



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

**SEÑALIZACIÓN VIAL PARA ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE
MANEJO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN, TRAMO CA-01
ORIENTE, KILÓMETRO 85+000 AL 95+000 MUNICIPIO SAN JOSÉ
ACATEMPA, JUTIAPA, GUATEMALA**

Ing. Hugo Estuardo Gálvez Villanueva

Asesorado por el Ma. Ing. Pedro Baudilio Castro Aguirre

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SEÑALIZACIÓN VIAL PARA ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE
MANEJO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN, TRAMO CA-01
ORIENTE, KILÓMETRO 85+000 AL 95+000 MUNICIPIO SAN JOSÉ
ACATEMPA, JUTIAPA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. HUGO ESTUARDO GÁLVEZ VILLANUEVA

ASESORADO POR EL Ma. ING. PEDRO BAUDILIO CASTRO AGUIRRE
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	MSc. Ing. José Haroldo Lemus Nájera
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

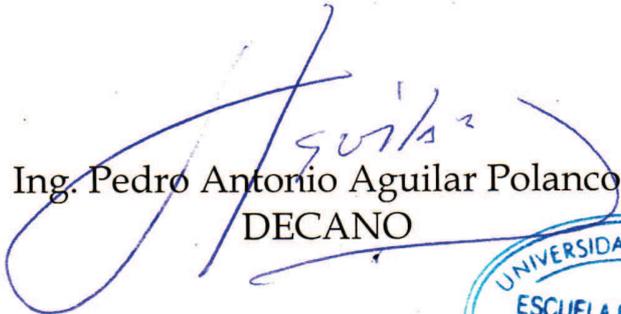
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2015-044

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **“SEÑALIZACIÓN VIAL PARA ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN, TRAMO CA-01 ORIENTE, KILÓMETRO 85+000 AL 95+000 MUNICIPIO SAN JOSÉ ACAMTEMPA, JUTIAPA, GUATEMALA”**, presentado por el Ingeniero Civil **Hugo Estuardo Gálvez Villanueva**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, Octubre de 2015.



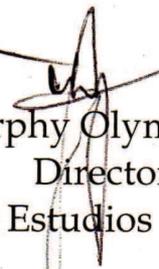
FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-044

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **“SEÑALIZACIÓN VIAL PARA ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN, TRAMO CA-01 ORIENTE, KILÓMETRO 85+000 AL 95+000 MUNICIPIO SAN JOSÉ ACATEMPA, JUTIAPA, GUATEMALA”** presentado por el Ingeniero Civil **Hugo Estuardo Gálvez Villanueva** correspondiente al programa de Maestría en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

“Id y Enseñad a Todos”


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-044

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"SEÑALIZACIÓN VIAL PARA ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN, TRAMO CA-01 ORIENTE, KILÓMETRO 85+000 AL 95+000 MUNICIPIO SAN JOSÉ ACATEMPA, JUTIAPA, GUATEMALA"**, presentado por el Ingeniero Civil **Hugo Estuardo Gálvez Villanueva**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme sabiduría, inteligencia, fuerza y perseverancia para cumplir mis metas y guíame por el buen camino.
- Mis padres** Vilma Lucy Villanueva Fernández y Víctor Hugo Gálvez Najarro por apoyarme en todas las situaciones buenas y malas y orientarme en la vida.
- Mi novia** Agradezco de todo corazón a Lisza María Acevedo Castañeda por su apoyo incondicional y por todo el tiempo que hemos compartido.
- Facultad de Ingeniería** Por ser mi casa de estudios para formarme profesionalmente.
- Ma. Ing. Pedro Castro** Por su amistad y apoyarme durante todo el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XVII
OBJETIVOS	XIX
HIPÓTESIS	XXI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. ASPECTOS NATURALES QUE INFLUYEN EN ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO	1
1.1. Fenómeno de neblina	1
1.2. Fenómeno de niebla	1
1.3. Influencia de la niebla y neblina en visibilidad de manejo	2
2. FACTORES DE SEGURIDAD VIAL	5
2.1. Tiempo de reacción	5
2.2. Distancia de frenado	6
2.3. Determinación de distancia de legibilidad	7
2.4. Accidentes y el alineamiento horizontal	8
2.5. Accidentes y el alineamiento vertical	12
2.6. Impactos de accidentes viales en Guatemala	13

3.	SEÑALIZACIÓN VIAL EN ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO.....	15
3.1.	Señalización vial	15
3.2.	Señalización vertical.....	16
3.2.1.	Requisitos de las señales verticales	17
3.2.1.1.	Visibilidad.....	17
3.2.1.2.	Ubicación lateral	17
3.2.1.3.	Ubicación longitudinal	18
3.2.1.4.	Altura.....	19
3.2.2.	Señales de reglamentación	19
3.2.3.	Señales de prevención	20
3.2.4.	Señales de información	20
3.3.	Reflectividad en zonas de dificultad en visibilidad de manejo .	21
3.3.1.	Reflexión esférica	22
3.3.2.	Reflexión microprisma	24
3.3.3.	Factores y propiedades reflectivas	26
3.3.3.1.	Ángulo de entrada.....	26
3.3.3.2.	Ángulo de observación	27
3.3.3.3.	Tipos de películas reflectivas.....	28
3.3.3.3.1.	Grado ingeniería.....	28
3.3.3.3.2.	Alta intensidad prismático	29
3.3.3.3.3.	Grado diamante cubo	29
3.4.	Señalización horizontal.....	30
3.4.1.	Líneas longitudinales.....	32
3.4.1.1.	Colores utilizados en carreteras.....	33
3.4.1.1.1.	Amarillo	33
3.4.1.1.2.	Blanco	33
3.4.1.2.	Materiales para demarcar	34
3.4.1.2.1.	Pintura en frío.....	34

	3.4.1.2.2.	Pintura en caliente.....	35
	3.4.1.2.3.	Aditivos de pintura para mejorar reflectividad	35
	3.4.1.2.4.	Aplicación de preformados	37
	3.4.1.3.	Consideraciones para lograr un buen desempeño de la pintura	38
	3.4.2.	Líneas transversales	39
	3.4.3.	Vialetas	39
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		41
4.1.	Evaluación de señalización tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatepa, Jutiapa, Guatemala		41
4.1.1.	Descripción del tramo carretero		41
4.1.2.	Inventario de señalización existente.....		44
	4.1.2.1.	Señalización vertical.....	44
	4.1.2.2.	Señalización horizontal	45
4.2.	Propuesta de diseño de señalización, tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatepa, Jutiapa, Guatemala.....		62
	4.2.1.	Señalización vertical	62
	4.2.2.	Señalización horizontal	91
	4.2.2.1.	Línea central y líneas laterales	91
	4.2.2.2.	Vialetas	93
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS		95
	CONCLUSIONES		101
	RECOMENDACIONES.....		103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Etapas de un conductor en presencia de una señal.....	8
2.	Ubicación de las señales verticales	18
3.	Micro esferas de vidrio.....	23
4.	Lámina con micro esferas de vidrio	23
5.	Microprismas de vidrio.....	24
6.	Lámina con microprismas.....	25
7.	Diagrama de reflexión de micro esferas y microprismas.....	25
8.	Ángulo de entrada	26
9.	Ángulo de observación	27
10.	Variación del ángulo de observación en función de la distancia.....	27
11.	Variación del ángulo de observación en función de la altura.....	28
12.	Líneas longitudinales	31
13.	Líneas transversales.....	31
14.	Otras demarcaciones	32
15.	Reflectividad en micro esferas de vidrio.....	36
16.	Diagrama de reflectividad en micro esferas de vidrio en condiciones de lluvia	36
17.	Vista microscopia de micro esferas de vidrio	37
18.	Figura de lámina prefabricada.....	37
19.	Violeta color amarillo.....	40
20.	Fotografía área, San José Acatempa.....	42
21.	Fotografía del tramo carretero, estación 90+350.....	43
22.	Fotografía señalización vertical dañada, estación 90+360	46

23.	Fotografía señalización vertical dañada, estación 91+320.....	46
24.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 91+050	47
25.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 89+637	47
26.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 91+800	48
27.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 92+900	48
28.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 94+300	49
29.	Fotografía señalización horizontal dañada, estación 95+000	49
30.	Larguillo de señalización vertical existente	56
31.	Larguillo de señalización vertical propuesta	86

TABLAS

I.	Índice de accidentes en curvas de dos carriles para distintos radios y frecuencia de curvas.....	9
II.	Índice de accidentes en relación con el grado de la curva, Estado Unidos.....	10
III.	Índice de accidentes en relación con el grado de la curva, Inglaterra..	10
IV.	Accidentes ocurridos antes y después de colocar señalización.....	11
V.	Índice de accidentes en función de distancia de visibilidad.....	12
VI.	Índice de accidentes en función de pendiente en porcentaje.....	13
VII.	Distancia mínima para la colocación de señales, con base en la velocidad de diseño.....	19
VIII.	Reflectividad mínima para pinturas en color blanco y amarillo.....	38
IX.	Curvas horizontales, radio, grado de curvatura, delta, velocidad de diseño y tangente entre curvas.....	50
X.	Inventario de señalización existente, lado izquierdo.....	52
XI.	Inventario de señalización existente, lado derecho.....	54
XII.	Propuesta de señalización vertical, lado derecho.....	63
XIII.	Propuesta de señalización vertical, lado izquierdo.....	75
XIV.	Localización de línea central continua y discontinua.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA-1	Carretera centroamericana No. 1
μm	Micrones
cm	Centímetros
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
km	Kilómetros
km/h	Velocidad kilómetros por hora
T(s)	Tiempo de lectura en segundos
N	Número de palabras por señal
D	Distancia de legibilidad
V	Velocidad de vehículo
A	Ángulo de visión
°	Grados
°C	Grados centígrados
'	Minutos
lux	Medida de iluminancia
cd	Candela
%	Porcentaje
PC	Principio de curva
PT	Punto de tangente
G	Grado de curva
Δ	Ángulo de deflexión

GLOSARIO

Accidente vial	Es aquel accidente en el que están involucrados uno o más vehículos que suceden en la vía pública, provocados por diferentes circunstancias y que algunas pueden ser por deficiente señalización vial.
Alineamiento	Es la variación horizontal o vertical que tiene una de la carretera respecto a un eje horizontal y a un eje vertical, el alineamiento vertical se forma por pendientes y curvas verticales mientras que el alineamiento horizontal por tangentes y curvas horizontales.
Candela	Es la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente de iluminación. Es la sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión.
Curva	Son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales.
Fricción	Es la fuerza entre dos superficies en contacto, a aquella que se opone al movimiento relativo entre ambas superficies de contacto o a la fuerza que se opone al inicio del deslizamiento.

- Fuerza centrífuga** Es que se genera cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación, o equivalentemente la fuerza aparente que percibe un observador no inercial que se encuentra en un sistema de referencia rotatorio.
- Grado de curva** Es una magnitud que mide la curvatura de un objeto geométrico tal como una línea curva, una superficie o más en general una variedad diferenciable embebida en un espacio euclídeo.
- Iluminancia** El flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Su unidad de medida es el Lux.
- Legibilidad** Se refiere a la facilidad de lectura y comprensión de un texto.
- Luminancia** Luz que viene de una superficie por medio de reflectividad.
- Micrón** Es una unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro.
- Nivel de servicio** Medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular.
- Pendiente** Son las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido longitudinal y transversal del eje de la vía.

Peralte	Es la pendiente transversal que se da en las curvas a la plataforma de una vía férrea o a la calzada de una carretera, con el fin de compensar con una componente de su propio peso la inercia del vehículo, y lograr que la resultante total de las fuerzas se mantenga aproximadamente perpendicular al plano de la vía o de la calzada.
Radio	Es cualquier segmento que une el centro a cualquier punto de dicha circunferencia o fracción de circunferencia.
Rasante	Línea de una calle o camino considerada en su inclinación o paralelismo respecto del plano horizontal.
Refractar	Hacer que cambie de dirección el rayo de luz que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferente densidad.
Reflectividad	Es la capacidad que tiene una señal en devolver o reflejar la luz que sobre ellas incide, sobre el mismo camino que tomó el haz de luz desde la fuente emisora hasta la señal.
Tangente	Es la longitud que hay entre dos puntos sin presencia de curvas.
Termoplástico:	Material plástico que se aplica en caliente, para formar una película de espesor variable generalmente usado en sustitución de la pintura.

Velocidad de diseño	Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas de la vía predominan.
Vialeta	Dispositivo de demarcación horizontal que se coloca en el pavimento el cual sirve para orientar el tránsito en una carretera en períodos nocturnos, ya que posee material reflectivo.
Visibilidad	Es la cualidad perceptible, que permite ver objetos a una determinada distancia. A menor visibilidad peor se verán objetos a la lejanía, mientras que a mayor visibilidad se verán mejor objetos lejanos.

RESUMEN

Las lesiones y muertes por accidentes viales en la actualidad se han incrementado considerablemente a nivel mundial y Guatemala no es la excepción. Las causas son muy diversas, sin embargo, la tasa se puede reducir con la utilización de los recursos que ofrece la señalización vial tanto en el aspecto horizontal como en el vertical.

En situaciones particulares y específicas, principalmente cuando existen zonas de dificultad en visibilidad de manejo por presencia de niebla, la señalización vial viene siendo de mucha ayuda para los conductores ya que proporciona seguridad y comodidad en los tramos carreteros, con el objetivo de guardar la integridad y vida de los usuarios a través de la comunicación, ordenamiento y restricciones que manifiesta cada tipo de señal.

La señalización vial debe identificarse y visualizarse en la vía en cualquier periodo del día y ante cualquier fenómeno natural. Para ello es necesario tener la mejor reflectividad posible tanto para la señalización horizontal como vertical.

Asimismo es importante considerar en el diseño de la señalización el diseño geométrico de la carretera, para conocer los datos relevantes de las curvas horizontales y verticales, tangentes mínimas y pendientes, ya que si por alguna razón existe cierto peligro por el diseño geométrico se muestra y se le comunica a los usuarios.

La tasa anual de accidentes en el tramo de estudio es de un accidente por mes, estadísticas proporcionadas de la subestación 21-62 de la Policía

Nacional Civil del municipio de San José Acatempa, departamento de Jutiapa.
La causa principal es la carencia y deficiencia en la señalización vial y exceso de velocidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Todos los conductores que viajan en la red vial de Guatemala en algún momento se han encontrado en situaciones donde hay zonas de dificultad en visibilidad de manejo, principalmente por fenómenos de niebla y neblina, que causa gran problema para visualizar el entorno que los rodea. Estas situaciones manifiestan en el conductor emociones de estrés, ansiedad y nerviosismo, ya que en algunos casos es imposible ver más allá de ciertos metros lineales y los tiempos de reacción disminuyen ante situaciones adversas.

