
	Empalme a Zambrano - Tisma NIC - 27 (28+000Km - 32+900Km)	128840	949	2014	Adoquín	Plano	Base solvente	Deficiente	Colectora Principal
	La Virgen - San Juan del Sur NIC 16 (123+000Km - 124+900Km)	40769	3112	2014	Concreto Asfáltico	Plano	Base solvente	Eficiente	Troncal Secundaria
<b>Tramos de referencia</b>	Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km - 32+500Km)	162868	4800	2014	Concreto Hidráulico	Ondulado	Termoplástico	Eficiente	Troncal Principal
	Jinotepe - Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km - 61+000Km)	42179	2602	2012	Concreto Asfáltico	Plano	Base solvente	Deficiente	Troncal Principal
	Quebrada Honda - San Francisco Libre NIC - 70A (1+000Km - 4+900Km)	10103	394	2012	Adoquín	Plano	Base solvente	Deficiente	Colectora Principal

Fuente: MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura). División de administración vial.

## V – Metodología de trabajo

### 5.1 Trabajo de campo

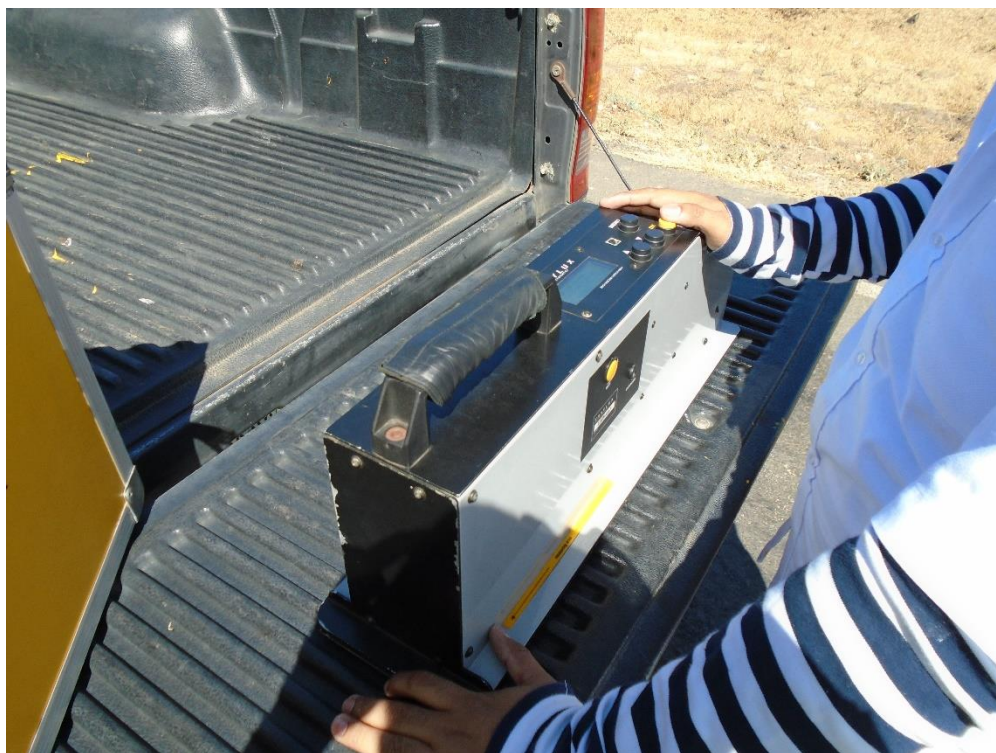
#### 5.1.1 Toma de las lecturas del coeficiente de retroreflectividad en la carretera

Para realizar la toma de las muestras, se conformó un equipo de trabajo compuesto por un operador (el que manipulaba el retroreflectómetro horizontal), un anotador y el conductor de la camioneta. Para calcular el coeficiente de retroreflectividad en la señalización horizontal, se procedió a trabajar de la siguiente manera.

Antes de realizar las mediciones se calibraba el retroreflectómetro horizontal, siguiendo las instrucciones del dispositivo.

Imagen N° 23

Calibrando el retroreflectómetro horizontal.



Fuente: Archivo personal



## Imagen N° 24

Tomando lecturas con el retroreflectómetro horizontal. Carretera Vieja a León  
NIC - 12A kilómetro 22+100



Fuente: Archivo personal

Con la ayuda de un odómetro integrado en la camioneta, se marcó con un spray la estación en donde se tomó la lectura con el equipo. Esto se hizo con el propósito de tener una mayor precisión en los datos a recolectar y no perder el lugar exacto donde se tomó la medición.

Imagen N° 25

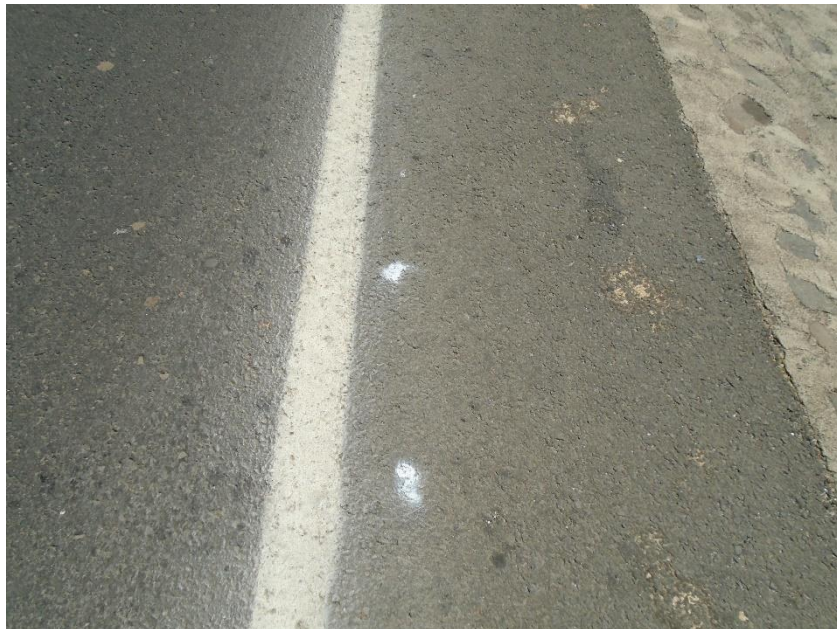
Empalme Zambrano – Tisma NIC 27. Estación 30+500km



Fuente: Archivo personal

Imagen N° 26

Carretera Vieja a León NIC – 12A. Estación 63+415km



Fuente: Archivo personal



Todos los pasos anteriormente descritos, se realizaron en los tramos de estudio y en los tramos de referencia.

### 5.1.2 Especificaciones técnicas del equipo a utilizar

El retroreflectómetro horizontal que se usó en este estudio, es de la marca EASYLUX, el cual cuenta con las siguientes características:

- Evalúa simultáneamente la visibilidad nocturna ( $R_L$ ) y la visibilidad durante el día ( $Q_d$ ).
- Registra la temperatura ambiente y la humedad relativa en cada medición.
- Disponible para geometría de 15 metros y de 30 metros.
- El área de medición es de 90mm x 170mm.
- Memoria con capacidad de 4000 lecturas.
- Dimensiones compactas 590mm x 160mm x 260mm.
- Peso del equipo 5.5kg
- Peso con estuche de transporte 15kg.
- Temperatura de trabajo  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$
- Cumple con las normas internacionales EN 1436 ( $R_L$  y  $Q_d$ ), ASTM E1710 ( $R_L$ ), ASTM E2177 ( $R_L$  en condición húmeda) y ASTM E2302 ( $Q_d$ ).

Imagen N° 27

Retroreflectómetro horizontal EASYLUX.



Fuente: [easylux.com.br](http://easylux.com.br)

## 5.2 Selección de la muestra

### 5.2.1 Media aritmética

Para conocer el coeficiente de luminancia retrorreflejada ( $R_L$ ) en cada tipo de línea (línea de borde y línea central), se calculó el promedio por kilómetro de las lecturas hechas en las mediciones de campo.

Con esos promedios anteriormente obtenidos, se procedió a determinar su media aritmética y finalmente ese valor será el coeficiente de luminancia retrorreflejada ( $R_L$ ).

La media aritmética es el valor obtenido al sumar un conjunto de datos y dividir el resultado entre el número total de datos y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n X_i}{N}$$

donde,

- $X_i$  = promedio de las lecturas por kilómetro, en cada tipo de línea.
- $N$  = número total de promedios calculados.
- $n$  = número de promedios calculados por kilómetro.
- $\bar{x}$  = media aritmética

### 5.3 Pronóstico mediante el análisis de tendencia por mínimos cuadrados

Una manera de describir la tendencia, es ajustar visualmente una recta a un conjunto de puntos de una gráfica. Por ese motivo se trabajó con el método de los mínimos cuadrados, ya que permitió encontrar la ecuación de la recta de mejor ajuste, para los datos obtenidos en los levantamientos de campo.

Ecuación para estimar una recta

$$\hat{Y} = a + bX$$

donde,

- $\hat{Y}$  = valor estimado de la variable dependiente
- $X$  = variable independiente (tiempo en el análisis de tendencia que está dado en meses)
- $a$  = ordenada  $Y$
- $b$  = pendiente de la recta de tendencia

Los estadísticos han desarrollado dos ecuaciones que podemos utilizar para encontrar la pendiente y la ordenada  $Y$  de la recta de regresión de mejor ajuste. La primera fórmula calcula la pendiente

Pendiente de la recta de regresión de mejor ajuste

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

donde,

- $Y$  = valores de la variable dependiente
- $X$  = valores de la variable independiente
- $\bar{Y}$  = media de los valores de la variable dependiente
- $\bar{X}$  = media de los valores de la variable independiente
- $n$  = número de datos en la serie de tiempo

La siguiente fórmula calcula la ordenada  $Y$  de la recta, cuya pendiente ( $b$ ) se calculó usando la anterior ecuación.

Ordenada Y de la recta de regresión de mejor ajuste

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

donde,

- a = ordenada Y
- b = pendiente calculada de la anterior ecuación.

El error estándar de estimación

Para medir la confiabilidad de la ecuación de estimación, los especialistas en estadística han desarrollado el error estándar de la estimación. El error estándar de estimación mide la variabilidad o dispersión de los valores observados alrededor de la recta de regresión.

Error estándar de estimación

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum(Y)^2 - a \sum Y - b \sum XY}{n - 2}}$$

- $S_e$  = error estándar de estimación
- Y = valores de la variable dependiente
- X = valores de la variable independiente
- a = ordenada Y previamente calculada
- b = pendiente de la ecuación de estimación
- n = número de puntos utilizados para ajustar la línea de regresión

Mientras más grande sea el error estándar de la estimación, mayor será la dispersión de los puntos alrededor de la línea de espera. De manera inversa, si el error estándar de estimación es igual a 0, esperamos que la ecuación sea un estimador “perfecto” de la variable dependiente. En este caso, todos los puntos caerían directamente sobre la línea de regresión y no habría puntos dispersos alrededor.

### 5.3.1 Intervalo de confianza

Un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

Para este estudio se usó la distribución “t” de Student para evitar inexactitudes por el tamaño de la muestra. La distribución “t” de Student es apropiada cuando “n” (número de datos en la serie de tiempo) es menor que 30 y la desviación estándar no se conoce.

Calculo del intervalo de confianza

$$\hat{Y} + t (S_e) = \text{Límite superior del intervalo}$$

$$\hat{Y} - t (S_e) = \text{Límite inferior del intervalo}$$

donde,

- $\hat{Y}$  = valor estimado de la variable dependiente
- $(S_e)$  = error estándar de estimación
- $t$  = valor t de student.

### 5.3.2 Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación ( $r$ ) es un índice que mide el grado de variación entre distintas variables relacionadas linealmente. Dicho coeficiente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} * \sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}}$$

donde,

- $Y$  = valores de la variable dependiente
- $X$  = valores de la variable independiente
- $n$  = número de datos en la serie de tiempo

El valor del coeficiente de correlación debe estar en el intervalo de -1 a +1, lo que indica que todos los puntos están sobre una línea recta.

Si el coeficiente de correlación es igual a 0, quiere decir que el conocimiento de la variable independiente "X" no ayuda en la predicción de la variable "Y", lo que significa que el análisis no es válido.

## **VI – Análisis y comparación de las muestras obtenidas en los tramos de estudio y referencia**

Tanto en los tramos de estudio como en los de referencia, las muestras se calcularon a partir de la aplicación de la media aritmética a las lecturas de retroreflectividad obtenidas en la señalización horizontal, mediante el uso del retroreflectómetro horizontal.

Hay que recordar que en las secciones de estudio se tomaron 4 muestras mensuales, con la finalidad de aplicar el método de los mínimos cuadrados para así conocer la ecuación de pronóstico, la que indica el tiempo en que la demarcación vial cumplirá su vida útil. Mientras que en los tramos de referencia solo se tomaron 2 muestras, con el propósito de conocer la degradación mensual de la retroreflectividad.

### **6.1 Tramo de estudio: Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km) y Tramo de referencia: Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km – 32+500Km)**

En ambas secciones, la superficie de rodamiento es de concreto hidráulico y el material de la señalización horizontal es de pintura termoplástica. Pero en la pista de circunvalación Masaya, las líneas de borde están asentadas sobre concreto asfáltico.

El manual centroamericano de dispositivos uniformes de control de tránsito dado por el SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamérica) establece que, para la señalización horizontal hecha de pintura termoplástica, la retroreflectividad mínima requerida para la línea blanca es de 150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> y para la línea amarilla es de 100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> (cuadro N° 1). Si la retroreflectividad de la demarcación es menor a la reflectividad mínima requerida, la línea deberá de pintarse nuevamente.

Tabla N° 11

<b>Muestras de la línea de borde derecha</b>				
<b>Tramo de estudio</b>			<b>Tramo de referencia</b>	
<b>N°</b>	<b>Fecha de la lectura</b>	<b>Muestra calculada (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>Fecha de la lectura</b>	<b>Muestra calculada (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>
1	18 de diciembre del 2015	453	13 de febrero del 2015	386.33
2	22 de enero del 2016	398.87	15 de diciembre del 2015	243.83
3	23 de febrero del 2016	382.4		
4	21 de marzo del 2016	397		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 11, se observa que en las muestras calculadas en el tramo de estudio solo en la cuarta lectura hubo un incremento en la retroreflectividad. Esto se debe a que, en la señalización horizontal hecha de pintura termoplástica, se presentan microesferas premezcladas en el material. Por lo que a medida que esta se desgasta van aflorando las microesferas, haciendo que la retroreflectividad en la demarcación se mantenga eficiente.