En zonas de dificultad en visibilidad de manejo por fenómenos naturales el problema que se manifiesta es que se dificulta distinguir y reaccionar ante las señales verticales y horizontales, ya que los coeficientes de reflectividad disminuyen considerablemente.

¿Existe alguna normativa en Guatemala para el diseño de señalización vial en zonas de dificultad de manejo?

¿Es suficiente un buen diseño de señalización vial sino se tiene una buena educación vial?

¿Las instituciones del Estado velan porque en las carreteras de Guatemala se preste una buena señalización vertical y horizontal?

¿En los diseños de señalización se consideran las señales más económicas con el fin de evitar costos?

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad y el tipo de señalización vial que se debe utilizar en el tramo Ca-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatempa, departamento de Jutiapa.

Específicos

1. Diseñar un sistema de señalización vial indicando el tipo de señalización horizontal y vertical, se debe utilizar, debido a la alta presencia de niebla, ejemplo práctico: el tramo CA-01 oriente, kilómetro 85+000 al 95+000, municipio San José Acatempa, departamento de Jutiapa.
2. Determinar los estacionamientos adecuados para la colocación de la señalización vertical, según el diseño geométrico de la carretera.
3. Realizar un estudio comparativo entre el material convencional utilizado en la señalización vial de Guatemala, y el material propuesto de mayor reflectividad; en el tramo en estudio.
4. Determinar la diferencia de especificaciones reflectivas entre los materiales convencionales y los propuestos para el tramo en estudio.

HIPÓTESIS

Una adecuada señalización en zonas de dificultad de visibilidad de manejo por la presencia de fenómenos naturales mejora el nivel de servicio, reduce los tiempos de viaje y disminuye la tasa de accidentes viales.

Implementar un buen diseño de señalización vial, se disminuirá el congestionamiento, brindando comodidad al usuario que se transporta por el tramo en estudio CA-01 oriente kilómetro 85+000 al 95+000.

Utilizar materiales altamente reflectivos aumenta la distancia de legibilidad de las señales viales.

La señalización vertical y horizontal con materiales altamente reflectivos se complementan con la finalidad de proporcionar seguridad a los usuarios.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La investigación respecto al tema de señalización vial para zonas de dificultad en visibilidad de manejo, se desarrolló a través de investigación teórica e investigación de campo. La propuesta de diseño para el tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 Municipio de San José Acatempa, Jutiapa se hizo con base a las características propias del tramo en estudio y bajo los requerimientos técnicos de reflectividad que amerita el tramo en señalización horizontal y señalización vertical.

Para realizar la investigación teórica se consultó bibliografía de manuales y catálogos de señalización vial, los cuales se han basado en análisis de laboratorio, de campo y estadísticas que argumentan los resultados y las especificaciones sugeridas por parte de los autores.

Los manuales donde se analizó la información son: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, avalado por Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centro América (COMITRAN) y Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), Manual de Señalización Vial el cual incluye dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia, Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad de México. También fueron consideradas las especificaciones técnicas que solicita el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda de Guatemala a través del libro Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Segunda Edición.

Se realizaron visitas técnicas a empresas nacionales y multinacionales, donde se obtuvo información importante para el análisis y propuestas de señalización vial, en los aspectos vertical y horizontal. Estas empresas han desarrollado catálogos, y comercialización de diversos productos, los cuales son utilizados en la señalización vial.

La información obtenida de los libros, manuales, especificaciones técnicas y de las vistas a empresas sirvió para determinar el tipo de reflectividad que debe ser utilizada en la señalización vial para zonas de dificultad en visibilidad de manejo por fenómenos de niebla y neblina.

Se realizaron visitas de campo al tramo de estudio, donde se observaron las particularidades propias del mismo, se pudo percibir las características geométricas para determinar los puntos críticos que pueden ocasionar accidentes adicionales al fenómeno por niebla. Las visitas de campo sirvieron para determinar el inventario de señalización existente para finalmente realizar la propuesta de diseño.

Se analizaron y se interpretaron planos del alineamiento horizontal y vertical del tramo en estudio desarrollado por una empresa supervisora, lo cual sirvió de herramienta útil para caracterizar el diseño geométrico de la carretera y determinar los estacionamientos de la señalización vertical.

INTRODUCCIÓN

La señalización vial es un aspecto fundamental en el ámbito de la ingeniería vial, por lo que se hace necesario considerar todo tipo de señalización tanto horizontal como vertical en cualquier tipo de tramo carretero y principalmente en zonas donde existe dificultad en visibilidad de manejo por presencia de fenómenos naturales.

La señalización es considerada como el lenguaje vial, el cual relaciona al usuario con la carretera, indica qué hacer y qué no hacer cuando transita por la vía, por lo que se hace sumamente necesario e indispensable utilizarla en todo tipo de tramos carreteros principalmente en zonas con alta presencia de niebla, con el objetivo de proporcionar comodidad y seguridad vial, para evitar cualquier tipo de accidente.

Para cumplir con los objetivos de una señalización vial adecuada para zonas de dificultad en visibilidad de manejo fue necesario analizar el tipo de reflectividad de las señales verticales y horizontales.

La ubicación geográfica de Guatemala hace que tenga variaciones topográficas en toda la región, por lo que existen varios tramos carreteros que son afectados por fenómenos de niebla y neblina durante todo el año y principalmente en épocas de invierno. En el trabajo se analiza el tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatempa departamento de Jutiapa, ya que es afectado por los fenómenos naturales anteriormente descritos y constituye un eje principal dentro de la red vial de Guatemala, ya que facilita la comunicación entre la región metropolitana y

oriente del país, asimismo la comunicación con la república de El Salvador y el resto de Centro América.

La metodología de investigación se basó en recopilación y análisis de información de manuales y libros de señalización vial aplicados a zonas de dificultad de manejo. Para ello se consultó esta bibliografía mexicana, centroamericana y colombiana. Se consultaron especificaciones de materiales reflectivos para dispositivos de control de tránsito y realizar métodos comparativos de reflectividad. Se tuvo la asesoría por medio de visitas a empresas que se dedican al diseño de señalización vial, para analizar las sugerencias y propuestas para zonas de dificultad en visibilidad de manejo. Se realizó visitas de campo para percibir los lugares más vulnerables con presencia de niebla en el tramo de estudio y se utilizó como referencia planos del diseño geométrico actual de la carretera proporcionados por una empresa supervisora.

1. ASPECTOS NATURALES QUE INFLUYEN EN ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO

Guatemala posee una topografía bastante irregular a lo largo de toda la red vial del país, variación de alturas que van desde el nivel del mar hasta zonas considerablemente altas, por lo que influye directamente en cambios de climas, incluso clasificando al país por una composición de microclimas. En Guatemala las zonas de dificultad en visibilidad de manejo se dan por aspectos climáticos principalmente por lluvia, niebla y neblina. Estas situaciones por lo general aumentan su probabilidad de aparición en los periodos de invierno y por horas de tarde y noche. El presente estudio se enfocará únicamente en los aspectos naturales de niebla y neblina para la dificultad en visibilidad de manejo.

1.1. Fenómeno de neblina

La Universidad Nacional de La Plata (2015), afirma que la neblina es un aspecto natural que consiste en una variación meteorológica en donde existe la formación de nubes a nivel del suelo, conformada por un conjunto de partículas higroscópicas. Sus causas de formación son diversas por lo que existe una clasificación. La neblina permite una visibilidad entre uno y diez kilómetros. Existen varios tipos de neblina y su clasificación está en función del origen.

1.2. Fenómeno de niebla

La Universidad Nacional de La Plata (2015) define el fenómeno de niebla como el mismo aspecto natural que la neblina, su diferencia es la intensidad de

las partículas higroscópicas en suspensión. La niebla se define como un fenómeno meteorológico más intenso que la neblina lo que hace que se reduzca considerablemente la visibilidad. La niebla permite una visibilidad menor de un kilómetro.

En algunas situaciones extremas en Guatemala la visibilidad se reduce apenas a muy pocos metros de longitud. Al igual que la neblina, la clasificación de la niebla está en función del origen.

1.3. Influencia de la niebla y neblina en visibilidad de manejo

La influencia de la niebla y neblina es uno de los factores más adversos que se presentan en algunos tramos carreteros de la red vial de Guatemala. Lamentablemente estos tramos han dejado múltiples víctimas, heridos y muertos provocados por accidentes de tránsito a lo largo de la historia.

Estas situaciones se incrementan en Guatemala principalmente en las épocas de invierno, cuando hay presencia de lluvias y generalmente en horas de la tarde y madrugada.

La principal características cuando hay influencia de niebla y neblina en tramos carreteros es que se reduce notablemente la visibilidad, por lo que el manejo con niebla se convierte en una situación compleja y peligrosa.

Estas situaciones desfavorables hacen que la percepción visual se retrase un tiempo adicional en percibir situaciones de peligro. Por tales razones estos tramos hacen que el usuario sea vulnerable ante cualquier accidente y situaciones peligrosas.

La principal actitud que debe tener el conductor al transitar por tales situaciones es conducir con responsabilidad, atender la señalización vertical y horizontal que está colocado en los tramos carreteros.

El tramo CA-1 Oriente del kilómetro 85+000 al 95+00 se caracteriza por presencia de niebla, ya que se ubica en una zona montañosa y adicional a esta se presenta niebla por precipitación, principalmente en la tarde y noche. Por ser parte de una carretera centroamericana y de mucha importancia para la movilización del comercio a nivel nacional y extranjero, aumenta la probabilidad de accidentes viales ya que las condiciones naturales son desfavorables para el conductor en términos de visibilidad.

2. FACTORES DE SEGURIDAD VIAL

Para el año 2012 la tasa de accidentes viales en Guatemala fue de 20.9 por cada cien mil habitantes según el Instituto Nacional de Estadística (2013). (p. 6)

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (1991), nos indica que para reducir los accidentes viales se necesita lo siguiente:

- Mejor preparación del usuario
- Mayor seguridad de los vehículos
- Adecuada legislación y vigilancia
- Condiciones que permitan una mejor operación en el sistema vial

Es por ello que los estudios indican que, el 75% de los accidentes, la causa principal se le atribuye al conductor. (p. 9)

2.1. Tiempo de reacción

SCT (1991) señala que “el intervalo que existe entre ver, oír o sentir y la acción de responder a estos estímulos en cualquier situación del tránsito, se llama tiempo de reacción”. (p. 12).

Bañón Blázquez & Beviá García (2000) indica que ante la aparición de un obstáculo o de una situación inesperada durante la conducción, se produce una serie de sucesos que a continuación se describen: (p. 6)

- Presencia
- Percepción
- Transmisión
- Reconocimiento
- Decisión
- Acción

Según la SCT (1991), el tiempo de reacción en un conductor depende de las siguientes características: (p. 12)

- Estado emocional
- Estado físico
- Nivel de concentración

Según estudios de laboratorio del Institute of Traffic Engineers (1965), el rango de los tiempos de reacción en tramos carreteras es de 0.5 hasta 2.5 segundos. (s.p.)

2.2. Distancia de frenado

Bañón Blázquez & Beviá García (2000) indica que la distancia de frenado es la distancia que tarda en detenerse un vehículo ante la aparición de cualquier obstáculo o situación en la vía por la que circula. La distancia total recorrida por el vehículo depende de varios factores: (p. 30)

- El tiempo de reacción del conductor del vehículo
- La velocidad a la que circula dicho vehículo
- El coeficiente de rozamiento del neumático sobre la carretera o, en su caso, la desaceleración admisible

- La inclinación de la vía por la que circula

2.3. Determinación de distancia de legibilidad

Bañón Blázquez & Beviá García (2000) muestra que la determinación de la distancia de legibilidad de una señal con texto depende de los siguientes factores (p. 7):

- Número de palabras de la señal
- Tiempo de lectura
- Velocidad de diseño de la carretera
- Ancho de carril
- Distancia de la señal hacia la demarcación del carril

El tiempo de lectura es el tiempo que tarda una persona normal en leer una serie de palabras. Si N es el número de palabras a leer, el tiempo de lectura viene dado por:

$$T(s)=0.31N+1.94$$

Bañón Blázquez & Beviá García (2000), (p. 7)

La distancia de legibilidad está dada por la siguiente fórmula:

$$d = \frac{s}{\text{tg}\alpha} + \frac{vT}{3.6}$$

Bañón Blázquez & Beviá García (2000), (p. 7)

Donde:

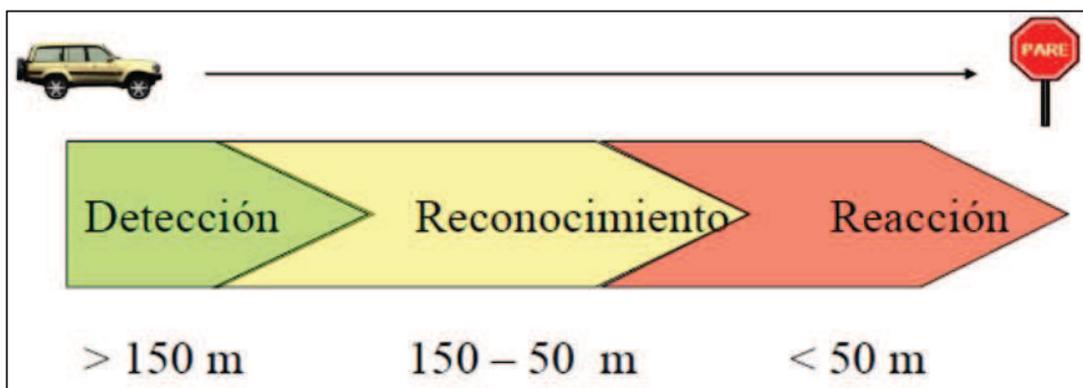
S= distancia entre los ejes del vehículo y la señal en metros

v =velocidad del vehículo en km/h

T =tiempo de lectura en segundos

α =ángulo de visión óptima a gran velocidad (5°c).

Figura 1. **Etapas de un conductor en presencia de una señal**



Fuente: Baeta García (2011), p. 24.

2.4. **Accidentes y el alineamiento horizontal**

Otra causa de los accidentes viales está en función al diseño geométrico, principalmente en el alineamiento horizontal con presencia de curvas.

La SCT (1991), dice que al entrar en una curva, la fuerza centrífuga es equilibrada por la resultante del peso del vehículo y la fuerza de rozamiento lateral entre las llantas y el pavimento. La salida de un vehículo obedece a uno o a la combinación de los siguientes conceptos: velocidad excesiva para las condiciones imperantes, sobre elevación inadecuada o pavimento derrapante. (p. 26)

Ciertos estudios que se demuestran en el libro de Morton (1953), afirman que el índice de accidentes aumenta en 0.23 por ciento por grado de curvatura en carreteras de dos carriles y el índice de accidentes aumenta en 0.64 por ciento por grado de curvatura en carreteras de cuatro carriles. La frecuencia de curvas por kilómetro y el grado de curva son otros factores que influyen considerablemente. A continuación se presenta una tabla donde la probabilidad de accidentes aumenta al disminuir el grado de curvatura como disminuir la frecuencia. (s. p.)

Tabla I. **Índice de accidentes en curvas de dos carriles para distintos radios y frecuencia de curvas.**

Número de curvas por kilómetro	Índice de accidentes para distintos grados de curvatura			
	1°53'	1°54' a 3°46'	3°47' a 6°16'	6°17' o más
De 0 a 0.5	1.9	3.4	2.6	5.5
De 0.6 a 1.8	1.4	2.3	2.8	2.6
De 1.9 a 3.0	1.3	1.8	2.1	2.7
De 3.1 a 4.3	2.1	1.7	2.9	

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 28.

Tabla II. **Índice de accidentes en relación con el grado de la curva, Estados Unidos**

Grado de la curva	Índice de accidentes por millón de vehículos-km
Menor de 1°58´	2.19
1°58´ a 3°16´	3.97
Mayor de 3°16´	6.18

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 29.

Tabla III. **Índice de accidentes en relación con el grado de la curva, Inglaterra**

Grado de la curva	Índice de accidentes por millón de vehículos-km
Menor de 1°16´	4.16
1°16´ a 2°32´	4.8
2°33´ a 3°50´	5.6
3°51´ a 6°34´	6.08
6°35´ a 11°28´	21.76
Mayor de 11°28´	23.84

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 29.

Según la SCT (1991), "otros trabajos han demostrado que a partir de un cierto grado de curvatura, las curvas en el extremo de las tangentes mayores de 5 km de longitud tienen un índice de accidentes de 1.25 veces mayor que las

curvas ubicadas en el extremo de tangentes menores de 5 km de longitud”. (p. 29)

A partir de determinado grado de curvatura, las curvas al final de las tangentes mayores a 5 kilómetros de longitud tiene un índice de accidentes de 1.25 veces mayor que las curvas ubicadas en menos longitud.

El siguiente cuadro muestra la efectividad de la señalización en la reducción accidentes por presencia de curvas.

Tabla IV. **Accidentes ocurridos antes y después de colocar señalización**

Número de curvas estudiadas	Accidentes diurnos por año		Accidentes nocturnos por año	
	Antes	Después	Antes	Después
52	31.6	17.4	63.2	31.5

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 29.

De acuerdo a la SCT (1991), un estudio realizado por Automotive Safe Foundation revela que en un estudio de 15 curvas horizontales en California se colocó señales de velocidad máxima, los accidentes leves fueron reducidos en un 62% mientras que los accidentes graves fueron reducidos en un 54%, basado en un total de 230 accidentes. (p. 30)

2.5. Accidentes y el alineamiento vertical

Según la SCT (1991), uno de los aspectos más importantes en el alineamiento vertical, con respecto a los accidentes es la distancia de visibilidad de parada.

De acuerdo con un estudio realizado en el Estado de California, en carretera de 2 carriles, en una longitud de 80 km, se encontró que el índice de accidentes decrece con el aumento de la distancia de visibilidad, de la manera siguiente: (p. 30)

Tabla V. **Índice de accidentes en función de distancia de visibilidad**

Distancia de visibilidad en metros	Índice de accidentes (por millón de vehículos-km)
Menos de 240	1.5
240 a 450	1.2
450 a 750	0.9
Más de 750	0.7

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 30.

La SCT (1991) señala que “otro de los aspectos importantes del alineamiento vertical con relación a los accidentes es la pendiente”. (p. 30)

A continuación se presenta cuadro realizado en autopistas de Alemania donde se muestra el porcentaje de pendiente y el índice de accidentes:

Tabla VI. **Índice de accidentes en función de pendiente en porcentaje**

Distancia de visibilidad en metros	Índice de accidentes (por 100 millones de vehículos-km)
0.00-1.99	46.5
2.00-3.99	67.2
4.00-5.99	190
6.00-8.00	210.5

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1991), p. 31.

2.6. Impactos de accidentes viales en Guatemala

Según un estudio de una empresa internacional pionera en productos de señalización vial revela los impactos que genera los accidentes viales en Guatemala para el año 2009:

- Para el año 2011 hubo 30,423 accidentes de tránsito, lo cual indica una tasa de 83 accidentes al día.
- Causa de lesiones. En el año 2011, resultaron 21,450 personas heridas.
- Causa de muertes. En el año 2011, resultaron 3,510 personas fallecidas.
- Repercusiones económicas
 - 2% del producto interno bruto del país en el año 2008
 - 60% de gastos en Salud Pública en el 2008
 - Afectación a la población económicamente activa PEA
- Guatemala es el sexto lugar en muertes por accidentes de tránsito en América Latina.

3. SEÑALIZACIÓN VIAL EN ZONAS DE DIFICULTAD EN VISIBILIDAD DE MANEJO

3.1. Señalización vial

Dextre (s.f), sostiene que la principal función que tiene la señalización vial es informar al usuario acerca de las características primordiales que prevalecen un tramo carretero por donde transita, cuyo fin es evitar un accidente o percance vial, proporcionando al usuario seguridad, confort y comodidad ante diversas situaciones, principalmente cuando existen zonas de dificultad en visibilidad de manejo por presencia de niebla. En tales casos, la señalización debe de indicar un orden en el tránsito, advertir el peligro, ordenar conductas de los usuarios y comunicar informaciones importantes y útiles.

La señalización vial debe guardar la integridad y la vida de los usuarios que transitan por dichas zonas.

La señalización vial es un lenguaje entre el tramo carretero y el usuario, ya que comunica y proporciona información importante que se debe dar a conocer. En tal caso existe un emisor, un mensaje y un receptor el cual debe de actuar ante lo que le indica.

El usuario debe saber, atender y obedecer la señalización vial que se presenta en los tramos carreteros. (p. 1)

Los objetivos de la señalización vial en zonas de dificultad en visibilidad de manejo es advertir de la presencia de niebla en la zona, informar acerca de

normas, reglamentaciones y recomendaciones en tales casos y orientar al usuario a través de indicaciones.

Esta señalización vial debe ser clara, sencilla y con precisión, ya que el usuario debe interpretar la señalización a la brevedad posible, la cual debe llamar la atención al momento de transitar sobre la zona. Debe existir una sencillez en la señalización basada en códigos o reglamentos vigentes para el país. Cada señal instalada en las zonas de niebla se debe de comprender y reaccionar de forma inmediata cuando el conductor lo necesite.

La señalización vial para tramos en zonas de dificultad de manejo se conforma por señalización horizontal y señalización vertical.

3.2. Señalización vertical

La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) (2004), indica que la señalización vertical está destinada a la colocación de dispositivos de señales las cuales están colocadas sobre el nivel de terreno, de tal manera que puedan ser observadas de la mejor forma por los conductores, con el objetivo de transmitir mensajes a los usuarios de la vía. Las señales verticales debe de ser legibles, colocadas en la posición correctas y limpias todo el tiempo.

La señalización vertical se clasifica en los siguientes tipos: señales de reglamentación, señales prevención y señales de información. (p. 9)

3.2.1. Requisitos de las señales verticales

3.2.1.1. Visibilidad

El Ministerio de Transporte (2004) sostiene que la ubicación debe ser adecuada y legible para los conductores, deben de tener una buena visibilidad con el objetivo de reducir los tiempos de reacción del usuario y con esto tener una respuesta ante la información que se plantea en la señal.

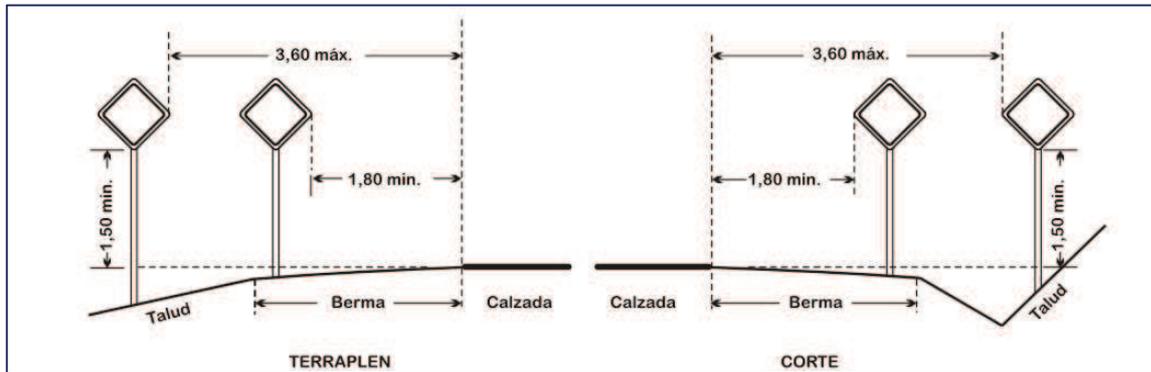
Las señales deben de cumplir con los tamaños de letras, leyendas, símbolos, formas y un buen grado de reflectividad según lo indican los manuales de cada país. (p. 12)

3.2.1.2. Ubicación lateral

El Ministerio de Transporte (2004), indica que las señales verticales se colocan en el sentido del tránsito y siempre del lado derecho. Se recomienda que la señal vertical y el eje central de la vía formen un ángulo de 85° a 90° ya que con estas ubicaciones se incrementa la visibilidad.

En las carreteras el rango de distancias de las señales debe ser de 1.80 metros a 3.60 metros máximo del extremo del borde interior de la señal hasta la demarcación del carril en el pavimento. (p. 12)

Figura 2. **Ubicación de las señales verticales**



Fuente: Ministerio de Transporte (2004), p. 13.

3.2.1.3. Ubicación longitudinal

El Ministerio de Transporte (2004) sostiene que la ubicación de las señales verticales debe de estar ubicadas a una distancia mínima de la velocidad de diseño de la carretera en kilómetros por hora dada la longitud en metros. (p. 14)

Tabla VII. **Distancia mínima para la colocación de señales, con base en la velocidad de diseño**

Velocidad de diseño km/h	Distancia mínima para la colocación de señales, en m
30	30
40	40
50	50
60	60
80	80

Fuente: Ministerio de Transporte (2004), p. 14.

3.2.1.4. Altura

El Ministerio de Transporte (2004), indica que en zonas rurales la señal vertical no debe ser menor de 1.80 metros desde el extremo inferior del tablero hasta el nivel de rasante de la carretera.

En zonas urbanas la señal vertical no debe ser menor de 2.00 metros desde el extremo inferior del tablero hasta el nivel de rasante de la carretera. (p. 14)

3.2.2. Señales de reglamentación

Durán Ortiz (2000) indica que son las que dan a conocer al conductor las limitaciones, prohibiciones y restricciones en tramo carretero según las normas de tránsito y carreteras de cada país. (p. 32)

Algunas señales de reglamentación son:

- Series de límites de velocidad
- Serie restricción de giros y maniobras
- Serie para intersecciones con semáforos
- Serie dirección de circulación
- Serie exclusión de flujos
- Serie restricción de dimensiones, peso y tipo de carga
- Serie otras restricciones al conducir

3.2.3. Señales de prevención

Según SIECA (2004), las señales de prevención indican los peligros que prevalecen el tramo carretero. (p. 10)

Algunas señales de prevención se colocan debido a:

- Serie de cambios en el alineamiento horizontal
- Serie proximidad de intersecciones o entronques
- Serie condiciones de peligro

3.2.4. Señales de información

Las señales de información son los dispositivos que proporcionan los nombres y ubicaciones de poblados, municipios o departamentos, información geográfica, cultural o recreacional.

SIECA (2004), define que las señales de información sirven para:

- Serie de identificar rutas
- Serie dirección ruta
- Serie kilometraje y nomenclatura vial
- Serie información destino y distintas vías convencionales. (p. 77)

3.3. Reflectividad en zonas de dificultad en visibilidad de manejo

Durán Ortiz (2000), sostiene que la reflectividad es el fenómeno en el cual una señal devuelve luz al medio en mayor o menor proporción de la que incide sobre él. (p. D 2)

Es por eso que las señales viales deben ser visibles e identificables en cualquier hora del día y bajo condiciones climáticas específicamente cuando en los tramos carreteros hay presencia de niebla o neblina.

Una señal con reflectividad baja reduce la capacidad del conductor en detectar, reconocer y reaccionar ante lo que la señal indique.

Para determinar el coeficiente de reflectividad de una superficie es necesario definir los conceptos de iluminancia y luminancia.

Iluminancia es el rayo de luz que cae sobre una superficie, sus dimensionales son lux y luminancia es la luz que regresa por medio de reflectividad. Luminancia es la relación de la intensidad de una fuente de luz candela (cd) y el área de superficie.

El coeficiente de reflectividad se calcula de la siguiente:

$$RA = \frac{\text{luminancia}}{\text{iluminancia}}$$

$$\text{Luminancia} = \frac{\text{Intensidad de luz}}{\text{area}}$$

$$\text{Iluminancia} = \frac{\text{lumenes}}{\text{area}}$$

Fuente: Durán Ortiz (2000), (p. D 2)

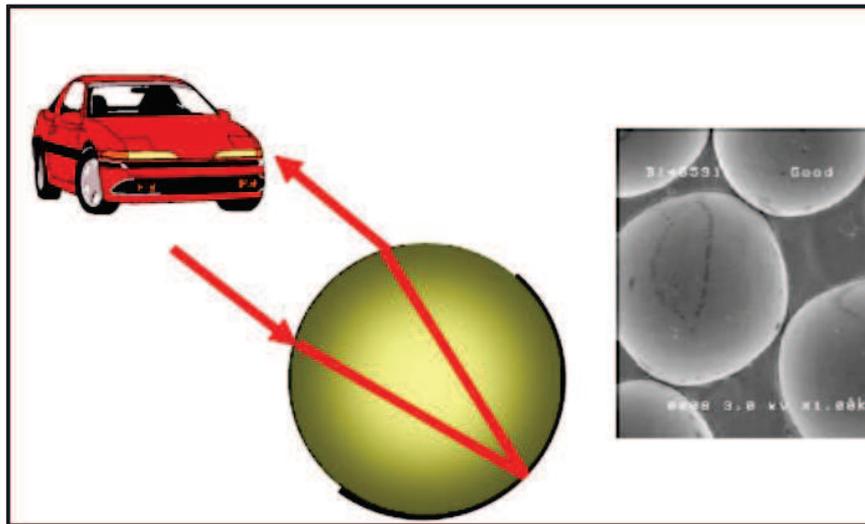
Las dimensionales de luminancia son cd/m^2 y las de iluminancia son lúmenes/m^2 que equivale a lux. Siendo las dimensionales de coeficiente de reflectividad cd/lux.m^2 .