A diferencia de la sección de estudio, las muestras obtenidas en la sección de referencia presentaron una disminución en la retroreflectividad de 142.5 mcd/lux/mts<sup>2</sup>(este dato es el resultado de la resta entre la segunda y primera medición), en un período de 10 meses entre ambas lecturas.

Ninguno de los datos calculados está por debajo de la retroreflectividad mínima requerida (150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de termoplástico).



Tabla N° 12

Muestras de la línea de borde izquierda				
Tramo de estudio			Tramo de referencia	
N°	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
1	18 de diciembre del 2015	384.33	13 de febrero del 2015	376.08
2	22 de enero del 2016	328.47	15 de diciembre del 2015	201.8
3	23 de febrero del 2016	331		
4	21 de marzo del 2016	350.8		

Fuente: Elaboración propia

Analizando la tabla N° 12, la tercera y cuarta muestra calculada en la sección de estudio, mantuvieron un incremento en su retroreflectividad. A como se explicó anteriormente en el caso de la línea de borde derecha, este aumento se debe al afloramiento de las microesferas premezcladas en la pintura termoplástica.

Pero en esta situación, como los datos calculados en el tramo de estudio no tienen un comportamiento decreciente, no se aplicó el método de los mínimos cuadrados, el cual hubiese permitido conocer la degradación de la retroreflectividad en esta demarcación vial. En el tramo de referencia hubo una disminución en la retroreflectividad de 174.28 mcd/lux/mts<sup>2</sup>(esta cantidad es el resultado de la resta entre la segunda y primera medición) en un tiempo de 10 meses entre ambas lecturas.

Ninguna de las muestras calculadas está por debajo del parámetro solicitado (150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de termoplástico).

Tabla N° 13

Muestras de la línea central				
Tramo de estudio			Tramo de referencia	
N°	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
1	18 de diciembre del 2015	158.27	13 de febrero del 2015	113.25
2	22 de enero del 2016	130.47	15 de diciembre del 2015	135.83
3	23 de febrero del 2016	121.67		
4	21 de marzo del 2016	122		

Fuente: Elaboración propia

En el tramo de estudio, la degradación de la retroreflectividad fue constante, a excepción de un leve aumento en la cuarta muestra. Para los datos calculados del tramo de referencia, se dio un incremento de 22.58 mcd/lux/mts<sup>2</sup>(esta cifra es el resultado de la resta entre la segunda y primera medición); esto indica que la retroreflectividad en la línea central no tuvo ninguna variación significativa, 10 meses después que se realizó la primera medición.

Hasta la última lectura que se realizó en ambas secciones, las muestras calculadas estaban por cumplir su vida útil requerida (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de termoplástico). En comparación con las muestras obtenidas en las líneas de borde, los datos de esta demarcación son mucho menores. El motivo de este comportamiento es que la línea central está más expuesta a una fricción constante provocada por el flujo vehicular.

**6.2 Tramo de estudio 1: Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km – 62+500Km), Tramo de estudio 2: La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000km – 124+900km) y Tramo de referencia: Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km – 61+000Km)**

La superficie de rodamiento en las tres secciones es de concreto asfáltico y la señalización horizontal está hecha de pintura base solvente.

El manual centroamericano de dispositivos uniformes de control de tránsito dado por el SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamérica) establece que, para la señalización horizontal hecha de pintura base solvente, la retroreflectividad mínima requerida para la línea blanca es de  $100 \text{ mcd/lux/mts}^2$  y para la línea amarilla es de  $50 \text{ mcd/lux/mts}^2$  (cuadro N° 1). Si la retroreflectividad de la demarcación es menor a la reflectividad mínima requerida, la línea deberá de pintarse nuevamente.

Tabla N° 14

Muestras de la línea de borde derecha						
Tramo de estudio 1			Tramo de estudio 2		Tramo de referencia	
N°	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
1	18 de diciembre del 2015	197.67	29 de junio del 2015	146.83	5 de junio del 2014	219
2	22 de enero del 2016	166.44	29 de julio del 2015	161	13 de marzo del 2015	64.3
3	23 de febrero del 2016	152.22	8 de septiembre del 2015	133.66		
4	21 de marzo del 2016	143.11	14 de octubre del 2015	123		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15

Muestras de la línea de borde izquierda						
Tramo de estudio 1			Tramo de estudio 2		Tramo de referencia	
N°	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
1	18 de diciembre del 2015	208	29 de junio del 2015	147.16	5 de junio del 2014	230
2	22 de enero del 2016	171.33	29 de julio del 2015	140	13 de marzo del 2015	154.3
3	23 de febrero del 2016	164.33	8 de septiembre del 2015	137.16		
4	21 de marzo del 2016	166.78	14 de octubre del 2015	135		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 14, todas las muestras en el tramo de estudio 1 disminuyeron de forma constante. A excepción del tramo de estudio 2, que en el segundo dato calculado se registró un aumento, pero que en las siguientes lecturas la retroreflectividad disminuyó gradualmente.

De acuerdo a la normativa requerida, solo la línea de borde derecha ubicada en la sección de referencia, necesita ser repintada. Ya que la retroreflectividad en la segunda muestra calculada está muy por debajo de la vida útil requerida (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de pintura base solvente).

Haciendo un análisis en la tabla N° 15, se observa que todas las muestras tienen un decrecimiento constante en su retroreflectividad. Pero solamente que en el cuarto dato calculado en el tramo de estudio 1, hubo un leve aumento en la retroreflectividad.

Hasta el momento en el que se realizó la última lectura, ninguno de los datos calculados es menor al parámetro solicitado (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de pintura base solvente).

A como sucedió en la línea de borde derecha de la sección de estudio 2 (tabla N° 14), en la línea central de la tabla N° 16 se registró un incremento de la retroreflectividad en la segunda lectura del tramo de estudio 2, pero que con el paso del tiempo disminuyó poco a poco.

En base a la normativa, el segundo dato calculado de la línea central del tramo de referencia estaba por cumplir su vida útil (68.67 mcd/lux/mts<sup>2</sup>). Ya que la retroreflectividad mínima permitida para la línea amarilla de base solvente es de 50 mcd/lux/mts<sup>2</sup>.

Tabla N° 16

Muestras de la línea central						
Tramo de estudio 1			Tramo de estudio 2		Tramo de referencia	
N°	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	Fecha de la lectura	Muestra calculada (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
1	18 de diciembre del 2015	136.67	29 de junio del 2015	117.83	5 de junio del 2014	124.8
2	22 de enero del 2016	124	29 de julio del 2015	134.16	13 de marzo del 2015	68.67
3	23 de febrero del 2016	113.67	8 de septiembre del 2015	110.17		
4	21 de marzo del 2016	98.44	14 de octubre del 2015	100.66		

Fuente: Elaboración propia

**6.3 Tramo de estudio: Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000km – 32+900km) y Tramo de referencia: Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)**

La superficie de rodamiento en los dos tramos (estudio y referencia) es de adoquín y la única señalización horizontal presente es la línea central, la cual está hecha de pintura base solvente.

Tabla N° 17

<b>Muestras de la línea central</b>				
<b>Tramo de estudio</b>			<b>Tramo de referencia</b>	
<b>N°</b>	<b>Fecha de la lectura</b>	<b>Muestra calculada (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>Fecha de la lectura</b>	<b>Muestra calculada (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>
1	7 de enero del 2016	67.93	2 de octubre del 2015	104.75
2	9 de febrero del 2016	67.87	25 de enero del 2016	75.17
3	8 de marzo del 2016	58.2		
4	5 de abril del 2016	57.8		

Fuente: Elaboración propia

Aunque en ambas secciones la retroreflectividad disminuye constantemente, las muestras calculadas en el tramo de referencia son mucho mayores a los datos calculados en la sección de estudio.

Esto es debido a que en la sección de referencia, la vía está muy limpia y tiene un TPDA (Transito Promedio Diario Anual) de 394 vehículos por día (tabla N° 8). A diferencia de la sección de estudio, donde hay mucha suciedad presente sobre el adoquinado (tierra y heces fecales) y el TPDA es de 949 vehículos por día.

Por los motivos anteriormente descritos, la cuarta muestra en el tramo de estudio estaba por cumplir su vida útil, porque la retroreflectividad mínima permitida para la línea amarilla de pintura base solvente, es de 50 mcd/lux/mts<sup>2</sup>.

## VII – Análisis de las proyecciones calculadas

Con las muestras calculadas en los tramos de estudio, se aplicó el método de los mínimos cuadrados para conocer la ecuación de tendencia. Dicha ecuación indica hasta cuando la señalización horizontal deberá ser repintada.

La vida útil calculada para la demarcación vial en las secciones de estudio, es el resultado de la suma del tiempo que pasó desde que fue pintada la señalización (líneas de borde y línea central) hasta el momento en que cumplirá la retroreflectividad mínima requerida. Para ver con mayor detalle el proceso anteriormente descrito, consulte los anexos en el capítulo de **Ecuaciones**.

En el caso de los datos obtenidos en los tramos de referencia, se procedió a estimar la disminución por mes de la retroreflectividad; el cual es el producto de la resta de la segunda muestra menos la primera muestra, dividido entre el tiempo en que se realizaron ambas lecturas.

Conocido el decrecimiento por mes, la vida útil calculada para la señalización horizontal en las secciones de referencia; es el resultado de la suma de los meses que transcurrieron desde que fue pintada la demarcación hasta el momento en el que alcanza la retroreflectividad mínima permitida. Para ver el paso a paso del trabajo anteriormente explicado, consulte los anexos en el capítulo de **Tablas**.



## 7.1 Señalización horizontal de termoplástico en concreto hidráulico

Tabla N° 18

Tipo de línea	Vida útil calculada	
	Tramo de estudio: Carretera Vieja a León NIC - 12A (19+000Km - 23+900Km)	Tramo de referencia: Pista de circunvalación Masaya NIC - 4B (29+000Km – 32+500Km)
Línea de borde derecha	2 años y 2 meses	2 años y 7 meses
Línea de borde izquierda	-	2 años y 3 meses
Línea central	1 año y 3 meses	mayor a los 2 años
TPDA	2503 (2009)	4800 (2014)

Fuente: Elaboración propia

En la línea de borde izquierda del tramo de estudio no se pudo determinar la vida útil, ya que las muestras en esta sección no tenían un comportamiento decreciente, a como se demuestra en la tabla N°12.

Tampoco se pudo conocer la durabilidad de la retroreflectividad de la línea central en el tramo de referencia, porque en la segunda lectura se registró un aumento en la muestra (135.83 mcd/lux/mts<sup>2</sup>) en comparación con la primera lectura (113.25 mcd/lux/mts<sup>2</sup>). Hay que considerar que cuando se realizó la segunda medición, la línea central tenía 2 años de estar pintada desde que se inauguró la Pista de circunvalación Masaya. Por lo que su vida útil es mayor a 2 años.

Ambas vías presentan un excelente drenaje (cunetas sin grietas, escalonamiento o desgaste) y el terreno es sinuoso, aunque en la sección de referencia circulan más vehículos que en el tramo de estudio. Aun así, la durabilidad de la retroreflectividad en la línea central del tramo de referencia, es mayor al tramo de estudio. Por lo que queda demostrado, que hubo una mala aplicación de la pintura termoplástica en la Carretera Vieja a León.

## **7.2 Señalización horizontal de pintura acrílica (base solvente) en concreto asfáltico**

En base a la tabla N°19, se demuestra que lo menos que dura la retroreflectividad para una línea de borde hecha con pintura base solvente son 8 meses (Jinotepe - Empalme el Grajinan).

Aunque que, en el tramo de Carretera Vieja a León, circulan menos vehículos (TPDA de 826 vehículos por día), la vida útil de la demarcación vial es menor en comparación con los demás tramos. (La Virgen – San Juan del sur, Jinotepe – Empalme el Grajinan).

Un motivo de este comportamiento, es la alta presencia de curvas verticales (curvas en cresta y curvas en columpio) a lo largo de esta vía. En contraste con las demás secciones, que se asientan en terrenos planos. Otra posible causa, es que haya sido la mala aplicación de la señalización horizontal sobre el pavimento, lo que provocó que la retroreflectividad sea muy deficiente.

Tabla N° 19

Tipo de línea	Vida útil calculada		
	Tramo de estudio: Carretera Vieja a León NIC - 12A (60+000Km – 62+500Km)	Tramo de estudio: La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000km – 124+900km)	Tramo de referencia: Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (62+500Km – 61+000Km)
Línea de borde derecha	9 meses	9 meses	8 meses
Línea de borde izquierda	11 meses	1 año y 3 meses	1 año y 5 meses
Línea central	11 meses	1 año y 2 meses	1 año y 1 mes
TPDA	829 (2009)	3112 (2014)	2602 (2012)

Fuente: Elaboración propia

### 7.3 Señalización horizontal de pintura acrílica (base solvente) en adoquín

Tabla N° 20

Tipo de línea	Vida útil calculada	
	Tramo de estudio: Empalme a Zambrano – Tisma NIC - 27 (28+000km – 32+900km)	Tramo de referencia: Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)
Línea central	8 meses	1 año y 10 meses
TPDA	949 (2014)	394 (2012)

Fuente: Elaboración propia

En las dos secciones, la única demarcación presente es la línea central. La vida útil calculada en el tramo de referencia es mucho mayor al tramo de estudio, porque la vía presente es más limpia, el adoquinado es nuevo y el TPDA es muy bajo (394 vehículos por día). Pero en la sección del Empalme a Zambrano – Tisma, había una mayor suciedad sobre el pavimento y transitan más vehículos sobre esta vía (949 vehículos por día)

Además, otra causa que la durabilidad de la retroreflectividad en el tramo de estudio se de tan solo 8 meses, es que la empresa encargada de hacer la demarcación, no limpió el adoquinado antes de pintar. Una prueba de lo anteriormente descrito está en las imágenes N° 13 y N° 28.