3.3.1. Reflexión esférica

Durán Ortiz (2000), indica que la reflexión esférica se produce cuando las señales están formadas por micro esferas de vidrio. Esto ocurre cuando un rayo de luz incide y se refracta mientras penetra las micro esferas de vidrio y refleja sobre una superficie que se ubica detrás de estas hacia la fuente de luz.

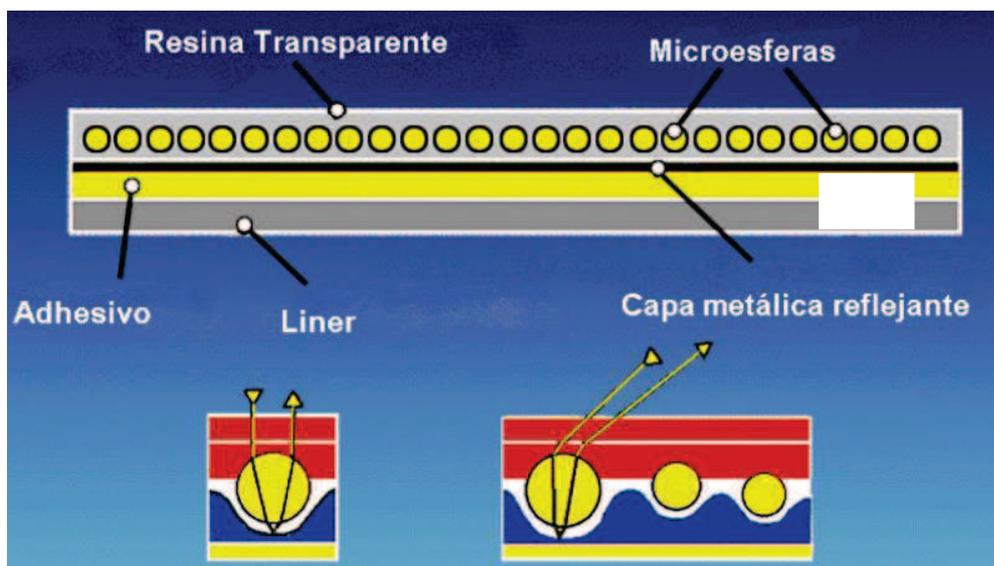
Las micro esferas están compuestas de varios tipos de láminas y cubiertas por películas suaves. (p. 28)

Figura 3. **Micro esferas de vidrio**



Fuente: Baeta García (2011), p. 34.

Figura 4. **Lámina con micro esferas de vidrio**



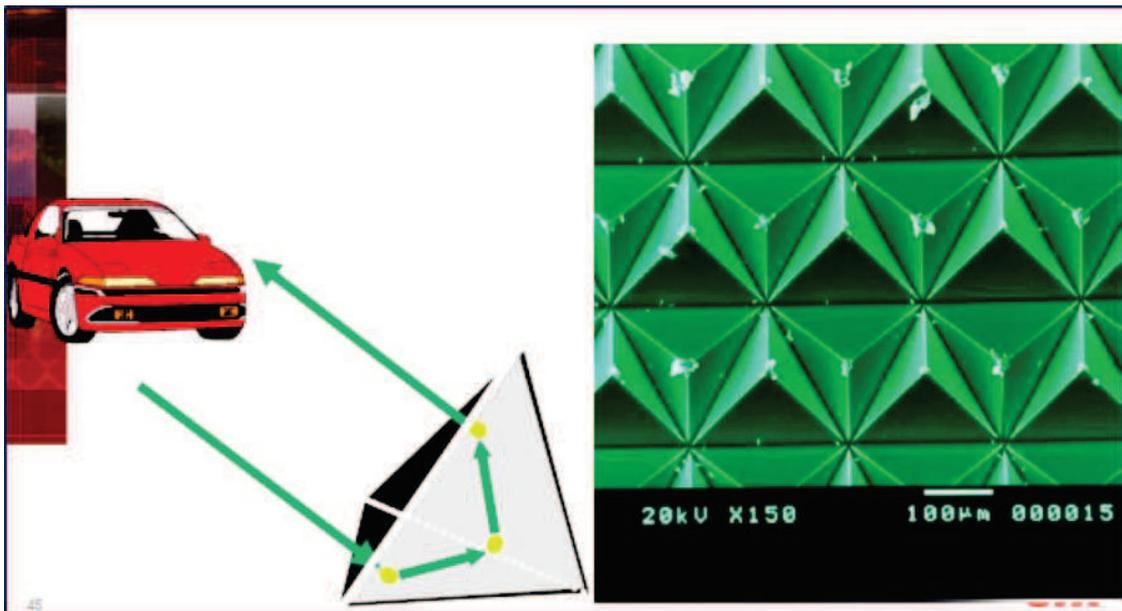
Fuente: Baeta García (2011), p. 33.

3.3.2. Reflexión microprisma

Durán Ortiz (2000), explica que la reflexión microprisma es la que está formada por superficies prismáticas entre sí. La reflexión se da cuando un rayo de luz incide en las superficies del microprisma reflejando la luz en paralelo de la fuente de luz.

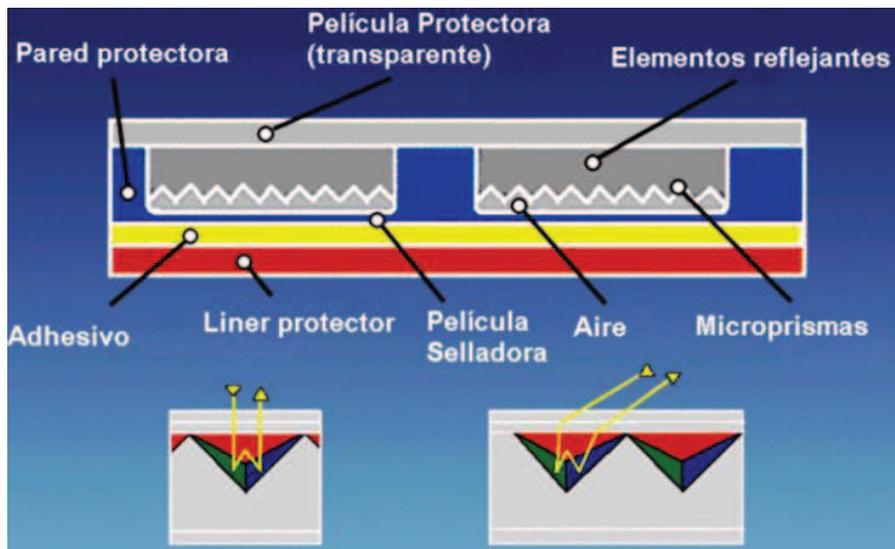
Los microprismas están compuestos de varios tipos de láminas. (p. D 2)

Figura 5. **Microprismas de vidrio**



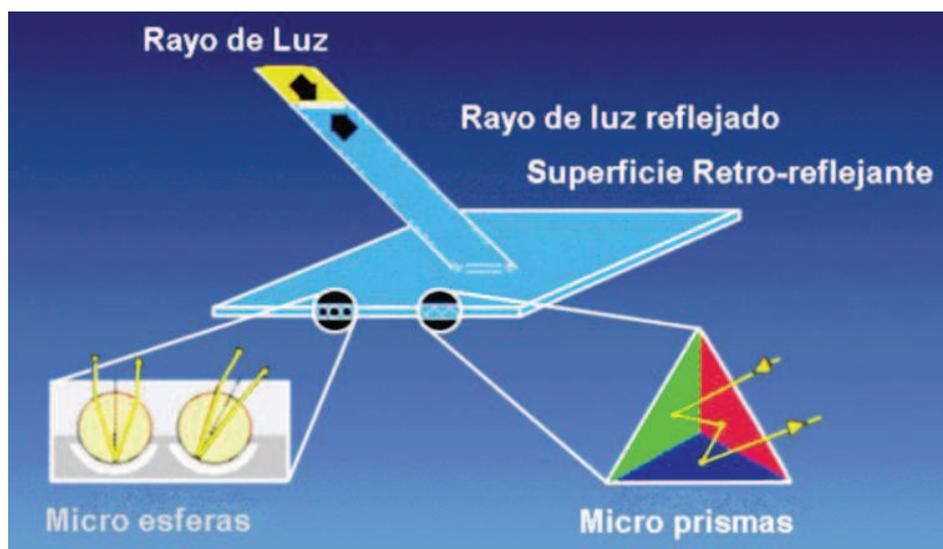
Fuente: Baeta García (2011), p. 37.

Figura 6. Lámina con microprismas



Fuente: Baeta García (2011), p. 36.

Figura 7. Diagrama de reflexión de micro esferas y microprismas



Fuente: Baeta García (2011), p. 7.

3.3.3. Factores y propiedades reflectivas

Baeta García (2011), indica que existen algunas condiciones que afectan directamente la reflectividad en la señalización vial. (p. 8)

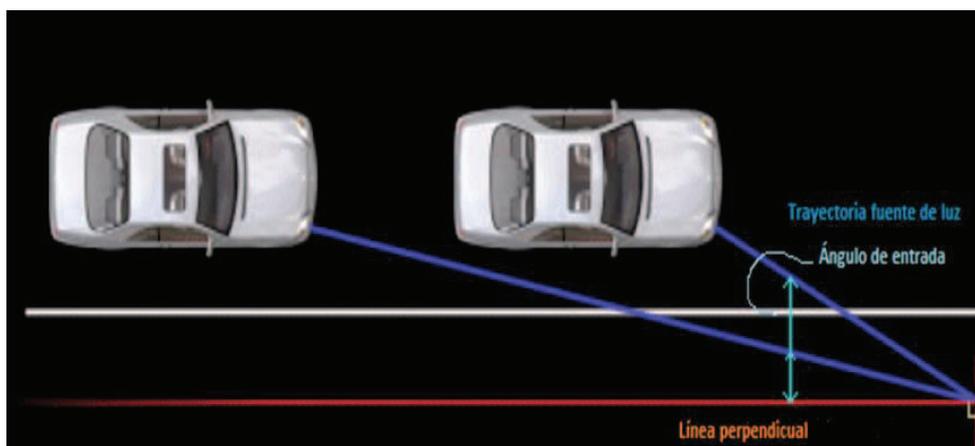
Entre los factores más importantes están:

- Ángulo de entrada
- Ángulo de observación
- Tipos de películas reflectivas.

3.3.3.1. Ángulo de entrada

Baeta García (2011), sostiene que es el ángulo que se genera entre el rayo de luz que se dirige a la superficie de la señal en un punto y una línea perpendicular a la superficie de la señal en el mismo punto. (p. 10)

Figura 8. Ángulo de entrada



Fuente: Baeta García (2011), p. 11.

3.3.3.2. Ángulo de observación

Baeta García (2011), indica que el ángulo de observación es el ángulo que se genera entre la trayectoria del rayo de luz hacia la superficie de la señal y la línea formada por la luz reflejada en el ojo del conductor.

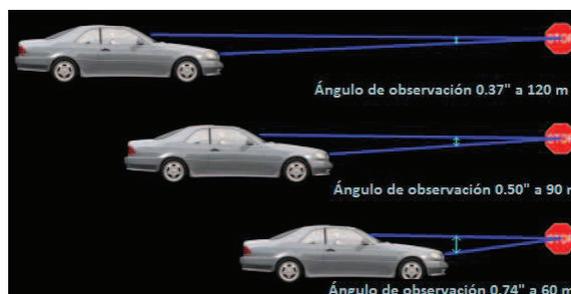
Los ángulos de observación varían conforme la distancia que se encuentra el conductor hacia la señal y el tipo de vehículo que transita. (p. 12)

Figura 9. Ángulo de observación



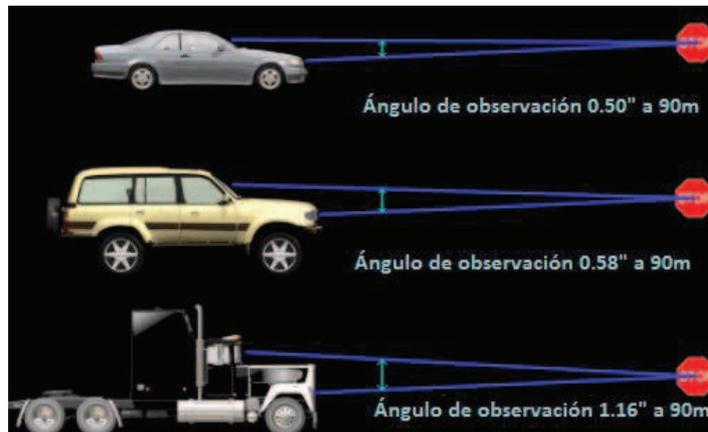
Fuente: Baeta García (2011), p. 12.

Figura 10. Variación del ángulo de observación en función de la distancia



Fuente: Baeta García (2011), p. 13.

Figura 11. **Variación del ángulo de observación en función de la altura**



Fuente: Baeta García (2011), p. 14.

3.3.3.3. Tipos de películas reflectivas

Durán Ortiz (2000), sostiene que en la actualidad hay tres tipos de materiales reflectivos para señalización en carreteras las cuales son: (p. D 3)

- Grado ingeniería
- Alta intensidad prismático
- Grado diamante cubo

3.3.3.3.1. Grado ingeniería

Durán Ortiz (2000), indica que este tipo de lámina reflejante se aconseja utilizarse en zonas de tráfico comercial y no crítico. (p. D 6)

Las características principales de este tipo de lámina son las siguientes:

- Está elaborado por micro esferas o microprisma
- La especificación técnica es de 50 a 80 cd/lux/m²
- Durabilidad es de 7 años

3.3.3.3.2. Alta intensidad prismático

Durán Ortiz (2000), sostiene que este tipo de lámina reflejante se aconseja utilizarse en zonas de control de tráfico, tramos en construcción y zonas de trabajo. (p. D 5)

Las características principales de este tipo de lámina son las siguientes:

- Elaboración con prismas truncados
- La especificación técnica es de 350 a 430 cd/lux/m²
- Durabilidad es de 10 años

3.3.3.3.3. Grado diamante cubo

Durán Ortiz (2000), indica que este tipo de lámina es el más efectivo en zonas de dificultad de manejo, tiene características en buena visibilidad y duraderos. Son funcionales en cualquier periodo del día y ante cualquier condición climática, principalmente en condiciones de lluvia, niebla y neblina en horas de la noche. (p. D 6)

- Elaboración con micro replicación prismática
- La especificación técnica es de 660 a 800 cd/lux/m²
- Durabilidad es de 10 años

3.4. Señalización horizontal

SIECA (2004), sostiene que la señalización horizontal es la aplicación de marcas viales a lo largo del alineamiento horizontal de la carretera, formadas por líneas longitudinales de tipo laterales, línea central, flechas, símbolos y vialetas a lo largo de la sección típica de la carretera o del pavimento, con los objetivos de regular, canalizar y ordenar el tránsito en situaciones especiales del tramo carretero.