Imagen N° 28

Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 kilómetro 31+500



Fuente: Archivo personal

Desprendimiento de la pintura en la línea central por haber sido demarcada sobre excremento.

## VIII – Conclusiones

Ahora que se conoce la vida útil de cada material usado en la señalización horizontal (termoplástico y pintura acrílica base solvente) en los distintos tipos de superficie de rodamiento (concreto hidráulico, concreto asfáltico, adoquín), se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- La vida útil para la línea de borde de termoplástico en una superficie de concreto asfáltico o hidráulico y con una clasificación funcional de Troncal Principal, es de 2 años con 7 meses como máximo y 2 años con 2 meses como mínimo.
- La durabilidad de la retroreflectividad permitida para la línea central de termoplástico en una superficie de concreto hidráulico y con una clasificación funcional de Troncal Principal, es de 2 años como máximo y 1 año con 3 meses como mínimo.
- La vida útil para la línea de borde de pintura acrílica (base solvente) en una superficie de concreto asfáltico y con una clasificación funcional de Troncal Principal o Troncal Secundaria, es de 1 año con 5 meses como máximo y 8 meses como mínimo.
- La durabilidad de la retroreflectividad permitida para la línea central de pintura acrílica (base solvente) en una superficie de concreto asfáltico y con una clasificación funcional de Troncal Principal o Troncal Secundaria, es de 1 año con 2 meses como máximo y 11 meses como mínimo.
- Para una línea central de pintura acrílica (base solvente) en un adoquinado nuevo, en una zona sin población adyacente al camino y con una clasificación funcional de Colectora Principal, la durabilidad de la retroreflectividad mínima mantenida es de 1 año con 10 meses.
- Para una línea central de pintura acrílica (base solvente), en una zona semi rural, con ganado en pie circulando sobre la carretera todos los días y con una clasificación funcional de Colectora Principal, la durabilidad de la retroreflectividad mínima mantenida es de apenas 8 meses.

- La demarcación vial que tienes menos vida útil es la línea central, ya que está más expuesta a la fricción de las llantas provocada por el flujo vehicular.
- La eficiencia de la retroreflectividad de la señalización horizontal hecha de pintura termoplástica, es superior a la de pintura acrílica de base solvente.
- En la mayoría de los tramos de referencia, el estado la señalización horizontal era muy deficiente a diferencia de los tramos de estudio; donde solo una sección tenía una retroreflectividad debajo de los límites permitidos (Tabla N° 9).

## **IX – Recomendaciones**

- Debido a que los tramos de estudio y de referencia seleccionados para esta monografía se encuentran ubicados en la zona del pacifico; se recomienda repetir este estudio en la zona central y caribe del país, para conocer el comportamiento que tiene la retroreflectividad en las demarcaciones de dichas carreteras ubicadas en esas regiones.
- Antes de realizar las lecturas con el retroreflectómetro horizontal, es de carácter obligatorio llevar puesto chaleco y polainas reflectivas.
- Se sugiere agregar un miembro más al equipo de trabajo (operador, anotador, conductor), que se encargue de desviar el tránsito mientras se mide la retroreflectividad sobre la señalización horizontal.
- Jamás se debe emplear el retroreflectómetro horizontal sobre una carretera en la que recién terminó de llover. Puesto que el agua presente en el pavimento interfiere en la retroreflectividad que se da en las microesferas. Esto hace que la señalización horizontal (líneas de borde y línea central) se vuelva difusa en vez de retroreflectiva.



## **X – Bibliografía**

- Anuario de aforos de tráfico año 2014 MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura). Publicado en junio del 2015.
- Estadística cuarta edición. John E. Freund y Richard Manning Smith.
- Estadística para administración y economía séptima edición. Levin Rubin Balderas y Del Valle Gómez.
- Guide to retroreflection safety principles and retroreflective measurements. Richard L. Austin y Robert J. Smith. Enero del 2009.
- Manual Centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Anexo del acuerdo centroamericano sobre señales viales uniformes. Año 2014.
- Materiales de señalización horizontal y resistencia al deslizamiento. Barcelona 9 de marzo del 2010.
- Teoría de la reflectividad. Ing. Mpp. Daniel Baeta García. Octubre 2011.
- [easylux.com.br](http://easylux.com.br)

# **ANEXOS**

# Ecuaciones

<b>Análisis de tendencia por la recta de los mínimos cuadrados .....</b>	<b>I</b>
<b>Tramo: Carretera Vieja a León NIC – 12A (19+000Km – 24+000Km).....</b>	<b>I</b>
<b>Tramo: Carretera Vieja a León NIC – 12A (60+000Km – 62+500Km).....</b>	<b>XI</b>
<b>Tramo: Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 (28+000Km – 32+900Km) .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Tramo: La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000Km – 124+900Km) .....</b>	<b>XXV</b>

## Análisis de tendencia por la recta de los mínimos cuadrados

Tramo: Carretera Vieja a León NIC – 12A (19+000Km – 24+000Km)

### Línea de borde derecha

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	453	398.87	382.4	397

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	453	453	1	205209
2	398.87	797.74	4	159097.28
3	382.4	1147.2	9	146229.76
4	397	1588	16	157609
ΣX=10	ΣY= 1631.27	ΣXY= 3985.94	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 668145.04

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{1631.27}{4} \quad \bar{Y} = 407.82$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{3985.94 - (4)(2.5)(407.82)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -18.45$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 407.82 - (-18.45)(2.5)$$

$$a = 453.95$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 453.95 - 18.45X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{668145.04 - (453.95)(1631.27) - (-18.45)(3985.94)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 24.19 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right)\left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(3985.94) - (10)(1631.27)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right)\left(\sqrt{(4)(668145.04) - (1631.27)^2}\right)}$$

$$r = -0.77$$

El coeficiente nos indica que el 77% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

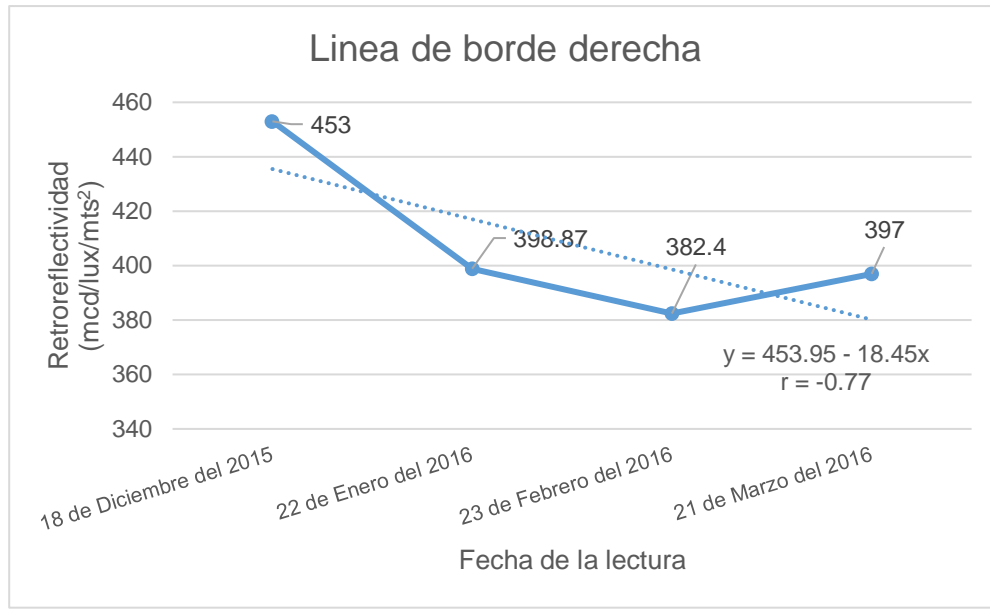


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A  
(19+000Km – 24+000Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de termoplástico).

$$Y = 453.95 - 18.45X$$

$$150 = 453.95 - 18.45X$$

$$X = 16.47 \cong 17 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 453.95 - 18.45(17)$$

$$Y = 140.30 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(24.19)$$

$$\hat{Y} \pm 70.63$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (17 meses después de la primera lectura) será de 140.30 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 210.93 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 69.67 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

### Línea de borde izquierda

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	384.33	328.47	331	350.8

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	384.33	384.33	1	147709.55
2	328.47	656.94	4	107892.54
3	331	993	9	109561
4	350.8	1403.2	16	123060.64
ΣX=10	ΣY= 1394.6	ΣXY= 3437.47	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 488223.73

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{1394.6}{4} \quad \bar{Y} = 348.65$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{3437.47 - (4)(2.5)(348.65)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -9.81$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 348.65 - (-9.81)(2.5)$$

$$a = 373.18$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 373.18 - 9.81X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{488223.73 - (373.18)(1394.6) - (-9.81)(3437.47)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 27.46 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(3437.47) - (10)(1394.6)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(488223.73) - (1394.6)^2}\right)}$$

$$r = -0.49$$

El coeficiente nos indica que solo el 49% de los datos se relacionan entre sí.



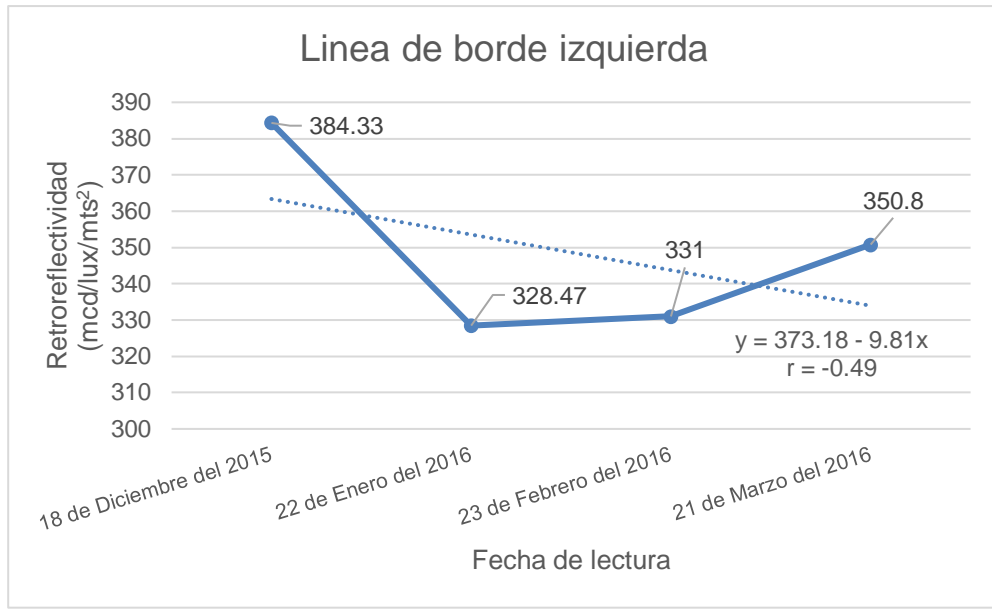


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A  
(19+000Km – 24+000Km)

Por medio del grafico anteriormente mostrado, podemos observar que los datos no se comportan en línea recta, lo que significa que para esta línea de borde izquierda no es posible determinar un pronóstico.

### Línea central

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	158.27	130.47	121.67	122

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	158.27	158.27	1	25049.39
2	130.47	260.94	4	17022.42
3	121.67	365.01	9	14803.59
4	122	488	16	14884
$\Sigma X=10$	$\Sigma Y= 532.41$	$\Sigma XY= 1272.22$	$\Sigma X^2= 30$	$\Sigma Y^2= 71759.4$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{532.41}{4} \quad \bar{Y} = 133.1$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1272.22 - (4)(2.5)(133.1)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -11.76$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 133.1 - (-11.76)(2.5)$$

$$a = 162.5$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 162.5 - 11.7X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{71759.4 - (162.5)(532.41) - (-11.76)(1272.22)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 10.10 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1272.22) - (10)(532.41)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(71759.4) - (532.41)^2}\right)}$$

$$r = -0.88$$

El coeficiente nos indica que el 88% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

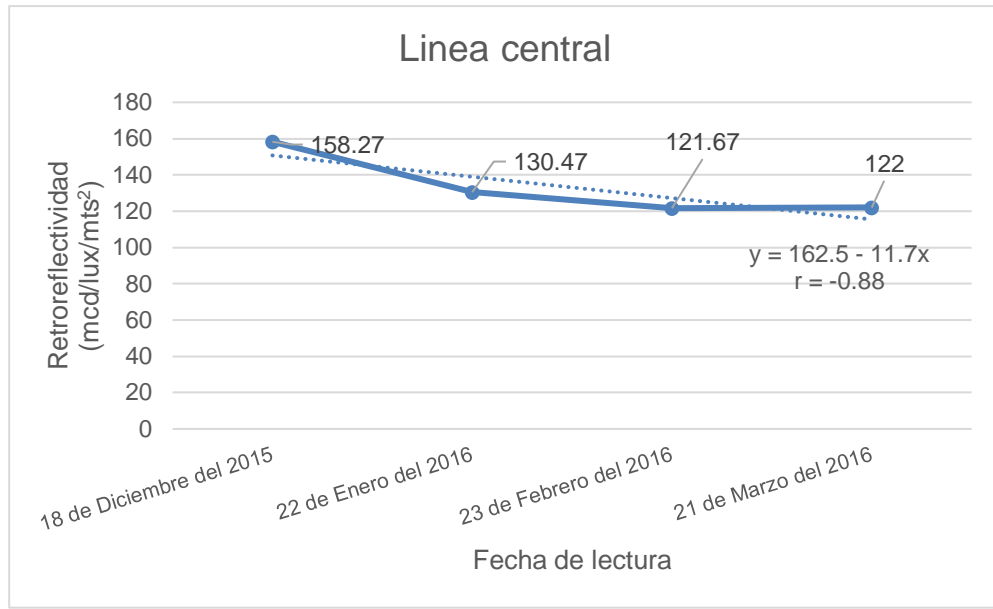


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A  
(60+000Km – 62+500Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal  
(100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de termoplástico).

$$Y = 162.5 - 11.7X$$

$$100 = 162.5 - 11.7X$$

$$X = 5.34 \cong 6 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 162.5 - 11.76(6)$$

$$Y = 91.94 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(10.10)$$

$$\hat{Y} \pm 29.49$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (6 meses después de la primera lectura) será de 91.94 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 121.43 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 62.45 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

**Tramo: Carretera Vieja a León NIC – 12A (60+000Km – 62+500Km)**

**Línea de borde derecha**

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	197.67	166.44	152.22	143.11

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	197.67	197.67	1	39073.43
2	166.44	332.88	4	27702.27
3	152.22	456.66	9	23170.93
4	143.11	572.44	16	20480.47
ΣX=10	ΣY= 659.44	ΣXY= 1559.65	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 110427.10

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{659.44}{4} \quad \bar{Y} = 164.86$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1559.65 - (4)(2.5)(164.86)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -17.79$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 164.86 - (-17.79)(2.5)$$

$$a = 209.34$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 209.34 - 17.79X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{110427.10 - (209.34)(659.44) - (-17.79)(1559.65)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 7.94 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right)\left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1559.65) - (10)(659.44)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right)\left(\sqrt{(4)(110427.10) - (659.44)^2}\right)}$$

$$r = -0.96$$

El coeficiente nos indica que el 96% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

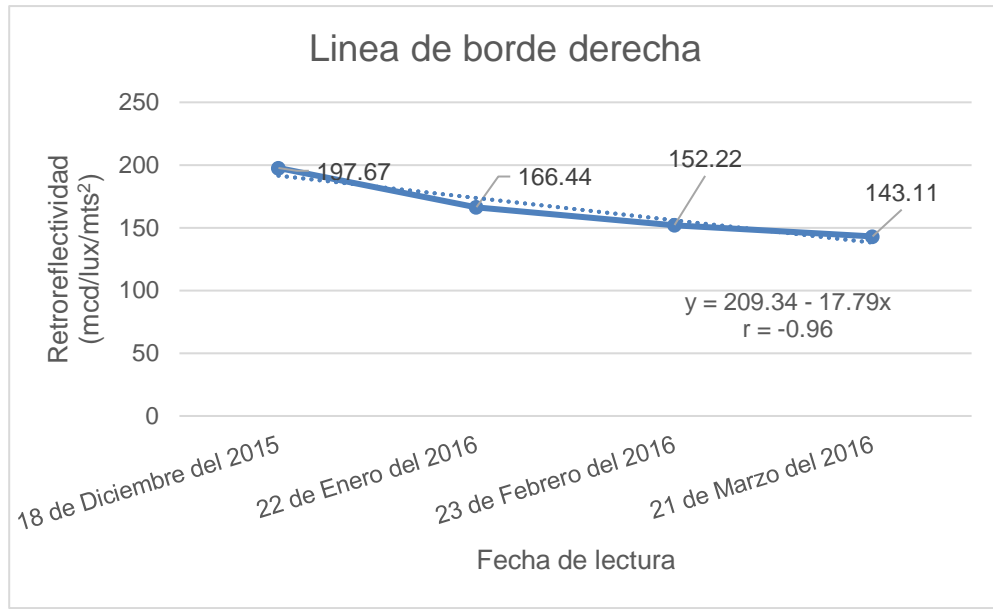


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A (60+000Km – 62+500Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de base solvente).

$$Y = 209.34 - 17.79X$$

$$100 = 209.34 - 17.79X$$

$$X = 6.15 \cong 7 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 209.34 - 17.79(7)$$

$$Y = 84.81 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(7.94)$$



$$\hat{Y} \pm 23.18$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (7 meses después de la primera lectura) será de 84.81 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 107.99 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 61.63 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

### Línea de borde izquierda

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	208	171.33	164.33	166.78

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	208	208	1	43264
2	171.33	342.66	4	29353.97
3	164.33	492.99	9	27004.35
4	166.78	667.12	16	27815.57
ΣX=10	ΣY= 710.44	ΣXY= 1710.77	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 127437.89

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{710.44}{4} \quad \bar{Y} = 177.61$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1710.77 - (4)(2.5)(177.61)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -13.066$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 177.61 - (-13.066)(2.5)$$

$$a = 210.28$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 210.28 - 13.066X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{127437.89 - (210.28)(710.44) - (-13.066)(1710.77)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 14.13 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1710.77) - (10)(710.44)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(127437.89) - (710.44)^2}\right)}$$

$$r = -0.82$$

El coeficiente nos indica que el 82% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

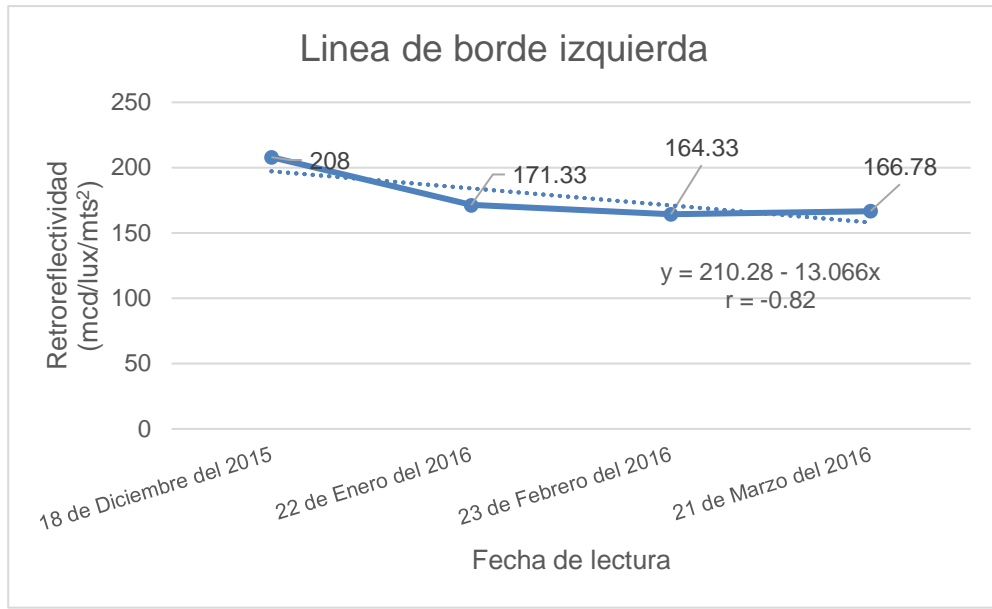


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A (60+000Km – 62+500Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de base solvente).

$$Y = 210.28 - 13.066X$$

$$100 = 210.28 - 13.066X$$

$$X = 8.44 \cong 9 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 210.28 - 13.066(9)$$

$$Y = 92.69 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(14.13)$$

$$\hat{Y} \pm 41.26$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (9 meses después de la primera lectura) será de 92.69 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 133.95 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 51.43 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

### Línea central

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	136.67	124	113.67	98.44

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	136.67	136.67	1	18678.69
2	124	248	4	15376
3	113.67	341.01	9	12920.87
4	98.44	393.76	16	9690.43
ΣX=10	ΣY= 472.78	ΣXY= 1119.44	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 56665.99

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{472.78}{4} \quad \bar{Y} = 118.2$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1119.4 - (4)(2.5)(118.2)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -12.52$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 118.2 - (-12.52)(2.5)$$

$$a = 149.5$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 149.5 - 12.52X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{56665.99 - (149.5)(472.78) - (-12.52)(1119.44)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 0.62 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1119.44) - (10)(472.78)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(56665.99) - (472.78)^2}\right)}$$

$$r = -1$$

El coeficiente nos indica que el 100% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

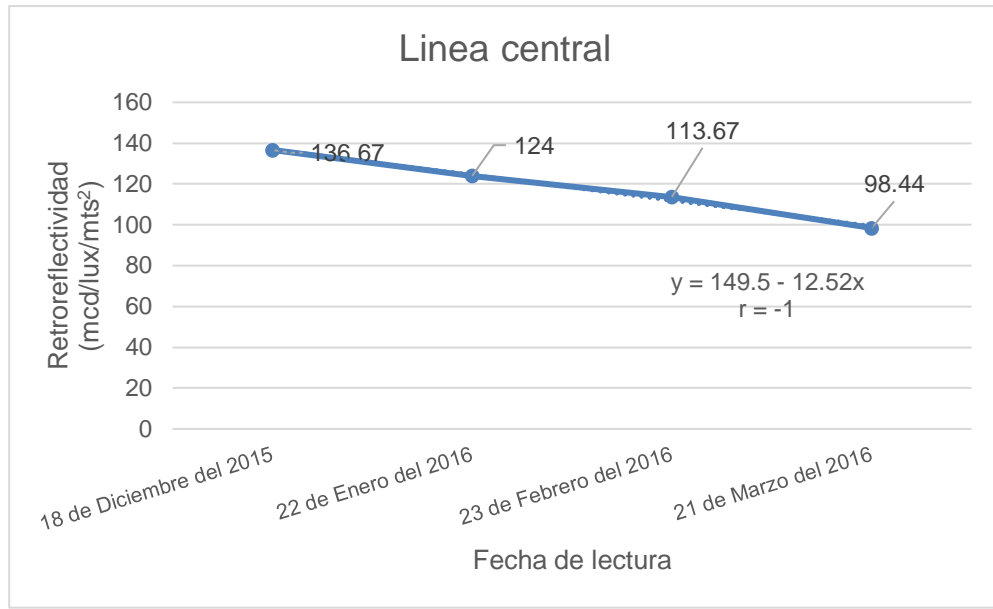


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección carretera vieja a León NIC-12 A (60+000Km – 62+500Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente).

$$Y = 149.5 - 12.52X$$

$$50 = 149.5 - 12.52X$$

$$X = 7.95 \cong 8 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 149.5 - 12.52(8)$$

$$Y = 49.34 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(1)$$

$$\hat{Y} \pm 2.92$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (9 meses después de la primera lectura) será de 49.34 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 52.26 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 46.42 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

**Tramo: Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 (28+000Km – 32+900Km)**

**Línea central**

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	67.93	67.87	58.2	57.8

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	67.93	67.93	1	4614.48
2	67.87	135.74	4	4606.34
3	58.2	174.6	9	3387.24
4	57.8	231.2	16	3340.84
ΣX=10	ΣY= 251.8	ΣXY= 609.47	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 15948.9

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{251.8}{4} \quad \bar{Y} = 62.95$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{609.47 - (4)(2.5)(62.95)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -4.01$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 62.95 - (-4.01)(2.5)$$

$$a = 72.98$$



Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 72.98 - 4.01X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{15948.9 - (72.98)(251.8) - (-4.01)(609.47)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 2.87 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(609.47) - (10)(251.8)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(15948.9) - (251.8)^2}\right)}$$

$$r = -0.90$$

El coeficiente nos indica que el 90% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

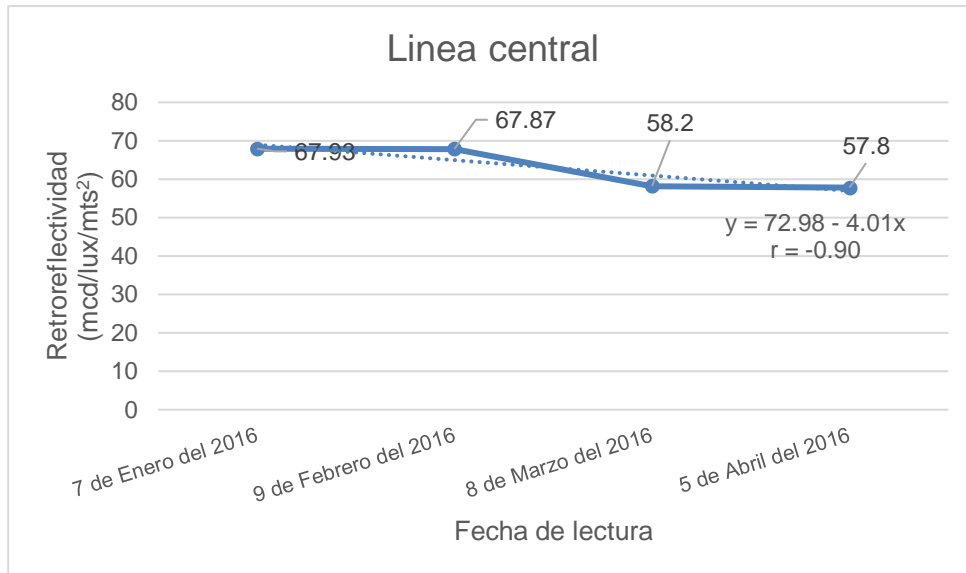


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección Empalme a Zambrano – Tisma  
NIC- 27 (28+000Km – 32+900Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente).

$$Y = 72.98 - 4.01X$$

$$50 = 72.98 - 4.01X$$

$$X = 5.73 \cong 6 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 72.98 - 4.01(6)$$

$$Y = 48.92 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(2.87)$$

$$\hat{Y} \pm 8.38$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (6 meses después de la primera lectura) será de 48.92 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 57.30 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 40.54 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

**Tramo: La Virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000Km – 124+900Km)**

**Línea de borde derecha.**

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	146.83	161	133.66	123

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	146.83	146.83	1	21559.05
2	161	322	4	25921
3	133.66	400.98	9	17865
4	123	492	16	15129
ΣX=10	ΣY= 564.49	ΣXY= 1361.81	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 80474.05

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{564.49}{4} \quad \bar{Y} = 141.12$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1361.81 - (4)(2.5)(141.12)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -9.88$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 141.12 - (-9.88)(2.5)$$

$$a = 165.82$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 165.82 - 9.88X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{80474.05 - (165.82)(564.49) - (-9.88)(1361.81)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 12.75 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1361.81) - (10)(564.49)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(80474.05) - (564.49)^2}\right)}$$

$$r = -0.78$$

El coeficiente nos indica que el 78% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