Las marcas viales se pueden realizar con el uso de pintura en caliente o en frío, deben de corresponder a especificaciones de visibilidad, color, ancho y espesor. Las limitaciones principales que tiene la señalización horizontal en carreteras es el desgaste que sufren por el tránsito diario que sobrepasan por ellas y condiciones climáticas de lluvia y neblina hacen que pierda reflectividad y espesor de pintura en el pavimento.

Los tipos de señales horizontales que existen son:

- Líneas longitudinales
- Líneas transversales
- Otras demarcaciones. (p. 114)

Figura 12. **Líneas longitudinales**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Líneas transversales**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Otras demarcaciones**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Líneas longitudinales

SIECA (2004), sostiene que son las líneas que se ubican paralelas al eje de la carretera. Las funciones de las líneas longitudinales son las siguientes:

- Regulación del tránsito
- Separar sentidos de circulación
- Delimitación de carriles
- Delimitación de bordillos y arriate central. (p. 115)

3.4.1.1. Colores utilizados en carreteras

3.4.1.1.1. Amarillo

SIECA (2004), indica que las líneas longitudinales de color amarillo se utilizan en:

- Separación del tránsito en sentidos opuestos
- Línea lateral interna en carreteras de cuatro carriles
- Línea lateral izquierda en sentido del tránsito en carreteras de dos carriles en un mismo sentido

La línea amarilla discontinua es utilizada en carreteras de dos carriles con sentidos opuestos donde es permitido rebasar. En casos donde la línea amarilla es continua no es permitido rebasar. (p. 115)

El ancho debe ser entre 10 a 15 centímetros. En casos discontinuos los segmentos deben de ser 4.5 metros y las separaciones de 7.5 metros. El espesor húmedo de la capa debe ser no menos de 3.8 milímetros según Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000).

3.4.1.1.2. Blanco

SIECA (2004), sostiene que las líneas longitudinales de color blanco se utilizan en los siguientes casos:

- Separación de carriles en el mismo sentido
- Demarcación de bordillos
- Área peatonal

- Áreas de estacionamientos

En la especificación de color las líneas longitudinales de color blanco se utilizan para la división de carriles en el mismo sentido y las líneas longitudinales de color amarillo se utilizan para la división de carriles en sentido contrario. (p. 115)

El ancho debe ser entre 10 a 15 centímetros. En casos discontinuos los segmentos deben de ser 4.5 metros y las separaciones de 7.5 metros.

El espesor de la capa debe ser no menos de 3.8 milímetros según Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000).

3.4.1.2. Materiales para demarcar

Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A (2000), sostiene que para las demarcaciones horizontales existen varios tipos de materiales, entre los más utilizados se tiene:

- Pintura en frío
- Pintura en caliente
- Aplicación de preformados. (p. 706-1)

3.4.1.2.1. Pintura en frío

Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000), sostiene que es la pintura convencional que se aplica a las superficies de los pavimentos con el objetivo de conseguir una película después del secado. Los tipos más comunes son acrílicas y alquímicas. (p. 706-3)

3.4.1.2.2. Pintura en caliente

Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000), indica que son pinturas sólidas que se aplican después del calentamiento por métodos de pulverización o extrusión entre otros. Al secarse la película se solidifica el material sobre el pavimento.

Las pinturas termoplásticas se componen por medio de resinas y pigmentos. Su aplicación en caliente debe de realizarse entre a $220\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ con el objetivo de que se adhiera el pavimento con la pintura termoplástica. (p. 706-4)

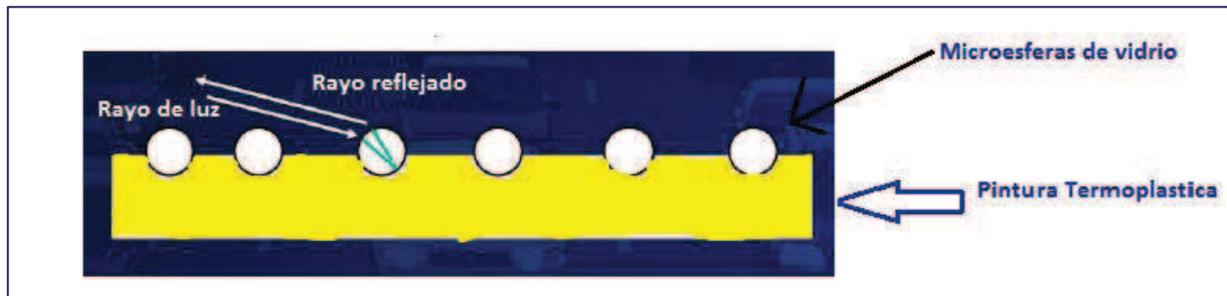
3.4.1.2.3. Aditivos de pintura para mejorar reflectividad

Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000), sostiene que uno de los principales aditivos que se utiliza en las pinturas termoplásticas para mejorar la reflectividad en las carreteras es la incrustación de esferas de vidrio dentro de la película termoplástica.

Las esferas de vidrio se deben de aplicar a una razón de 9.8 kilogramos por cada 100 metros cuadrados de línea. Las esferas de vidrio deben de penetrar en la pintura termoplástica de un 55 al 60% de la superficie para tener buena reflectividad y adherencia.

Las micro esferas de vidrio deben de cumplir con las especificaciones de AASHTO-M 247 y ASTM D1214 para un mejor desempeño. (p. 706-4)

Figura 15. **Reflectividad en micro esferas de vidrio**



Fuente: elaboración propia.

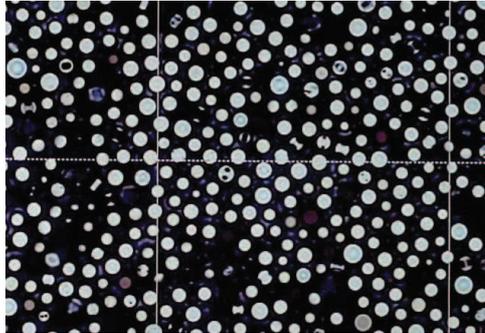
Una de las limitantes de la reflectividad en las pinturas termoplásticas es cuando hay presencia de efectos climáticos, principalmente cuando existe presencia de lluvia.

Figura 16. **Diagrama de reflectividad en micro esferas de vidrio en condiciones de lluvia**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. **Vista microscopia de micro esferas de vidrio**



Fuente: Baeta García (2011), p. 35.

3.4.1.2.4. Aplicación de preformados

Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000), indica que son materiales que se manufacturan en formas de lámina o cintas para ser colocados en los pavimentos por medio de calor, presión o adhesivos especiales. (p. 706-4)

Figura 18. **Figura de lámina prefabricada**



Fuente: Materiales de Señalización horizontal y resistencia al deslizamiento (2010), p. 18.

La siguiente tabla muestra la comparación de reflectividad mínima que debe tener una pintura de base solvente y base agua y la pintura termoplástica para los colores blancos y amarillos.

Tabla VIII. **Reflectividad mínima para pinturas en color blanco y amarillo**

Color	Reflectividad mínima (cd/lx/m ²)					
	Pinturas base solvente y base agua			Pintura termoplástica		
	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto
Blanco	250	150	100	300	250	150
Amarillo	200	150	50	250	175	100

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, (2014), p. 3.

Como en el caso de la señalización vertical también se dan los casos de ángulo de observación, el cual es el ángulo que se forma de la demarcación horizontal del pavimento y la vista del conductor y el ángulo de iluminación es el ángulo que se forma del rayo de luz provocado por las lámparas de los vehículos y demarcación horizontal del pavimento.

3.4.1.3. Consideraciones para lograr un buen desempeño de la pintura

Cabarrús (s.f), muestra que para un mejor desempeño de las pinturas termoplásticas y una mayor durabilidad se recomienda lo siguiente:

- La superficie donde se colocará la pintura debe estar totalmente limpia, libre de todo tipo de impurezas
- El pavimento debe estar totalmente seco y sin humedad
- El espesor debe ser uniforme a lo largo de toda la línea horizontal
- La cantidad de micro esferas de vidrio debe ser uniforme en toda la línea central
- Debe de esperar suficiente tiempo para que la pintura seque y se adhiera al pavimento. (p. 2)

3.4.2. Líneas transversales

SIECA (2004), indica que las líneas transversales son las líneas que se demarcan perpendiculares al eje de la carretera. Sus funciones son el paro total de vehículos, área de paso peatonal o de ciclistas. En carreteras de Guatemala no son utilizadas las líneas transversales. (p. 117)

3.4.3. Vialitas

SIECA (2004), sostiene que las vialitas son un complemento de las demarcaciones horizontales las cuales resaltan sobre el pavimento, el objetivo es guiar y canalizar el tránsito en las direcciones que se requieren. Estas deben ser colocadas de acuerdo a los planos de cada proyecto y de las características de visibilidad de las mismas. (p. 117)

Se debe utilizar un material epóxico adecuado para garantizar la adherencia de las vialitas en el pavimento. Las vialitas deben ser obligatoriamente colocadas donde existe zonas de dificultad de manejo en casos de niebla, neblina y lluvia.

El material reflectivo está formado por lentes prismáticos de policarbonatos.

Figura 19. **Vialeta color amarillo**



Fuente: elaboración propia.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaluación de señalización tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatempa, Jutiapa, Guatemala

4.1.1. Descripción del tramo carretero

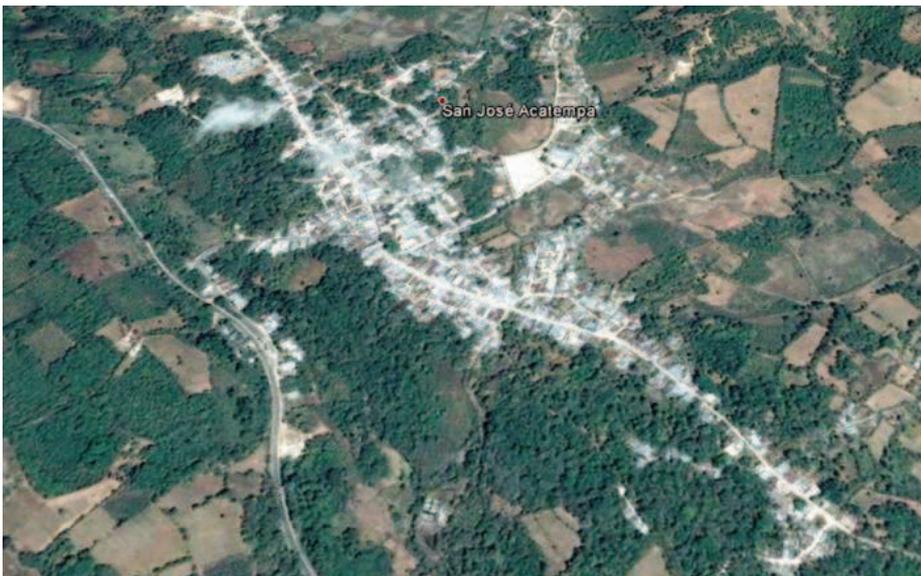
La carretera CA-01 Oriente es la vía de comunicación que interconecta la ciudad de Guatemala con la república de El Salvador, a través de la frontera denominada San Cristóbal. También sirve para interconectar los departamentos de Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa, así como los diferentes municipios que los conforman. Por tal motivo es uno de los principales ejes de comunicación dentro de la red vial de Guatemala.

Esta carretera es transitada por transporte pesado el cual lleva productos y mercadería de la ciudad capital hacia los distintos puntos de la región oriente del país, así como el intercambio de comercio que existe con el país vecino de El Salvador.

Debido a que la CA-01 Oriente es una carretera sumamente importante es necesario mantenerla en óptimas condiciones, con el fin de proporcionar seguridad vial a los usuarios de la ruta. Parte de esta seguridad vial que se puede ofrecer en una carretera es mantener una señalización vial adecuada, que cumpla con los reglamentos nacionales y centroamericanos, con el fin de prevenir, reglamentar e informar a los conductores las características de la zona en circulación.

El tramo carretero de la CA-1 Oriente, del kilómetro 85+000 al 95+000 pertenece al municipio de San José Acatempa, departamento de Jutiapa. Este tramo tiene la característica que es afectado por aspectos naturales de niebla y neblina lo cual hace que haya dificultad en visibilidad de manejo. El tipo de niebla que se da en esta zona es por precipitación y por ladera. Generalmente estas condiciones climáticas prevalecen en la época de invierno, principalmente en periodos de tarde, noche y madrugada.

Figura 20. **Fotografía área, San José Acatempa**



Fuente: Google Earth.

Una de las pocas soluciones que se pueden proporcionar al tramo carretero en estudio es el mejoramiento de la señalización vial, debido a que en horas de la tarde y principalmente en la noche es imposible distinguir el alineamiento horizontal de la carretera debido a la densidad de niebla que se da

en el lugar. El tipo de niebla que prevalece en el tramo es niebla por precipitación y niebla por ladera.

Las características del tramo carretero del kilómetro 85+000 al 95+000 son las siguientes:

- Pendiente máxima de 6%
- Velocidades de diseño entre 30 kilómetros por hora hasta 80 kilómetros por hora
- Tiene 22 curvas horizontales
- La sección típica es de dos carriles de 3.60 metros cada uno, hombro de un metro en cada lado y cunetas tipo “L” de un metro en cada lado
- El tramo carretero está compuesto por pavimento flexible

Figura 21. **Fotografía del tramo carretero, estación 90+350**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Inventario de señalización existente

En el tramo CA-1 Oriente kilómetro 85+000 al 95+000 existe una escasa e insuficiente señalización vial, dentro del contexto del diseño geométrico y la alta presencia de niebla, las principales deficiencias se presentan a continuación.

4.1.2.1. Señalización vertical

Deficiencias en cantidad

- Hay más de 22 curvas horizontales de las cuales 11 están identificadas del lado izquierdo y 4 del lado derecho
- En los 10 kilómetros, existen 8 rótulos de kilometraje del lado izquierdo y 6 rótulos de kilometraje del lado derecho
- Solamente hay un rotulo informativo doble donde se indica la presencia de neblina que corresponde al lado izquierdo
- No hay postes delineadores en cuencas, cabezales o tuberías que estén en peligro

Deficiencias en calidad

- Oxidación parcial de los postes y de la propia señalización
- Señales pintadas por actos vandálicos
- Señales perforadas por actos vandálicos
- Falta de visibilidad por el exceso de vegetación alrededor de las señales
- Mal colocadas a lo largo del tramo, en algunos casos una detrás de otra
- Agrietamientos

- Acumulación de polvo y suciedad
- Hay algunas señales que tienen menos de 1.50 metros del nivel de asfalto a la parte inferior de la señal
- La mayoría de señales no forman ángulo recto respecto al flujo vehicular

Deficiencias en reflectividad

- No se muestra la misma forma y color, tanto de día como de noche en la mayoría de señales
- Decoloración en la señal
- Formación de pequeñas escamas que permiten la visión de las capas subyacentes
- Aparición de ampollas en la superficie reflectante o pintada de la señal
- Pérdida de fragmentos de material reflectante o pintura
- Desgaste de material reflectante o de la pintura

4.1.2.2. Señalización horizontal

- Ausencia total en gran parte del tramo de línea central amarilla
- Ausencia total en ambos lados de la carretera de líneas laterales blanca
- Desgaste de la pintura en línea central y laterales
- Falta de esferas de vidrio a lo largo de la demarcación
- Insuficiente cantidad de vialetas
- Vialetas en mal estado

A continuación se presente una serie de fotografías donde se demuestra la deficiencia de la señalización vial de la carretera, en sus aspectos horizontal y vertical.

Figura 22. **Fotografía señalización vertical dañada, estación 90+360**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Fotografía señalización vertical dañada, estación 91+320**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 91+050**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 89+637**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 91+800**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 92+900**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 94+300**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Fotografía señalización horizontal dañada, estación 95+000**



Fuente: elaboración propia.

La tabla siguiente muestra la cantidad de curvas horizontales, las características y las tangentes que tiene el tramo carretero objeto de estudio.

Tabla IX. **Curvas horizontales, radio, grado de curvatura, delta, velocidad de diseño y tangente entre curvas**

No.	ESTACIÓN PC	ESTACIÓN PT	LONGITUD DE CURVA	CURVA	RADIO	G	Δ	VELOCIDAD	TANGENTE
1	84+965.82	85+265.81	299.99	DERECHA	381.97	3°	44°59'52"	70 Km/h	-----
2	85+557.64	85+691.71	134.07	IZQUIERDA	381.97	3°	20°06'36"	70 Km/h	291.83
3	85+744.54	85+985.05	240.51	DERECHA	269.63	4°15'	51°06'31"	70 Km/h	52.83
4	86+054.32	86+352.64	298.32	IZQUIERDA	416.7	2°45'	41°01'13"	80 Km/h	69.27
5	86+686.37	86+795.37	109.00	DERECHA	1145.96	1°	05°26'59"	80 Km/h	333.73
6	87+267.57	87+564.03	296.46	IZQUIERDA	1587.89	0.72°	10°41'50"	80 Km/h	472.20
7	88+442.87	88+688.29	245.42	IZQUIERDA	2291.83	0°30'	06°08'08"	80 Km/h	878.84
8	89+344.96	89+562.19	217.23	DERECHA	1145.92	1°	10°51'40"	80 Km/h	656.67
9	90+061.23	90+203.28	142.05	DERECHA	1145.92	1°	07°06'09"	80 Km/h	499.04
10	90+877.24	91+124.8	247.56	DERECHA	1145.92	1°	12°22'40"	80 Km/h	673.96
11	91+206.94	91+488.3	281.36	IZQUIERDA	286.48	4°	56°16'16"	80 Km/h	82.14
12	91+955.49	92+155.49	200.00	IZQUIERDA	572.96	2°	20°00'00"	70 Km/h	467.19

13	92+155.49	92+506.07	350.58	IZQUIERDA	763.94	1°30'	26°17'37"	70 Km/h	0.00
14	92+596.78	92+686.11	89.33	DERECHA	81.85	14°	62°31'54"	50 Km/h	90.71
15	92+741.36	92+819.07	77.71	IZQUIERDA	127.32	9°	34°58'19"	30 Km/h	55.25
16	92+898.8	92+960.33	61.53	IZQUIERDA	127.32	9°	27°41'18"	30 Km/h	79.73
17	93+047.8	93+133.39	85.59	DERECHA	104.17	11°	47°04'40"	50 Km/h	87.47
18	93+189.34	93+249.24	59.90	IZQUIERDA	127.32	9°	29°10'57"	50 Km/h	55.95
19	93+356.63	93+474.36	117.73	DERECHA	190.99	6°	35°19'02"	70 Km/h	107.39
20	93+718.34	93+853.97	135.63	IZQUIERDA	286.48	4°	27°07'37"	80 Km/h	243.98
21	94+056.89	94+470.05	413.16	DERECHA	229.18	5°	103°17'26"	80 Km/h	202.92
22	94+575.76	95+063.12	487.36	IZQUIERDA	286.48	4°	97°28'22"	80 Km/h	105.71

Fuente: planos realizados por la empresa supervisora.

A continuación se presenta un listado de señalización existente.

Tabla X. **Inventario de señalización existente, lado izquierdo**

No.	ESTACIÓN	TIPO DE SEÑALIZACIÓN	CÓDIGO	OBSERVACIONES
1	85+000	Rótulo Kilometraje 85		
2	85+220	Defensa Metálica		Longitud de 40 m. Estación 85+220 a 85+260
3	85+580	Curva izquierda	P-1-2	
4	86+000	Rótulo Kilometraje 86		
5	86+300	Curva	P-1-4	
6	87+460	Rótulo informativo doble		*El Molino 13, Los Esclavos 31*. Dimensiones: 2.40m x 0.40m cada una. Ancho de letra 3cm, altura sobre carpeta 1.55m
7	87+900	Curva derecha	P-1-2	
8	88+000	Rótulo Kilometraje 88		
9	89+000	Rótulo Kilometraje 89		
10	89+180	Rótulo informativo simple		*Aldea El Carpintero*. Dimensiones: 1.78m x 0.40m. Ancho de letra 3cm , altura sobre la carpeta 1.70m
11	89+637	Velocidad máxima 60 kph		
12	90+050	Curva izquierda	P-1-2	
13	90+878	Curva izquierda	P-1-2	

14	91+000	Rótulo Kilometraje 91		
15	91+320	Curva	P-1-4	
16	92+000	Rótulo Kilometraje 92		
17	92+300	Curva derecha	P-1-2	
18	92+400	Rótulo de Niebla		*Conceda Cambio de Luces. Zona de Niebla* Dimensiones: 2.40m x 0.40m cada una. Ancho de letra arriba 3cm abajo 1.5cm, altura sobre la carpeta 2.40m
19	92+700	Curva derecha	P-1-2	
20	92+800	Defensa Metálica y Chevron	P-1-9	Longitud de 60 m. Estación 92+800 a 92+860
21	93+000	Rótulo Kilometraje 93		
22	93+020	Chevron		Longitud de 60 m.
23	93+100	Defensa Metálica		Longitud de 80 m. Estación 93+100 a 93+180
24	93+393	Curva izquierda	P-1-2	
25	93+653	Curva derecha	P-1-2	
26	95+000	Curva derecha	P-1-2	
27	95+000	Rótulo Kilometraje 95		

Fuente: elaboración propia

Tabla XI. Inventario de señalización existente, lado derecho

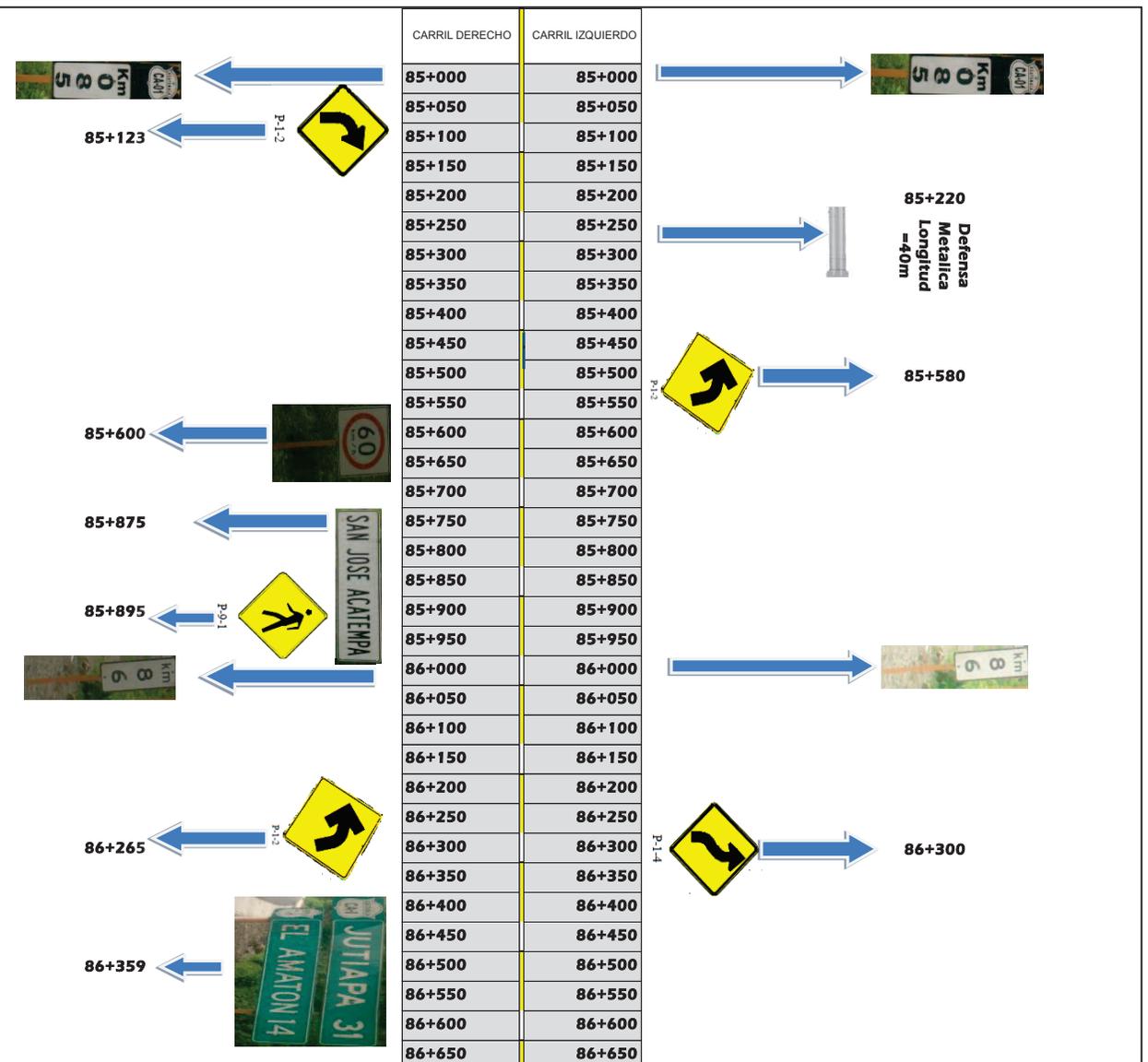
No.	ESTACIÓN	TIPO DE SEÑALIZACIÓN	CÓDIGO	OBSERVACIONES
1	85+000	Rótulo kilometraje 85		
2	85+123	Curva derecha	P-1-2	
3	85+600	Velocidad máxima 60km/h		
4	85+875	Rótulo informativo simple.		*San José Acatempa*. Dimensiones: 1.80m x 0.40m , ancho de letra 3cm.
5	85+895	Rótulo presencia de peatones	P-9-1	
6	86+265	Curva izquierda	P-1-2	
7	86+359	Rótulo informativo doble.		*Jutiapa 31 El Amatón 14*. Dimensiones: 2.40m x 0.40m cada uno, ancho de letra 4cm, Altura 1.10m
8	86+000	Rótulo kilometraje 86		
9	87+025	Rótulo informativo simple		*San José Acatempa*. Dimensiones: 1.80m x 0.40m , ancho de letra 3cm.
10	87+785	Rótulo presencia de peatones	P-9-1	
11	88+620	Rótulo presencia de peatones	P-9-1	
12	89+000	Rótulo kilometraje 89		
13	90+350	Rótulo informativo simple		Rótulo sin información
14	91+000	Rótulo kilometraje 91		

15	90+898	Curva izquierda	P-1-2	
16	91+010	Defensa Metálica		Longitud de 180 m. Estación 91+010 a 91+190
17	91+650	Rótulo informativo simple		Rótulo Poblado Próximo
18	91+720	Velocidad máxima 40km/h		
19	92+000	Rótulo kilometraje 92		
20	93+730	Rótulo informativo simple		Rótulo Poblado Próximo
21	94+275	Curva izquierda	P-1-2	
22	94+570	Velocidad 40 km/h		
23	94+740	Rótulo presencia de animales	P-10-1	
24	95+000	Rótulo kilometraje 95		