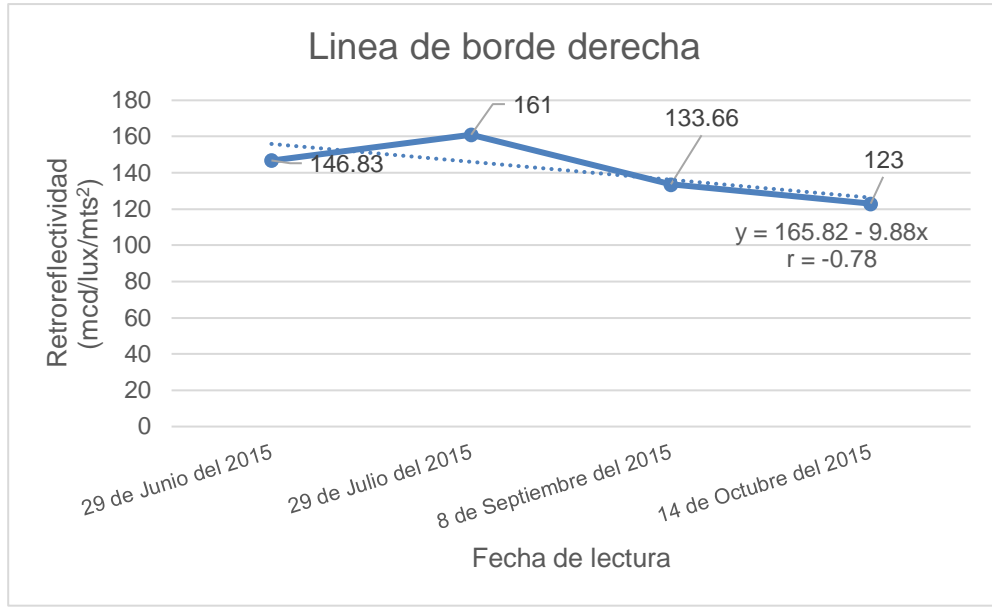


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección La Virgen - San Juan del Sur NIC-16 (123+000Km – 124+900Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de base solvente).

$$Y = 165.82 - 9.88X$$

$$100 = 165.82 - 9.88X$$

$$X = 6.66 \cong 7 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 165.82 - 9.88(7)$$

$$Y = 96.66 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(12.75)$$

$$\hat{Y} \pm 37.23$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (7 meses después de la primera lectura) será de 96.66 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 133.89 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 59.39 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

**Línea de borde izquierda.**

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	147.16	140	137.16	135

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	147.16	147.16	1	21656.07
2	140	280	4	19600
3	137.16	411.48	9	18812.87
4	135	540	16	18225
ΣX=10	ΣY= 559.32	ΣXY= 1378.64	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 78293.94

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{559.32}{4} \quad \bar{Y} = 139.83$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1378.64 - (4)(2.5)(139.83)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -3.93$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 139.83 - (-3.93)(2.5)$$

$$a = 149.66$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 149.66 - 3.93X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y)^2 - a \sum Y - b \sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{78293.94 - (149.66)(559.32) - (-3.93)(1378.64)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 1.44 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right) \left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1378.64) - (10)(559.32)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right) \left(\sqrt{(4)(78293.94) - (559.32)^2}\right)}$$

$$r = -0.96$$

El coeficiente nos indica que el 96% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).



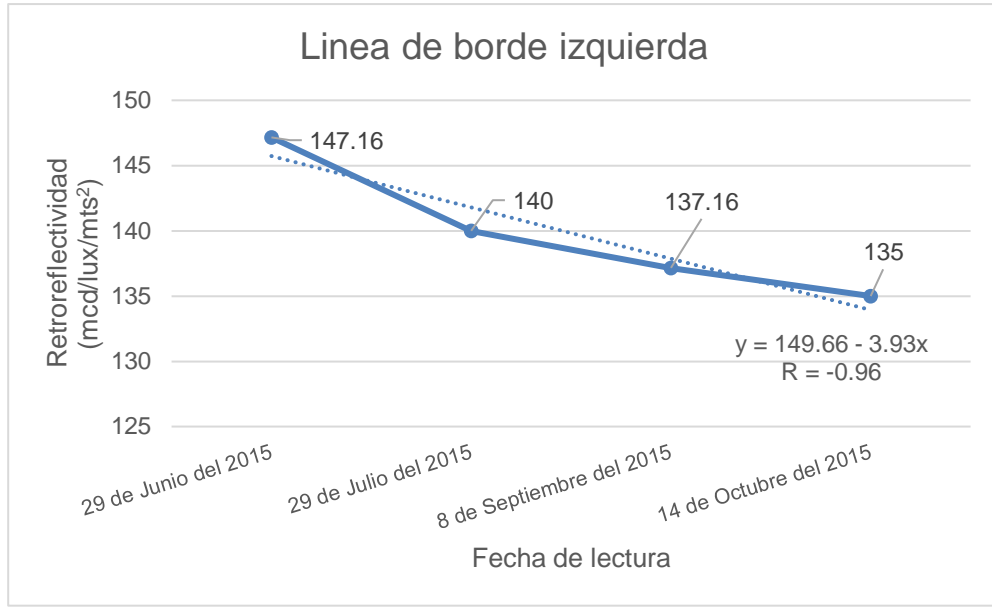


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección La Virgen - San Juan del Sur NIC-16 (123+000Km – 124+900Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de base solvente).

$$Y = 149.66 - 3.93X$$

$$100 = 149.66 - 3.93X$$

$$X = 12.64 \cong 13 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 149.66 - 3.93(13)$$

$$Y = 98.57 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(1.44)$$

$$\hat{Y} \pm 4.20$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (13 meses después de la primera lectura) será de 98.57 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 102.77 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 94.37 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

### Línea central

Mes (X)	1	2	3	4
Retroreflectividad (Y)	117.83	134.16	110.17	100.66

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	117.83	117.83	1	13883.91
2	134.16	268.32	4	17998.91
3	110.17	330.51	9	12137.43
4	100.66	402.64	16	10132.44
ΣX=10	ΣY= 462.82	ΣXY= 1119.3	ΣX <sup>2</sup> = 30	ΣY <sup>2</sup> = 54152.69

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{10}{4} \quad \bar{X} = 2.5$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{462.82}{4} \quad \bar{Y} = 115.71$$

Pendiente de la recta de regresión.

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

$$b = \frac{1119.3 - (4)(2.5)(115.71)}{30 - (4)(2.5)^2}$$

$$b = -7.56$$

Ordenada Y de la recta de regresión.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 115.71 - (-7.56)(2.5)$$

$$a = 134.61$$

Ecuación de la recta de regresión.

$$Y = 134.61 - 7.56X$$

Error estándar de estimación de la recta de regresión.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum(Y)^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{54152.69 - (134.61)(462.82) - (-7.56)(1119.3)}{4 - 2}}$$

$$S_e = 12.54 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Coefficiente de correlación de la recta de regresión.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\left(\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}\right)\left(\sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}\right)}$$

$$r = \frac{(4)(1119.3) - (10)(462.82)}{\left(\sqrt{(4)(30) - (10)^2}\right)\left(\sqrt{(4)(54152.69) - (462.82)^2}\right)}$$

$$r = -0.69$$

El coeficiente nos indica que el 69% de los datos se relacionan entre sí. Por lo que los datos en X (meses) ayudan en la pronosticación de los datos en y (retroreflectividad).

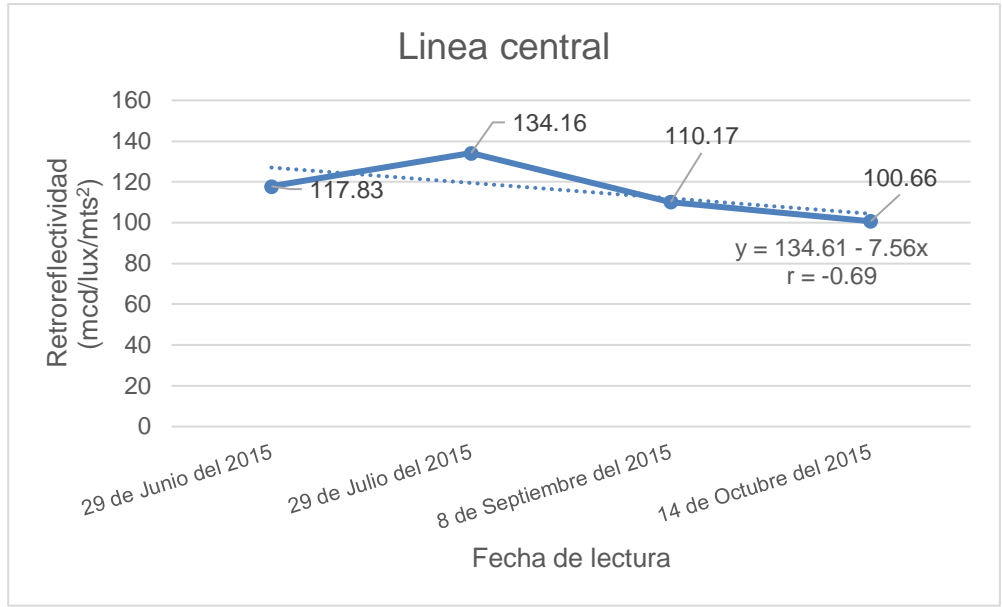


Gráfico de la tendencia de los datos. Sección La Virgen - San Juan del Sur NIC-16 (123+000Km – 124+900Km)

Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente).

$$Y = 134.61 - 7.56X$$

$$50 = 134.61 - 7.56X$$

$$X = 11.19 \cong 12 \text{ meses}$$

Pronosticación de la retroreflectividad al final de su vida útil con una confiabilidad del 90%.

$$Y = 134.61 - 7.56(12)$$

$$Y = 43.89 \text{ mcd/lux/mts}^2$$

Intervalo de confianza de la pronosticación.

$t_{\alpha/2} = 2.92$  (t de student para una confiabilidad del 90%)

$$\hat{Y} \pm t_{\alpha/2} S_e$$

$$\hat{Y} \pm (2.92)(12.56)$$

$$\hat{Y} \pm 36.62$$

Podemos estar 90% seguros, que la retroreflectividad al final de su vida útil (12 meses después de la primera lectura) será de 43.89 mcd/lux/mts<sup>2</sup>, con un intervalo de confianza entre 80.51 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como máximo y 7.27 mcd/lux/mts<sup>2</sup> como mínimo.

# Tablas

<b><i>Obtención de muestras en los tramos de estudio .....</i></b>	<b><i>I</i></b>
Tramo: Carretera Vieja a León NIC -12A (19+000Km – 24+000Km).....	I
Tramo: Carretera Vieja a León NIC -12A (60+000Km – 62+500Km).....	XIV
Tramo: Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 (28+000Km – 32+900Km).....	XXIII
Tramo: La virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000Km – 124+900Km)...	XXVIII
<b><i>Disminución de la retroreflectividad en los tramos de referencia.....</i></b>	<b><i>XXXVII</i></b>
Tramo: Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B (29+000Km – 32+500Km)	XXXVII
Tramo: Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (63+000Km – 61+000Km) .....	XLV
Tramo: Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km) .....	LI

**Obtención de muestras en los tramos de estudio**

**Tramo: Carretera Vieja a León NIC -12A (19+000Km – 24+000Km)**

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
19+000	BANDA DERECHA	5	467	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA DERECHA	9	543	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA DERECHA	13	289	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	433	
20+000	BANDA DERECHA	16	402	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA DERECHA	20	448	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA DERECHA	25	365	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	405	
21+000	BANDA DERECHA	28	368	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA DERECHA	32	467	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA DERECHA	38	513	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	449.33	
22+000	BANDA DERECHA	41	365	LINEA DE BORDE
22+500	BANDA DERECHA	47	463	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA DERECHA	51	450	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	426	
23+350	BANDA DERECHA	54	540	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA DERECHA	58	535	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA DERECHA	62	580	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	551.67	
19+000	BANDA IZQUIERDA	7	439	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA IZQUIERDA	11	588	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA IZQUIERDA	15	437	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	488	
20+000	BANDA IZQUIERDA	18	297	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA IZQUIERDA	22	370	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA IZQUIERDA	27	370	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	345.67	

21+000	BANDA IZQUIERDA	30	403	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA IZQUIERDA	34	374	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA IZQUIERDA	40	375	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	384	
22+000	BANDA IZQUIERDA	44	506	LINEA DE BORDE
22+500	BANDA IZQUIERDA	49	330	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA IZQUIERDA	53	381	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	405.67	
23+350	BANDA IZQUIERDA	56	253	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA IZQUIERDA	60	305	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA IZQUIERDA	64	337	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	298.33	
19+000	CENTRO	6	146	LINEA CENTRAL
19+500	CENTRO	10	175	LINEA CENTRAL
19+900	CENTRO	14	150	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	157	
20+000	CENTRO	17	156	LINEA CENTRAL
20+500	CENTRO	21	122	LINEA CENTRAL
20+900	CENTRO	26	120	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	132.67	
21+000	CENTRO	29	123	LINEA CENTRAL
21+500	CENTRO	33	151	LINEA CENTRAL
21+900	CENTRO	39	82	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	118.67	
22+000	CENTRO	42	99	LINEA CENTRAL
22+500	CENTRO	48	66	LINEA CENTRAL
22+900	CENTRO	52	209	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	124.67	
23+350	CENTRO	55	218	LINEA CENTRAL
23+650	CENTRO	59	278	LINEA CENTRAL
23+900	CENTRO	63	279	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	258.33	

Fecha: Viernes 18 de Diciembre del 2015

Hora: 11:00am



### **Muestra Numero 1 (X<sub>1</sub>)**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_1 = \frac{433+405+449.33+426+551.67}{5}$$

$$X_1 = 453 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_1 = \frac{488+345.67+384+405.67+298.33}{5}$$

$$X_1 = 384.33 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_1 = \frac{157+132.67+118.67+124.67+258.33}{5}$$

$$X_1 = 158.27 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
19+000	BANDA DERECHA	4	501	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA DERECHA	8	452	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA DERECHA	12	321	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	424.67	
20+000	BANDA DERECHA	17	331	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA DERECHA	19	376	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA DERECHA	23	325	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	344	
21+000	BANDA DERECHA	26	312	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA DERECHA	30	395	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA DERECHA	34	467	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	391.33	
22+000	BANDA DERECHA	37	310	LINEA DE BORDE
22+500	BANDA DERECHA	41	414	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA DERECHA	45	416	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	380	
23+350	BANDA DERECHA	49	447	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA DERECHA	53	433	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA DERECHA	56	483	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	454.33	
19+000	BANDA IZQUIERDA	6	39	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA IZQUIERDA	10	466	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA IZQUIERDA	14	378	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	294.33	
20+000	BANDA IZQUIERDA	15	377	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA IZQUIERDA	21	378	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA IZQUIERDA	25	329	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	361.33	
21+000	BANDA IZQUIERDA	28	343	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA IZQUIERDA	32	340	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA IZQUIERDA	36	331	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	338	
22+000	BANDA IZQUIERDA	39	463	LINEA DE BORDE