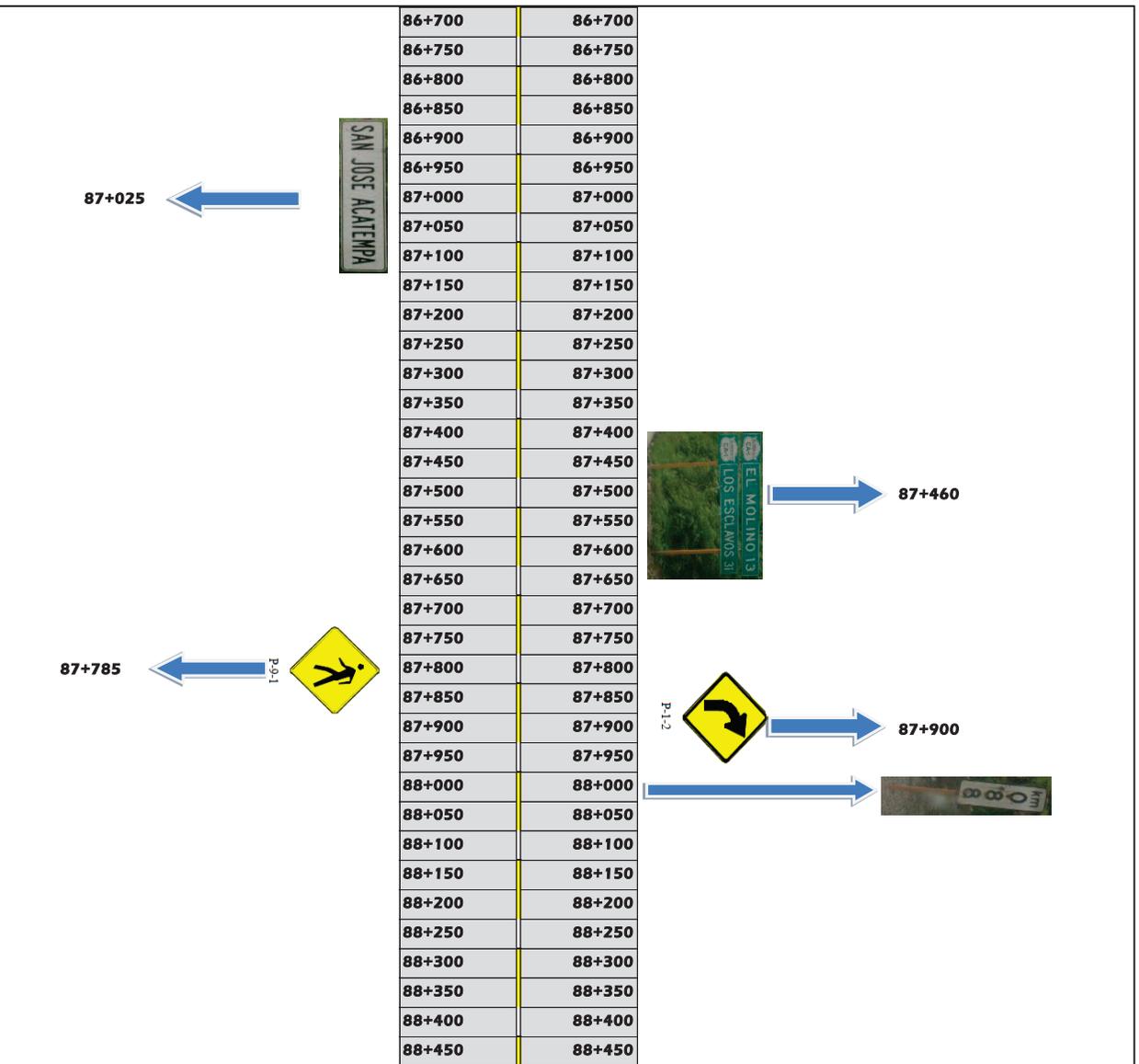
Fuente: elaboración propia.

La señalización vertical existente se presenta en el siguiente larguillo del kilómetro 85+000 al kilómetro 95+000.

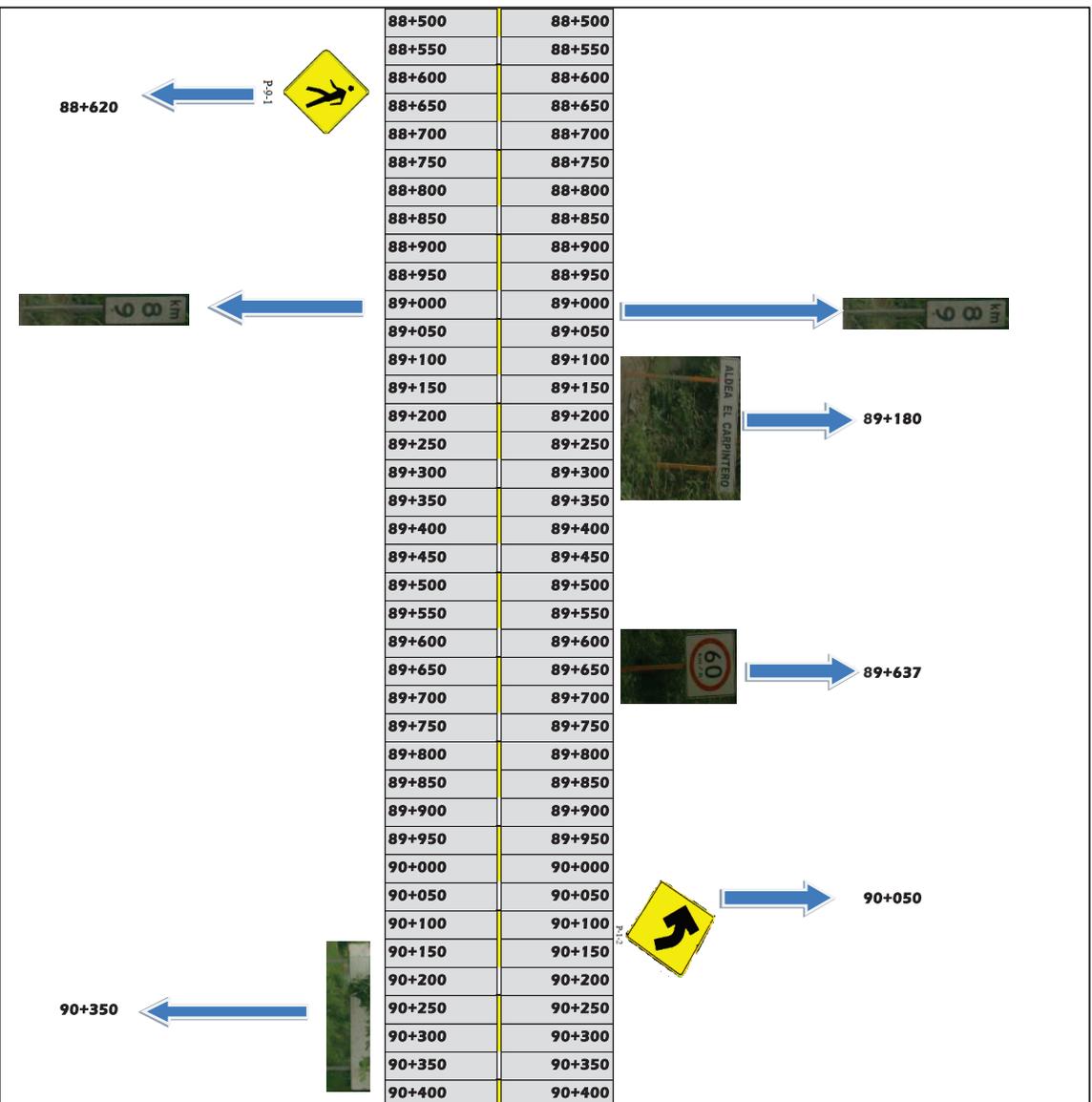
Figura 30. Larguillo de señalización vertical existente



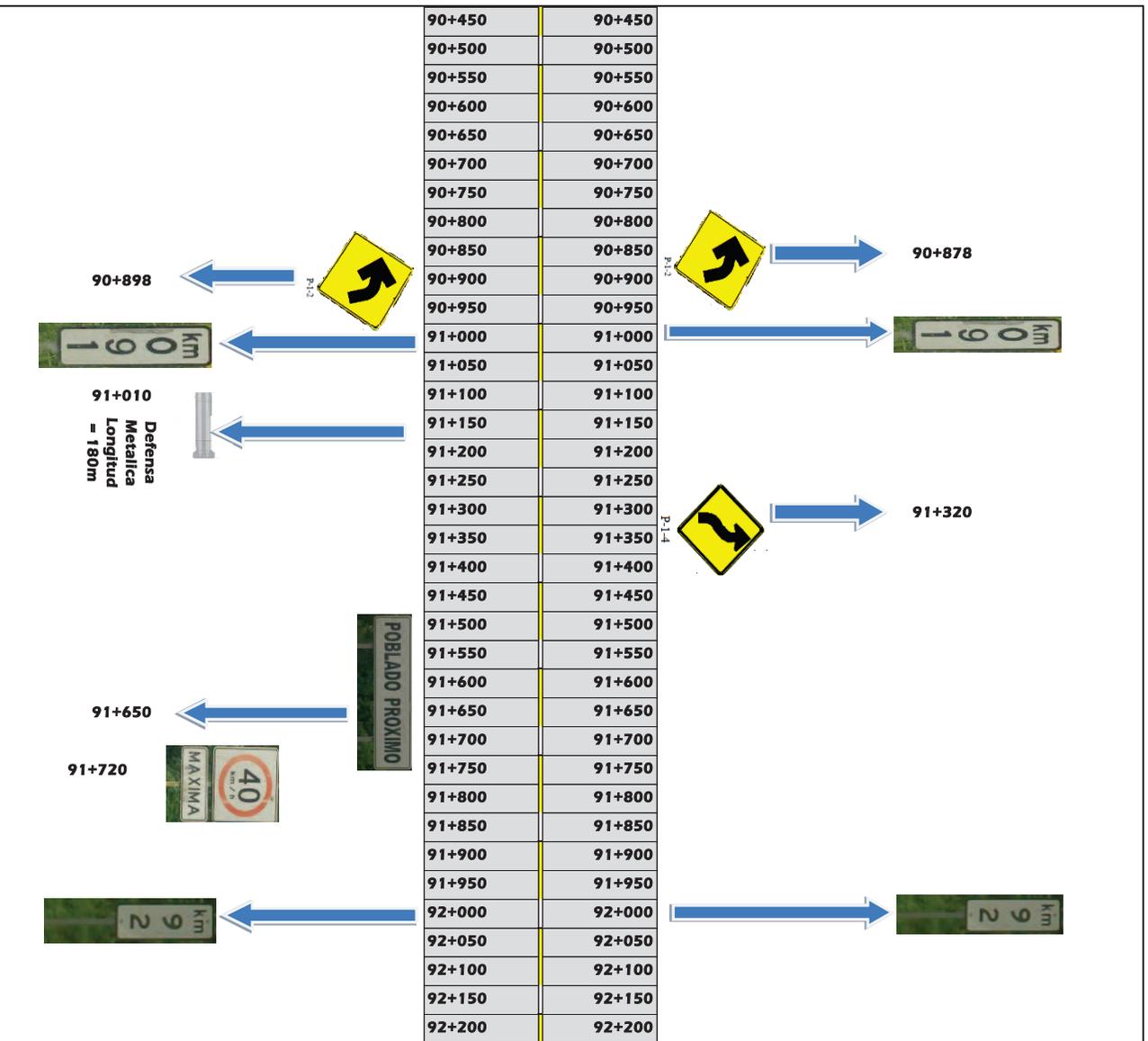
Continúa Figura 30.



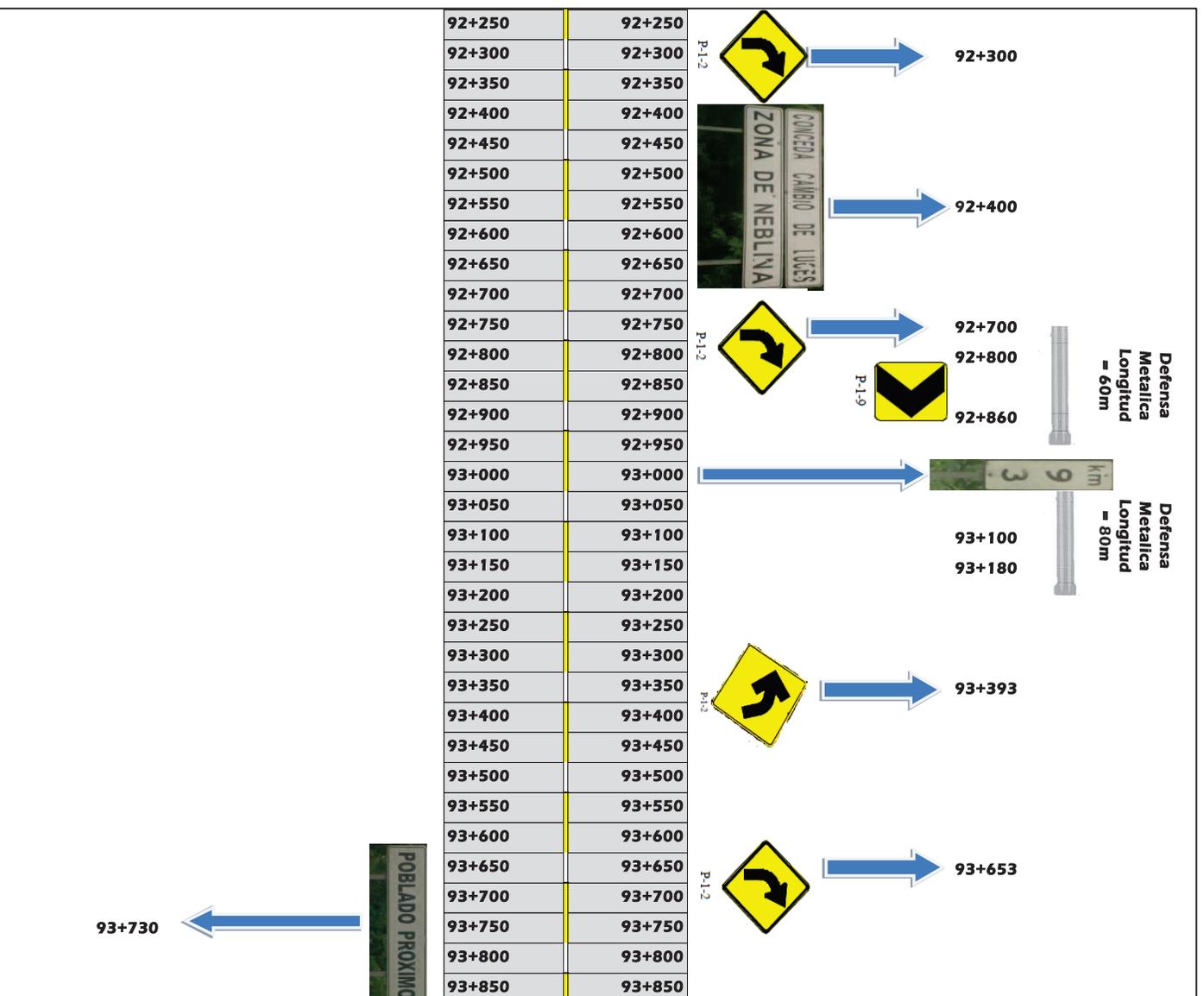
Continúa Figura 30.