22+500	BANDA IZQUIERDA	43	267	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA IZQUIERDA	47	313	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	347.67	
23+350	BANDA IZQUIERDA	51	266	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA IZQUIERDA	55	313	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA IZQUIERDA	61	324	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	301	
19+000	CENTRO	5	101	LINEA CENTRAL
19+500	CENTRO	9	129	LINEA CENTRAL
19+900	CENTRO	13	112	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	114	
20+000	CENTRO	16	123	LINEA CENTRAL
20+500	CENTRO	20	94	LINEA CENTRAL
20+900	CENTRO	24	80	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	99	
21+000	CENTRO	27	94	LINEA CENTRAL
21+500	CENTRO	31	143	LINEA CENTRAL
21+900	CENTRO	35	67	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	101.33	
22+000	CENTRO	38	85	LINEA CENTRAL
22+500	CENTRO	42	63	LINEA CENTRAL
22+900	CENTRO	46	172	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	106.67	
23+350	CENTRO	50	201	LINEA CENTRAL
23+650	CENTRO	54	254	LINEA CENTRAL
23+900	CENTRO	60	239	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	231.33	

Fecha: Viernes 22 de Enero del 2016

Hora: 2:00pm

## Muestra Numero 2 ( $X_2$ )

### Línea de borde banda derecha

$$X_2 = \frac{424.67+344+391.33+380+454.33}{5}$$

$$X_2 = 398.87 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda izquierda

$$X_2 = \frac{294.33+361.33+338+347.67+301}{5}$$

$$X_2 = 328.47 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea central

$$X_2 = \frac{114+99+101.33+106.67+231.31}{5}$$

$$X_2 = 130.47 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
TERCERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
19+000	BANDA DERECHA	5	459	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA DERECHA	9	359	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA DERECHA	13	306	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	374.67	
20+000	BANDA DERECHA	16	351	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA DERECHA	20	372	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA DERECHA	24	317	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	346.67	
21+000	BANDA DERECHA	27	279	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA DERECHA	31	353	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA DERECHA	35	505	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	379	
22+000	BANDA DERECHA	38	344	LINEA DE BORDE
22+500	BANDA DERECHA	42	346	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA DERECHA	46	396	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	362	
23+350	BANDA DERECHA	50	454	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA DERECHA	53	443	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA DERECHA	56	452	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	449.67	
19+000	BANDA IZQUIERDA	7	318	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA IZQUIERDA	11	460	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA IZQUIERDA	15	304	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	360.67	
20+000	BANDA IZQUIERDA	18	327	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA IZQUIERDA	22	263	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA IZQUIERDA	26	267	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	285.67	
21+000	BANDA IZQUIERDA	29	334	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA IZQUIERDA	33	348	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA IZQUIERDA	37	362	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	348	
22+000	BANDA IZQUIERDA	40	421	LINEA DE BORDE

22+500	BANDA IZQUIERDA	44	274	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA IZQUIERDA	48	379	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	358	
23+350	BANDA IZQUIERDA	52	279	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA IZQUIERDA	55	321	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA IZQUIERDA	58	308	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	302.67	
19+000	CENTRO	6	96	LINEA CENTRAL
19+500	CENTRO	10	109	LINEA CENTRAL
19+900	CENTRO	14	104	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	103	
20+000	CENTRO	17	125	LINEA CENTRAL
20+500	CENTRO	21	106	LINEA CENTRAL
20+900	CENTRO	25	75	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	102	
21+000	CENTRO	28	74	LINEA CENTRAL
21+500	CENTRO	32	96	LINEA CENTRAL
21+900	CENTRO	36	40	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	70	
22+000	CENTRO	39	60	LINEA CENTRAL
22+500	CENTRO	43	44	LINEA CENTRAL
22+900	CENTRO	47	162	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	88.67	
23+350	CENTRO	51	200	LINEA CENTRAL
23+650	CENTRO	54	299	LINEA CENTRAL
23+900	CENTRO	57	235	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	244.67	

Fecha: Martes 23 de Febrero del 2016

Hora: 11:00am

### **Muestra Numero 3 (X<sub>3</sub>)**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_3 = \frac{374.67+346.67+379+362+449.67}{5}$$

$$X_3 = 382.4 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_3 = \frac{360.67+285.67+348+358+302.67}{5}$$

$$X_3 = 331 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_3 = \frac{103+102+70+88.67+244.67}{5}$$

$$X_3 = 121.67 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
CUARTA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
19+000	BANDA DERECHA	29	493	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA DERECHA	33	425	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA DERECHA	37	352	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	423.33	
20+000	BANDA DERECHA	42	391	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA DERECHA	44	387	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA DERECHA	48	99	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	292.33	
21+000	BANDA DERECHA	53	291	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA DERECHA	55	385	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA DERECHA	60	486	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	387	
22+000	BANDA DERECHA	65	396	LINEA DE BORDE
22+500	BANDA DERECHA	67	442	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA DERECHA	71	423	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	420.33	
23+350	BANDA DERECHA	74	495	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA DERECHA	78	415	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA DERECHA	82	475	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	461.67	
19+000	BANDA IZQUIERDA	31	363	LINEA DE BORDE
19+500	BANDA IZQUIERDA	35	414	LINEA DE BORDE
19+900	BANDA IZQUIERDA	39	363	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	380	
20+000	BANDA IZQUIERDA	40	359	LINEA DE BORDE
20+500	BANDA IZQUIERDA	46	455	LINEA DE BORDE
20+900	BANDA IZQUIERDA	50	316	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	376.67	
21+000	BANDA IZQUIERDA	51	305	LINEA DE BORDE
21+500	BANDA IZQUIERDA	57	380	LINEA DE BORDE
21+900	BANDA IZQUIERDA	62	376	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	353.67	
22+000	BANDA IZQUIERDA	63	338	LINEA DE BORDE



22+500	BANDA IZQUIERDA	69	289	LINEA DE BORDE
22+900	BANDA IZQUIERDA	73	337	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	321	
23+350	BANDA IZQUIERDA	76	299	LINEA DE BORDE
23+650	BANDA IZQUIERDA	80	328	LINEA DE BORDE
23+900	BANDA IZQUIERDA	84	341	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	322.67	
19+000	CENTRO	30	94	LINEA CENTRAL
19+500	CENTRO	34	132	LINEA CENTRAL
19+900	CENTRO	38	109	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	111.67	
20+000	CENTRO	41	103	LINEA CENTRAL
20+500	CENTRO	45	94	LINEA CENTRAL
20+900	CENTRO	49	74	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	90.33	
21+000	CENTRO	52	90	LINEA CENTRAL
21+500	CENTRO	56	89	LINEA CENTRAL
21+900	CENTRO	61	68	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	82.33	
22+000	CENTRO	64	74	LINEA CENTRAL
22+500	CENTRO	68	45	LINEA CENTRAL
22+900	CENTRO	72	198	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	105.67	
23+350	CENTRO	75	193	LINEA CENTRAL
23+650	CENTRO	79	227	LINEA CENTRAL
23+900	CENTRO	83	240	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	220	

Fecha: Lunes 21 de Marzo del 2016

Hora: 11:00am

#### **Muestra Numero 4 (X<sub>4</sub>)**

##### **Línea de borde banda derecha**

$$X_4 = \frac{423.33+292.33+387+420.33+461.67}{5}$$

$$X_4 = 397 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_4 = \frac{380+376.67+353.67+321+322.67}{5}$$

$$X_4 = 350.8 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea central**

$$X_4 = \frac{111.67+90.33+82.33+105.67+220}{5}$$

$$X_4 = 122 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda derecha

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	453
X <sub>2</sub>	398.87
X <sub>3</sub>	382.4
X <sub>4</sub>	397

### Línea de borde banda izquierda

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	384.33
X <sub>2</sub>	328.47
X <sub>3</sub>	331
X <sub>4</sub>	350.8

### Línea central

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	158.27
X <sub>2</sub>	130.47
X <sub>3</sub>	121.67
X <sub>4</sub>	122

**Tramo: Carretera Vieja a León NIC -12A (60+000Km – 62+500Km)**

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMER LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
60+000	BANDA DERECHA	103	323	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	100	187	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA DERECHA	96	132	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	214	
61+000	BANDA DERECHA	92	165	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	89	186	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA DERECHA	85	138	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	163	
62+000	BANDA DERECHA	81	191	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	78	240	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA DERECHA	74	217	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	216	
60+000	BANDA IZQUIERDA	105	196	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	102	291	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA IZQUIERDA	98	284	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	257	
61+000	BANDA IZQUIERDA	94	161	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	91	209	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA IZQUIERDA	87	174	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	181.33	
62+000	BANDA IZQUIERDA	83	236	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	80	179	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA IZQUIERDA	76	142	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	185.67	
60+000	CENTRO	104	129	LINEA CENTRAL
60+100	CENTRO	101	157	LINEA CENTRAL
60+594	CENTRO	97	159	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	148.33	
61+000	CENTRO	93	93	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	90	118	LINEA CENTRAL

61+500	CENTRO	86	165	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	125.33	
62+000	CENTRO	82	149	LINEA CENTRAL
60+100	CENTRO	79	154	LINEA CENTRAL
62+500	CENTRO	75	106	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	136.33	

Fecha: Viernes 18 de Diciembre del 2015

Hora: 2:00pm

### Muestra Numero 1 ( $X_1$ )

#### Línea de borde banda derecha

$$X_1 = \frac{214+163+216}{3}$$

$$X_1 = 197.67 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea de borde banda izquierda

$$X_1 = \frac{257+181.33+185.67}{3}$$

$$X_1 = 208 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea central

$$X_1 = \frac{148.33+125.33+136.33}{3}$$

$$X_1 = 136.67 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
60+000	BANDA DERECHA	102	250	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	99	159	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA DERECHA	95	111	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	173.33	
61+000	BANDA DERECHA	88	145	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	91	201	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA DERECHA	84	101	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	149	
62+000	BANDA DERECHA	80	180	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	77	153	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA DERECHA	73	198	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	177	
60+000	BANDA IZQUIERDA	103	145	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	101	228	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA IZQUIERDA	97	242	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	205	
61+000	BANDA IZQUIERDA	90	176	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	93	161	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA IZQUIERDA	86	145	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	160.67	
62+000	BANDA IZQUIERDA	82	163	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	79	152	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA IZQUIERDA	75	130	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	148.33	
60+000	CENTRO	104	127	LINEA CENTRAL
60+100	CENTRO	100	130	LINEA CENTRAL
60+594	CENTRO	96	136	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	131	
61+000	CENTRO	89	108	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	92	67	LINEA CENTRAL
61+500	CENTRO	85	153	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	109.33	
62+000	CENTRO	81	135	LINEA CENTRAL

60+100	CENTRO	78	163	LINEA CENTRAL
62+500	CENTRO	74	97	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	131.67	

Fecha: Viernes 22 de Enero del 2016

Hora: 4:00pm

### Muestra Numero 2 (X<sub>2</sub>)

#### Línea de borde banda derecha

$$X_2 = \frac{173.33+149+177}{3}$$

$$X_2 = 166.44 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea de borde banda izquierda

$$X_2 = \frac{205+160.67+148.33}{3}$$

$$X_2 = 171.33 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea central

$$X_2 = \frac{131+109.33+131.67}{3}$$

$$X_2 = 124 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
TERCERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
60+000	BANDA DERECHA	99	205	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	96	193	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA DERECHA	92	106	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	168	
61+000	BANDA DERECHA	88	138	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	85	141	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA DERECHA	81	100	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	126.33	
62+000	BANDA DERECHA	77	154	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	74	171	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA DERECHA	69	162	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	162.33	
60+000	BANDA IZQUIERDA	101	133	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	98	205	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA IZQUIERDA	94	235	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	191	
61+000	BANDA IZQUIERDA	90	126	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	87	205	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA IZQUIERDA	83	144	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	158.33	
62+000	BANDA IZQUIERDA	79	153	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	76	145	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA IZQUIERDA	72	133	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	143.67	
60+000	CENTRO	100	118	LINEA CENTRAL
60+100	CENTRO	97	127	LINEA CENTRAL
60+594	CENTRO	93	128	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	124.33	
61+000	CENTRO	89	64	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	86	106	LINEA CENTRAL
61+500	CENTRO	82	148	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	106	
62+000	CENTRO	78	127	LINEA CENTRAL



60+100	CENTRO	75	127	LINEA CENTRAL
62+500	CENTRO	70	78	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	110.67	

Fecha: Martes 23 de Febrero del 2016

Hora: 1:00pm

### Muestra Numero 3 (X<sub>3</sub>)

#### Línea de borde banda derecha

$$X_3 = \frac{168+126.33+162.33}{3}$$

$$X_3 = 152.22 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea de borde banda izquierda

$$X_3 = \frac{191+158.33+143.67}{3}$$

$$X_3 = 164.33 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### Línea central

$$X_3 = \frac{124.33+106+110.67}{3}$$

$$X_3 = 113.67 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
CUARTA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
60+000	BANDA DERECHA	124	194	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	121	144	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA DERECHA	117	99	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	145.67	
61+000	BANDA DERECHA	113	181	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	110	142	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA DERECHA	106	96	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	139.67	
62+000	BANDA DERECHA	102	144	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA DERECHA	99	149	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA DERECHA	95	139	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	144	
60+000	BANDA IZQUIERDA	126	126	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	123	184	LINEA DE BORDE
60+594	BANDA IZQUIERDA	119	224	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	178	
61+000	BANDA IZQUIERDA	115	125	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	112	181	LINEA DE BORDE
61+500	BANDA IZQUIERDA	108	137	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	147.67	
62+000	BANDA IZQUIERDA	104	260	LINEA DE BORDE
60+100	BANDA IZQUIERDA	101	141	LINEA DE BORDE
62+500	BANDA IZQUIERDA	97	123	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	174.67	
60+000	CENTRO	125	101	LINEA CENTRAL
60+100	CENTRO	122	121	LINEA CENTRAL
60+594	CENTRO	118	106	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	109.33	
61+000	CENTRO	114	65	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	111	88	LINEA CENTRAL
61+500	CENTRO	107	121	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	91.33	
62+000	CENTRO	103	112	LINEA CENTRAL

60+100	CENTRO	100	108	LINEA CENTRAL
62+500	CENTRO	96	64	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	94.67	

Fecha: Lunes 21 de Marzo del 2016

Hora: 1:00pm

#### **Muestra Numero 4 (X<sub>4</sub>)**

##### **Línea de borde banda derecha**

$$X_4 = \frac{145.67+139.67+144}{3}$$

$$X_4 = 143.11 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_4 = \frac{178+147.67+174.67}{3}$$

$$X_4 = 166.78 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea central**

$$X_4 = \frac{109.33+91.33+94.67}{3}$$

$$X_4 = 98.44 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda derecha

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	197.67
X <sub>2</sub>	166.44
X <sub>3</sub>	152.22
X <sub>4</sub>	143.11

### Línea de borde banda izquierda

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	208
X <sub>2</sub>	171.33
X <sub>3</sub>	164.33
X <sub>4</sub>	166.78

### Línea central

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	136.67
X <sub>2</sub>	124
X <sub>3</sub>	113.67
X <sub>4</sub>	98.44

Tramo: Empalme a Zambrano – Tisma NIC – 27 (28+000Km – 32+900Km)

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

ESTACION	BANDA	MUESTRA	LECTURA (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	DESCRIPCION
28+000	CENTRO	5	71	LINEA CENTRAL
28+500	CENTRO	7	93	LINEA CENTRAL
28+900	CENTRO	9	81	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	81.67	
29+000	CENTRO	10	80	LINEA CENTRAL
29+500	CENTRO	12	100	LINEA CENTRAL
29+900	CENTRO	13	88	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	89.33	
30+000	CENTRO	15	77	LINEA CENTRAL
30+500	CENTRO	18	71	LINEA CENTRAL
30+900	CENTRO	20	65	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	71	
31+000	CENTRO	22	68	LINEA CENTRAL
31+500	CENTRO	24	53	LINEA CENTRAL
31+900	CENTRO	26	37	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	52.67	
32+000	CENTRO	28	79	LINEA CENTRAL
32+500	CENTRO	30	33	LINEA CENTRAL
32+900	CENTRO	32	23	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	45	

Fecha: Jueves 7 de Enero del 2016

Hora: 10:00am

**Muestra Numero 1 (X<sub>1</sub>)**

**Línea central**

$$X_1 = \frac{81.67+89.33+71+52.67+45}{5}$$

$$X_1 = 67.93 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

ESTACION	BANDA	MUESTRA	LECTURA (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	DESCRIPCION
28+000	CENTRO	4	63	LINEA CENTRAL
28+500	CENTRO	6	57	LINEA CENTRAL
28+900	CENTRO	8	80	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	66.67	
29+000	CENTRO	9	58	LINEA CENTRAL
29+500	CENTRO	11	76	LINEA CENTRAL
29+900	CENTRO	15	71	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	68.33	
30+000	CENTRO	16	97	LINEA CENTRAL
30+500	CENTRO	18	102	LINEA CENTRAL
30+900	CENTRO	20	63	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	87.33	
31+000	CENTRO	21	56	LINEA CENTRAL
31+500	CENTRO	23	55	LINEA CENTRAL
31+900	CENTRO	25	45	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	52	
32+000	CENTRO	26	61	LINEA CENTRAL
32+500	CENTRO	28	22	LINEA CENTRAL
32+900	CENTRO	29	112	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	65	

Fecha: Martes 9 de Febrero del 2016

Hora: 11:00am

**Muestra Numero 2 (X<sub>2</sub>)**

**Línea central**

$$X_2 = \frac{66.67+68.33+87.33+52+65}{5}$$

$$X_2 = 67.87 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
TERCERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
28+000	CENTRO	3	60	LINEA CENTRAL
28+500	CENTRO	5	49	LINEA CENTRAL
28+900	CENTRO	7	82	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	63.67	
29+000	CENTRO	8	47	LINEA CENTRAL
29+500	CENTRO	10	61	LINEA CENTRAL
29+900	CENTRO	12	66	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	58	
30+000	CENTRO	13	79	LINEA CENTRAL
30+500	CENTRO	16	69	LINEA CENTRAL
30+900	CENTRO	18	69	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	72.33	
31+000	CENTRO	17	69	LINEA CENTRAL
31+500	CENTRO	21	97	LINEA CENTRAL
31+900	CENTRO	23	41	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	69	
32+000	CENTRO	24	37	LINEA CENTRAL
32+500	CENTRO	25	21	LINEA CENTRAL
32+900	CENTRO	27	26	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	28	

Fecha: Martes 8 de Marzo del 2016

Hora: 11:00am

**Muestra Numero 3 (X<sub>3</sub>)**

**Línea central**

$$X_3 = \frac{63.67+58+72.33+69+28}{5}$$

$$X_3 = 58.2 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
CUARTA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
28+000	CENTRO	137	60	LINEA CENTRAL
28+500	CENTRO	139	60	LINEA CENTRAL
28+900	CENTRO	141	81	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	67	
29+000	CENTRO	142	60	LINEA CENTRAL
29+500	CENTRO	144	70	LINEA CENTRAL
29+900	CENTRO	146	69	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	66	
30+000	CENTRO	147	91	LINEA CENTRAL
30+500	CENTRO	149	69	LINEA CENTRAL
30+900	CENTRO	151	66	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	75.33	
31+000	CENTRO	153	52	LINEA CENTRAL
31+500	CENTRO	155	42	LINEA CENTRAL
31+900	CENTRO	160	41	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	45	
32+000	CENTRO	162	38	LINEA CENTRAL
32+500	CENTRO	166	29	LINEA CENTRAL
32+900	CENTRO	168	40	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	35.67	

Fecha: Martes 5 de Abril del 2016

Hora: 11:00am



### Muestra Numero 4 (X<sub>4</sub>)

Línea central

$$X_4 = \frac{67+66+75.33+45+35.67}{5}$$

$$X_4 = 57.8 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

Línea central

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	67.93
X <sub>2</sub>	67.87
X <sub>3</sub>	58.2
X <sub>4</sub>	57.8

Tramo: La virgen – San Juan del Sur NIC – 16 (123+000Km – 124+900Km)

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
123+000	BANDA DERECHA	5	118	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA DERECHA	9	124	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA DERECHA	13	206	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	149.33	
124+000	BANDA DERECHA	16	140	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA DERECHA	20	163	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA DERECHA	24	130	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	144.33	
123+000	BANDA IZQUIERDA	7	117	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA IZQUIERDA	11	111	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA IZQUIERDA	15	157	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	128.33	
124+000	BANDA IZQUIERDA	18	169	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA IZQUIERDA	22	167	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA IZQUIERDA	26	162	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	166	
123+000	CENTRO	6	82	LINEA CENTRAL
123+500	CENTRO	10	112	LINEA CENTRAL
123+900	CENTRO	14	116	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	103.33	
124+000	CENTRO	17	128	LINEA CENTRAL
124+500	CENTRO	21	154	LINEA CENTRAL
124+900	CENTRO	25	115	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	132.33	

Fecha: Lunes 29 de Junio del 2015

Hora: 5:00pm

### **Muestra Numero 1 ( $X_1$ )**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_1 = \frac{149.33+144.33}{2}$$
$$X_1 = 146.83 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_1 = \frac{128.33+166}{2}$$
$$X_1 = 147.16 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_1 = \frac{103.33+132.33}{2}$$
$$X_1 = 117.83 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
123+000	BANDA DERECHA	2	141	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA DERECHA	6	115	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA DERECHA	10	180	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	145.33	
124+000	BANDA DERECHA	13	170	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA DERECHA	17	162	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA DERECHA	23	198	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	176.67	
123+000	BANDA IZQUIERDA	4	118	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA IZQUIERDA	8	112	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA IZQUIERDA	12	172	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	134	
124+000	BANDA IZQUIERDA	15	157	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA IZQUIERDA	19	164	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA IZQUIERDA	25	117	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	146	
123+000	CENTRO	3	81	LINEA CENTRAL
123+500	CENTRO	7	140	LINEA CENTRAL
123+900	CENTRO	11	280	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	167	
124+000	CENTRO	14	92	LINEA CENTRAL
124+500	CENTRO	18	136	LINEA CENTRAL
124+900	CENTRO	24	76	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	101.33	

Fecha: Miercoles 29 de Julio del 2015

Hora: 5:30pm

## **Muestra Numero 2 (X<sub>2</sub>)**

### **Línea de borde banda derecha**

$$X_2 = \frac{145.33+176.67}{2}$$
$$X_2 = 161 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_2 = \frac{134+146}{2}$$
$$X_2 = 140 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### **Línea central**

$$X_2 = \frac{167+101.33}{2}$$
$$X_2 = 134.16 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
TERCERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
123+000	BANDA DERECHA	55	162	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA DERECHA	60	110	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA DERECHA	64	128	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	133.33	
124+000	BANDA DERECHA	69	157	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA DERECHA	75	130	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA DERECHA	79	115	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	134	
123+000	BANDA IZQUIERDA	57	89	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA IZQUIERDA	61	111	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA IZQUIERDA	67	175	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	125	
124+000	BANDA IZQUIERDA	73	177	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA IZQUIERDA	77	175	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA IZQUIERDA	81	96	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	149.33	
123+000	CENTRO	56	75	LINEA CENTRAL
123+500	CENTRO	62	89	LINEA CENTRAL
123+900	CENTRO	65	111	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	91.67	
124+000	CENTRO	71	126	LINEA CENTRAL
124+500	CENTRO	76	153	LINEA CENTRAL
124+900	CENTRO	80	107	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	128.67	

Fecha: Martes 8 de Septiembre del 2015

Hora: 3:00pm

### **Muestra Numero 3 (X<sub>3</sub>)**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_3 = \frac{133.33+134}{2}$$
$$X_3 = 133.66 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_3 = \frac{125+149.33}{2}$$
$$X_3 = 137.16 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_3 = \frac{91.67+128.67}{2}$$
$$X_3 = 110.17 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
CUARTA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
123+000	BANDA DERECHA	5	157	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA DERECHA	9	116	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA DERECHA	13	123	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	132	
124+000	BANDA DERECHA	19	116	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA DERECHA	21	112	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA DERECHA	25	114	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	114	
123+000	BANDA IZQUIERDA	7	110	LINEA DE BORDE
123+500	BANDA IZQUIERDA	11	96	LINEA DE BORDE
123+900	BANDA IZQUIERDA	15	146	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	117.33	
124+000	BANDA IZQUIERDA	17	173	LINEA DE BORDE
124+500	BANDA IZQUIERDA	23	135	LINEA DE BORDE
124+900	BANDA IZQUIERDA	28	150	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	152.67	
123+000	CENTRO	6	77	LINEA CENTRAL
123+500	CENTRO	10	102	LINEA CENTRAL
123+900	CENTRO	14	104	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	94.33	
124+000	CENTRO	18	92	LINEA CENTRAL
124+500	CENTRO	22	117	LINEA CENTRAL
124+900	CENTRO	26	112	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	107	

Fecha: Miércoles 14 de Octubre del 2015

Hora: 11:45am



#### **Muestra Numero 4 (X<sub>4</sub>)**

##### **Línea de borde banda derecha**

$$X_4 = \frac{132+114}{2}$$
$$X_4 = 123 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_4 = \frac{117.33+152.67}{2}$$
$$X_4 = 135 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

##### **Línea central**

$$X_4 = \frac{94.33+107}{2}$$
$$X_4 = 100.66 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda derecha

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	146.83
X <sub>2</sub>	161
X <sub>3</sub>	133.66
X <sub>4</sub>	123

### Línea de borde banda izquierda

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	147.16
X <sub>2</sub>	140
X <sub>3</sub>	137.16
X <sub>4</sub>	135

### Línea central

Muestra	Lectura(mcd/lux/mts <sup>2</sup> )
X <sub>1</sub>	117.83
X <sub>2</sub>	134.16
X <sub>3</sub>	110.17
X <sub>4</sub>	100.66

**Disminución de la retroreflectividad en los tramos de referencia**

**Tramo: Pista de circunvalación Masaya NIC – 4B (29+000Km – 32+500Km)**

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
32+500	BANDA DERECHA	87	458	LINEA DE BORDE
32+100	BANDA DERECHA	97	474	LINEA DE BORDE
32+000	BANDA DERECHA	99	467	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	466.33	
31+500	BANDA DERECHA	105	295	LINEA DE BORDE
31+100	BANDA DERECHA	109	410	LINEA DE BORDE
31+000	BANDA DERECHA	119	126	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	277	
30+500	BANDA DERECHA	121	408	LINEA DE BORDE
30+100	BANDA DERECHA	126	423	LINEA DE BORDE
30+000	BANDA DERECHA	134	377	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	402.67	
29+500	BANDA DERECHA	136	400	LINEA DE BORDE
29+100	BANDA DERECHA	142	373	LINEA DE BORDE
29+000	BANDA DERECHA	148	425	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	399.33	
32+500	BANDA IZQUIERDA	91	443	LINEA DE BORDE
32+100	BANDA IZQUIERDA	93	474	LINEA DE BORDE
32+000	BANDA IZQUIERDA	103	500	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	472.33	
31+500	BANDA IZQUIERDA	107	449	LINEA DE BORDE
31+100	BANDA IZQUIERDA	112	300	LINEA DE BORDE
31+000	BANDA IZQUIERDA	115	142	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	297	
30+500	BANDA IZQUIERDA	123	328	LINEA DE BORDE
30+100	BANDA IZQUIERDA	129	500	LINEA DE BORDE
30+000	BANDA IZQUIERDA	131	313	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	380.33	
29+500	BANDA IZQUIERDA	139	300	LINEA DE BORDE

29+100	BANDA IZQUIERDA	144	374	LINEA DE BORDE
29+000	BANDA IZQUIERDA	146	390	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	354.67	
32+500	CENTRO	89	110	LINEA CENTRAL
32+100	CENTRO	95	108	LINEA CENTRAL
32+000	CENTRO	101	126	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	114.67	
31+500	CENTRO	106	119	LINEA CENTRAL
31+100	CENTRO	101	110	LINEA CENTRAL
31+000	CENTRO	117	107	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	112	
30+500	CENTRO	122	85	LINEA CENTRAL
30+100	CENTRO	128	147	LINEA CENTRAL
30+000	CENTRO	133	141	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	124.33	
29+500	CENTRO	138	101	LINEA CENTRAL
29+100	CENTRO	143	100	LINEA CENTRAL
29+000	CENTRO	147	105	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	102	

Fecha: Viernes 13 de febrero del 2015

Hora: 2:00pm

### **Muestra Numero 1 (X<sub>1</sub>)**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_1 = \frac{466.33+277+402.67+399.33}{4}$$

$$X_1 = 386.33 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_1 = \frac{472.33+297+380.33+354.67}{4}$$

$$X_1 = 376.08 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_1 = \frac{114.67+112+124.33+102}{4}$$

$$X_1 = 113.25 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
32+500	BANDA DERECHA	41	182	LINEA DE BORDE
32+100	BANDA DERECHA	44	159	LINEA DE BORDE
32+000	BANDA DERECHA	47	371	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	237.33	
31+500	BANDA DERECHA	50	212	LINEA DE BORDE
31+100	BANDA DERECHA	53	329	LINEA DE BORDE
31+000	BANDA DERECHA	56	376	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	305.67	
30+500	BANDA DERECHA	59	229	LINEA DE BORDE
30+100	BANDA DERECHA	62	235	LINEA DE BORDE
30+000	BANDA DERECHA	65	224	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	229.33	
29+500	BANDA DERECHA	68	234	LINEA DE BORDE
29+100	BANDA DERECHA	71	168	LINEA DE BORDE
29+000	BANDA DERECHA	74	207	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	203	
32+500	BANDA IZQUIERDA	43	208	LINEA DE BORDE
32+100	BANDA IZQUIERDA	46	232	LINEA DE BORDE
32+000	BANDA IZQUIERDA	49	169	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	203	
31+500	BANDA IZQUIERDA	52	108	LINEA DE BORDE
31+100	BANDA IZQUIERDA	55	335	LINEA DE BORDE
31+000	BANDA IZQUIERDA	58	309	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	250.67	
30+500	BANDA IZQUIERDA	61	96	LINEA DE BORDE
30+100	BANDA IZQUIERDA	64	161	LINEA DE BORDE
30+000	BANDA IZQUIERDA	67	199	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	152	
29+500	BANDA IZQUIERDA	70	223	LINEA DE BORDE
29+100	BANDA IZQUIERDA	73	209	LINEA DE BORDE
29+000	BANDA IZQUIERDA	76	173	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	201.67	
32+500	CENTRO	42	70	LINEA CENTRAL

32+100	CENTRO	45	162	LINEA CENTRAL
32+000	CENTRO	48	144	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	125.33	
31+500	CENTRO	51	123	LINEA CENTRAL
31+100	CENTRO	54	162	LINEA CENTRAL
31+000	CENTRO	57	169	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	151.33	
30+500	CENTRO	60	73	LINEA CENTRAL
30+100	CENTRO	63	147	LINEA CENTRAL
30+000	CENTRO	66	136	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	118.67	
29+500	CENTRO	69	136	LINEA CENTRAL
29+100	CENTRO	72	152	LINEA CENTRAL
29+000	CENTRO	75	156	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	148	

Fecha: Martes 15 de Diciembre del 2015

Hora: 11:00am

## Muestra Numero 2 ( $X_2$ )

### Línea de borde banda derecha

$$X_2 = \frac{237.33+305.67+229.33+203}{4}$$

$$X_2 = 243.83 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda izquierda

$$X_2 = \frac{203+250.67+152+201.67}{4}$$

$$X_2 = 201.8 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea central

$$X_2 = \frac{125.33+151.33+118.67+148}{4}$$

$$X_2 = 135.83 \text{ mcd/lux /mts}^2$$



## **Calculo de la disminución**

### **Línea de borde derecha**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{386.33 - 243.8}{10 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 14.25 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Diez meses después de haber realizado la primera lectura en la línea de borde derecha, podemos decir que la retroreflectividad se reduce 14.25 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

### **Línea de borde izquierda**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{376.08 - 201.8}{10 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 17.43 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Al transcurrir diez meses de haber hecho la primera lectura en la línea de borde izquierda, observamos que la retroreflectividad decrece en 17.43 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

### **Línea central**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{113.25 - 135.83}{10 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = -22.58 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

En este caso la retroreflectividad no disminuyo, todo lo contrario, aumento en 22.58 mcd/lux/mts<sup>2</sup>. Por lo que podemos decir, que diez meses después de haber hecho la primera lectura, la retroreflectividad en la línea central no sufrió ninguna degradación.

**Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (150 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca de termoplástico).**

**Línea de borde derecha**

$$243.83 - 14.25X = 150$$

$$X = 6.58 \cong 7 \text{ meses}$$

Esto significa que siete meses después de haber hecho la segunda lectura en esta línea, la retroreflectividad ya habrá cumplido su vida útil.

**Línea de borde izquierda**

$$201.8 - 17.43X = 150$$

$$X = 2.97 \cong 3 \text{ meses}$$

Mediante esta ecuación demostramos que, tres meses después de haber hecho la segunda lectura; la línea habrá alcanzado la retroreflectividad mínima requerida.

Tramo: Jinotepe – Empalme el Grajinan (Nandaime) NIC - 2 (63+000Km – 61+000Km)

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

ESTACION	BANDA	MUESTRA	LECTURA (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	DESCRIPCION
62+500	BANDA DERECHA	10	152	LINEA DE BORDE
62+100	BANDA DERECHA	60	318	LINEA DE BORDE
62+000	BANDA DERECHA	66	175	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	215	
61+500	BANDA DERECHA	77	152	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	85	212	LINEA DE BORDE
61+000	BANDA DERECHA	91	305	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	223	
62+500	BANDA IZQUIERDA	58	196	LINEA DE BORDE
62+100	BANDA IZQUIERDA	64	487	LINEA DE BORDE
62+000	BANDA IZQUIERDA	72	155	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	279.33	
61+500	BANDA IZQUIERDA	79	190	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	81	186	LINEA DE BORDE
61+000	BANDA IZQUIERDA	87	166	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	180.67	
62+500	CENTRO	56	103	LINEA CENTRAL
62+100	CENTRO	62	109	LINEA CENTRAL
62+000	CENTRO	68	120	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	110.67	
61+500	CENTRO	74	126	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	83	174	LINEA CENTRAL
61+000	CENTRO	89	117	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	139	

Fecha: Jueves 5 de Junio del 2014

### **Muestra Numero 1 ( $X_1$ )**

#### **Línea de borde banda derecha**

$$X_1 = \frac{215+223}{2}$$

$$X_1 = 219 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea de borde banda izquierda**

$$X_1 = \frac{279.33+180.67}{2}$$

$$X_1 = 230 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

#### **Línea central**

$$X_1 = \frac{110.67+139}{2}$$

$$X_1 = 124.8 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
62+500	BANDA DERECHA	10	135	LINEA DE BORDE
62+100	BANDA DERECHA	16	29	LINEA DE BORDE
62+000	BANDA DERECHA	26	30	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	64.67	
61+500	BANDA DERECHA	28	41	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA DERECHA	34	59	LINEA DE BORDE
61+000	BANDA DERECHA	45	92	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	64	
62+500	BANDA IZQUIERDA	14	207	LINEA DE BORDE
62+100	BANDA IZQUIERDA	20	106	LINEA DE BORDE
62+000	BANDA IZQUIERDA	22	118	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	143.67	
61+500	BANDA IZQUIERDA	32	178	LINEA DE BORDE
61+100	BANDA IZQUIERDA	38	177	LINEA DE BORDE
61+000	BANDA IZQUIERDA	40	140	LINEA DE BORDE
		PROMEDIO	165	
62+500	CENTRO	12	129	LINEA CENTRAL
62+100	CENTRO	18	38	LINEA CENTRAL
62+000	CENTRO	24	53	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	73.33	
61+500	CENTRO	30	99	LINEA CENTRAL
61+100	CENTRO	36	56	LINEA CENTRAL
61+000	CENTRO	42	37	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	64	

Fecha: 13 de Marzo del 2015

Hora: 12:30pm

## Muestra Numero 2 ( $X_2$ )

### Línea de borde banda derecha

$$X_2 = \frac{64.67+64}{2}$$

$$X_2 = 64.3 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea de borde banda izquierda

$$X_2 = \frac{143.67+165}{2}$$

$$X_2 = 154.3 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

### Línea central

$$X_2 = \frac{73.33+64}{2}$$

$$X_2 = 68.67 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

## **Calculo de la disminución**

### **Línea de borde derecha**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{219 - 64.3}{9 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 17.19 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Nueve meses después de haber realizado la primera lectura en la línea de borde derecha, podemos decir que la retrorefeflectividad se reduce 17.19 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

### **Línea de borde izquierda**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{230 - 154.3}{9 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 8.41 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Al transcurrir nueve meses de haber hecho la primera lectura en la línea de borde izquierda, observamos que la retrorefeflectividad decrece en 8.41 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

### **Línea central**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{124.8 - 68.67}{9 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 6.24 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Nueve meses después de haber realizado la primera lectura en la línea central, podemos afirmar que la retrorefeflectividad se disminuye 6.24 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

**Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (100 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea blanca y 50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente).**

**Línea de borde derecha**

$$219 - 17.19X = 100$$

$$X = 6.92 \cong 7 \text{ meses}$$

Esto significa que siete meses después de haber hecho la primera lectura en esta línea, la retroreflectividad cumplió su vida útil.

**Línea de borde izquierda**

$$154.3 - 8.41X = 100$$

$$X = 6.46 \cong 7 \text{ meses}$$

Mediante esta ecuación demostramos que, siete meses después de haber hecho la segunda lectura; la línea habrá alcanzado la retroreflectividad mínima requerida.

**Línea central**

$$68.67 - 6.24X = 50$$

$$X = 2.99 \cong 3 \text{ meses}$$

La fórmula anterior indica que tres meses después de haber realizado la segunda lectura, la línea habrá alcanzado la retroreflectividad mínima requerida.



Tramo: Quebrada Honda – San Francisco Libre NIC – 70A (1+000km – 4+900km)

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
PRIMERA LECTURA**

ESTACION	BANDA	MUESTRA	LECTURA (mcd/lux/mts <sup>2</sup> )	DESCRIPCION
1+000	CENTRO	8	142	LINEA CENTRAL
1+500	CENTRO	10	83	LINEA CENTRAL
1+900	CENTRO	13	76	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	100.33	
2+000	CENTRO	15	169	LINEA CENTRAL
2+460	CENTRO	23	140	LINEA CENTRAL
2+900	CENTRO	17	165	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	158	
3+000	CENTRO	19	81	LINEA CENTRAL
3+500	CENTRO	21	98	LINEA CENTRAL
3+900	CENTRO	25	73	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	84	
4+000	CENTRO	27	83	LINEA CENTRAL
4+500	CENTRO	29	78	LINEA CENTRAL
4+900	CENTRO	32	69	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	76.67	

Fecha: Viernes 2 de Octubre del 2015

Hora: 10:00am

**Muestra Numero 1 (X<sub>1</sub>)**

**Línea central**

$$X_1 = \frac{100.33+158+84+76.67}{4}$$

$$X_1 = 104.75 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

**RESULTADO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS  
SEGUNDA LECTURA**

<b>ESTACION</b>	<b>BANDA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>LECTURA (mcd/lux/mts<sup>2</sup>)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
1+000	CENTRO	36	78	LINEA CENTRAL
1+500	CENTRO	38	75	LINEA CENTRAL
1+900	CENTRO	40	73	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	75.33	
2+000	CENTRO	41	77	LINEA CENTRAL
2+460	CENTRO	43	69	LINEA CENTRAL
2+900	CENTRO	45	77	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	74.33	
3+000	CENTRO	46	74	LINEA CENTRAL
3+500	CENTRO	48	97	LINEA CENTRAL
3+900	CENTRO	50	71	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	80.67	
4+000	CENTRO	51	60	LINEA CENTRAL
4+500	CENTRO	53	66	LINEA CENTRAL
4+900	CENTRO	55	85	LINEA CENTRAL
		PROMEDIO	70.33	

Fecha: Lunes 25 de Enero del 2016

Hora: 2:00pm

**Muestra Numero 2 (X<sub>2</sub>)**

**Línea central**

$$X_2 = \frac{75.33+74.33+80.67+70.33}{4}$$

$$X_2 = 75.17 \text{ mcd/lux /mts}^2$$

## **Calculo de la disminución**

### **Línea central**

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = \left( \frac{104.75 - 75.17}{4 \text{ meses}} \right)$$

$$\text{disminución de la retroreflectividad} = 7.40 \text{ mcd/lux/mts}^2 \text{ por mes}$$

Cuatro meses después de haber realizado la primera lectura en la línea central, podemos afirmar que la retroreflectividad se disminuye 7.40 mcd/lux/mts<sup>2</sup> por mes.

### **Calculo de la retroreflectividad mínima mantenida en la señalización horizontal (50 mcd/lux/mts<sup>2</sup> para la línea amarilla de base solvente).**

#### **Línea central**

$$75.17 - 7.40X = 50$$

$$X = 3.4 \cong 4 \text{ meses}$$

La fórmula anterior indica que cuatro meses después de haber realizado la segunda lectura, la línea habrá alcanzado la retroreflectividad mínima requerida.