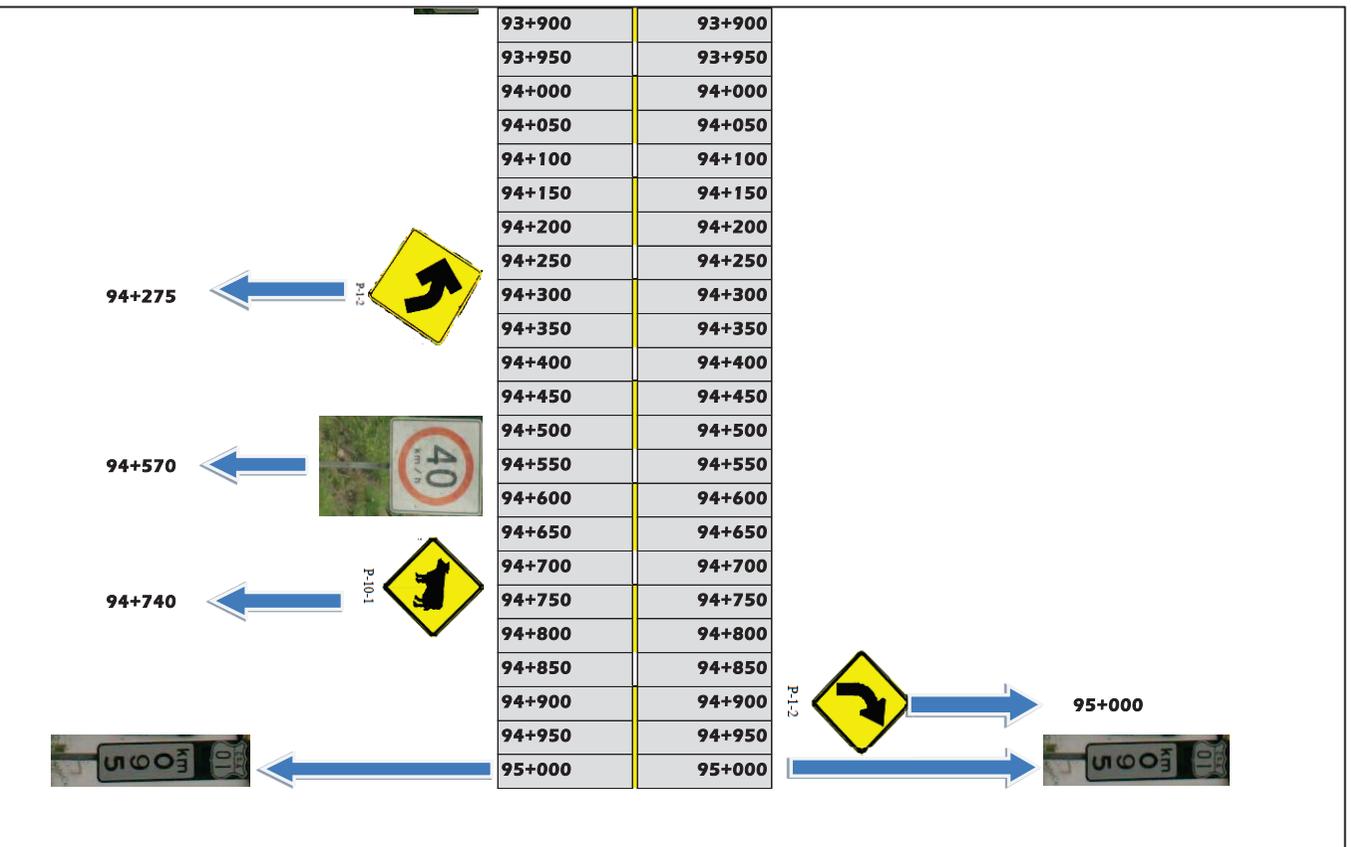
Continúa Figura 30.



Continúa Figura 30.



Continúa Figura 30.



Fuente: elaboración propia.

4.2. Propuesta de diseño de señalización, tramo CA-01 Oriente, kilómetro 85+000 al 95+000 municipio San José Acatempa, Jutiapa, Guatemala

4.2.1. Señalización vertical

Las señales verticales que se incluyen en diseño el tramo en estudio están basadas en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), las cuales deben cumplir con las siguientes características que menciona dicho manual:

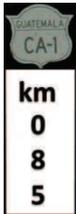
- Tamaño y tipo de letra
- Dimensiones del tablero
- Colores
- Coeficientes de reflectividad

En la propuesta de diseño del tramo en estudio se consideran dos tipos de señales verticales que se caracterizan por emitir un mensaje gráfico y de interpretación universal, basado en el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad (2014).

La primera señal es de tipo restrictivo SR-9, la cual indica velocidad máxima de 70 km/h. La segunda señal que se propone es de tipo preventiva SP-45, esta indica zona de niebla en el lugar.

A continuación se presenta la propuesta de señalización vertical dividido en señalización vertical lado derecho y señalización vertical lado izquierdo.

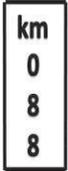
Tabla XII. Propuesta de señalización vertical lado derecho

No.	ESTACIÓN	SEÑAL	TIPO DE SEÑALIZACIÓN	CÓDIGO	REFLECTIVIDAD
1	85+000		Rótulo de kilometraje 85	II-4-1	Grado diamante cubo
2	85+010		Curva derecha	P-1-2	Grado diamante cubo

3	85+100		Señal preventiva por niebla	SP-45	Grado diamante cubo
4	85+200		Señal restrictiva	R-9	Grado diamante cubo
5	85+550		Curva	P-1-4	Grado diamante cubo

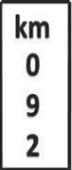
6	85+700		Señal preventiva por niebla	SP-45	Grado diamante cubo
7	85+875		Rótulo informativo simple		Grado diamante cubo
8	85+900		Rótulo presencia de peatones	P-9-1	Grado diamante cubo

9	86+000		Rótulo de kilometraje 86	II-4-2a	Grado diamante cubo
10	86+010		Curva izquierda	P-1-2	Grado diamante cubo
11	87+000		Rótulo de kilometraje 87	II-4-2a	Grado diamante cubo

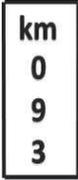
12	87+050		Rótulo informativo doble		Grado diamante cubo
13	88+000		Rótulo de kilometraje 88	II-4-2a	Grado diamante cubo
14	88+500		Señal preventiva por niebla	SP-45	Grado diamante cubo

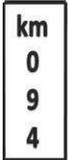
15	89+000		Rótulo de kilometraje 89	II-4-2a	Grado diamante cubo
16	89+650		Señal restrictiva	R-9	Grado diamante cubo
17	90+000		Rótulo de kilometraje 90	II-4-1	Grado diamante cubo

18	90+850		Curva derecha	P-1-2	Grado diamante cubo
19	91+000		Rótulo de kilometraje 91	II-4-2a	Grado diamante cubo
20	91+150		Curva izquierda	P-1-2	Grado diamante cubo

21	91+200		Defensa Metálica y Chevron	P-1-9	Grado diamante cubo
22	91+500		Rótulo presencia de peatones	P-9-1	Grado diamante cubo
23	92+000		Rótulo de kilometraje 92	II-4-2a	Grado diamante cubo

24	92+550		Curva Sinuosa	P-1-5	Grado diamante cubo
25	92+570		Curva derecha	P-1-1	Grado diamante cubo
26	92+700		Curva izquierda	P-1-1	Grado diamante cubo

27	92+850		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo
28	93+000		Rótulo de kilometraje 93	II-4-2a	Grado diamante cubo
29	93+150		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo

30	93+650		Curva izquierda	P-1-2	Grado diamante cubo
31	94+000		Rótulo de kilometraje 94	II-4-2a	Grado diamante cubo
32	94+010		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo

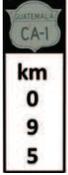
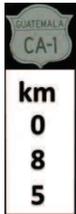
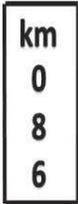
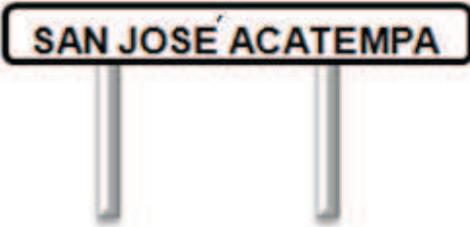
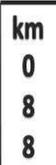
33	95+000		Rótulo de kilometraje 95	II-4-1	Grado diamante cubo
----	--------	---	--------------------------	--------	------------------------

Tabla XIII. Propuesta de señalización vertical lado izquierdo

No.	ESTACIÓN	SEÑAL	TIPO DE SEÑALIZACIÓN	CÓDIGO	REFLECTIVIDAD
1	85+000		Rótulo de kilometraje 85	II-4-1	Grado diamante cubo
2	85+180		Defensa metálica y chevron	P-1-9	Grado diamante cubo
3	85+300		Curva izquierda	P-1-2	Grado diamante cubo

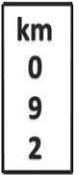
4	85+700		Señal restrictiva	R-9	Grado diamante cubo
5	85+720		Curva derecha	P-1-2	Grado diamante cubo
6	86+000		Rótulo de kilometraje 86	II-4-2a	Grado diamante cubo

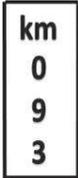
7	86+300		Rótulo presencia de peatones	P-9-1	Grado diamante cubo
8	86+400		Curva	P-1-4	Grado diamante cubo
9	86+500		Rótulo informativo simple		Grado diamante cubo

10	87+000		Rótulo de kilometraje 87	II-4-2a	Grado diamante cubo
11	88+000		Rótulo de kilometraje 88	II-4-2a	Grado diamante cubo
12	88+500		Señal preventiva por niebla	SP-45	Grado diamante cubo

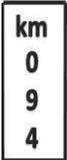
13	89+000		Rótulo de kilometraje 89	II-4-2a	Grado diamante cubo
14	90+000		Rótulo de kilometraje 90	II-4-1	Grado diamante cubo
15	90+050		Rótulo informativo doble		Grado diamante cubo

16	90+850		Señal restrictiva	R-9	Grado diamante cubo
17	91+000		Rótulo de kilometraje 91	II-4-2a	Grado diamante cubo
18	91+150		Curva derecha	P-1-2	Grado diamante cubo

19	91+700		Rotulo presencia de peatones	P-9-1	Grado diamante cubo
20	92+000		Rótulo de kilometraje 92	II-4-2a	Grado diamante cubo
21	92+600		Defensa Metálica y Chevron	P-1-9	Grado diamante cubo

22	92+740		Defensa metálica y chevron	P-1-9	Grado diamante cubo
23	92+850		Curva sinuosa	P-1-5	Grado diamante cubo
24	93+000		Rótulo de kilometraje 93	II-4-2a	Grado diamante cubo

25	93+150		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo
26	93+500		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo
27	93+900		Curva derecha	P-1-2	Grado diamante cubo

28	94+000		Rótulo de kilometraje 94	II-4-2a	Grado diamante cubo
29	94+750		Señal preventiva por niebla	SP-45	Grado diamante cubo
30	94+900		Curva	P-1-3	Grado diamante cubo

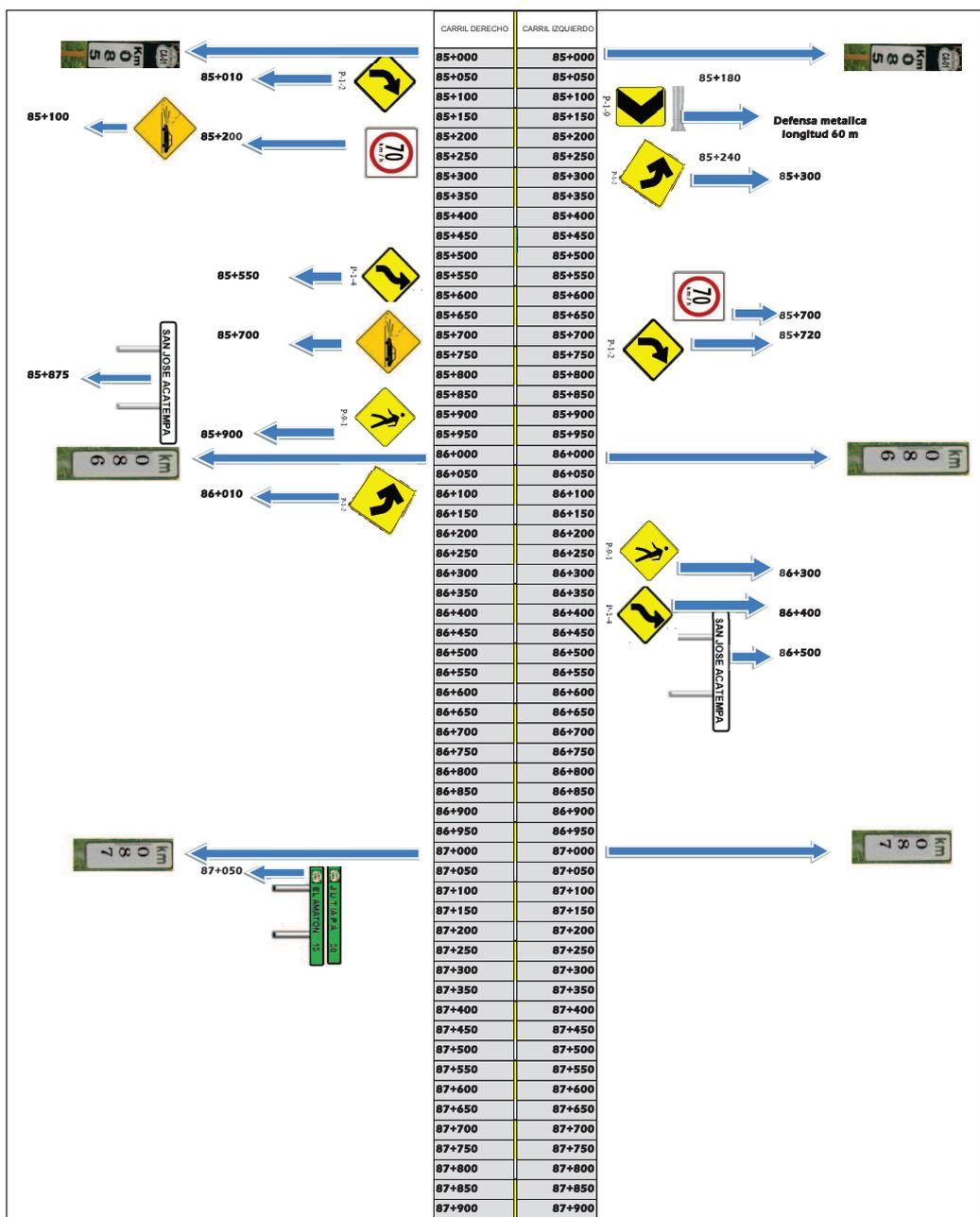
31	95+000		Rótulo de kilometraje 95	II-4-1	Grado diamante cubo
----	--------	--	--------------------------	--------	---------------------

Fuente: elaboración propia.

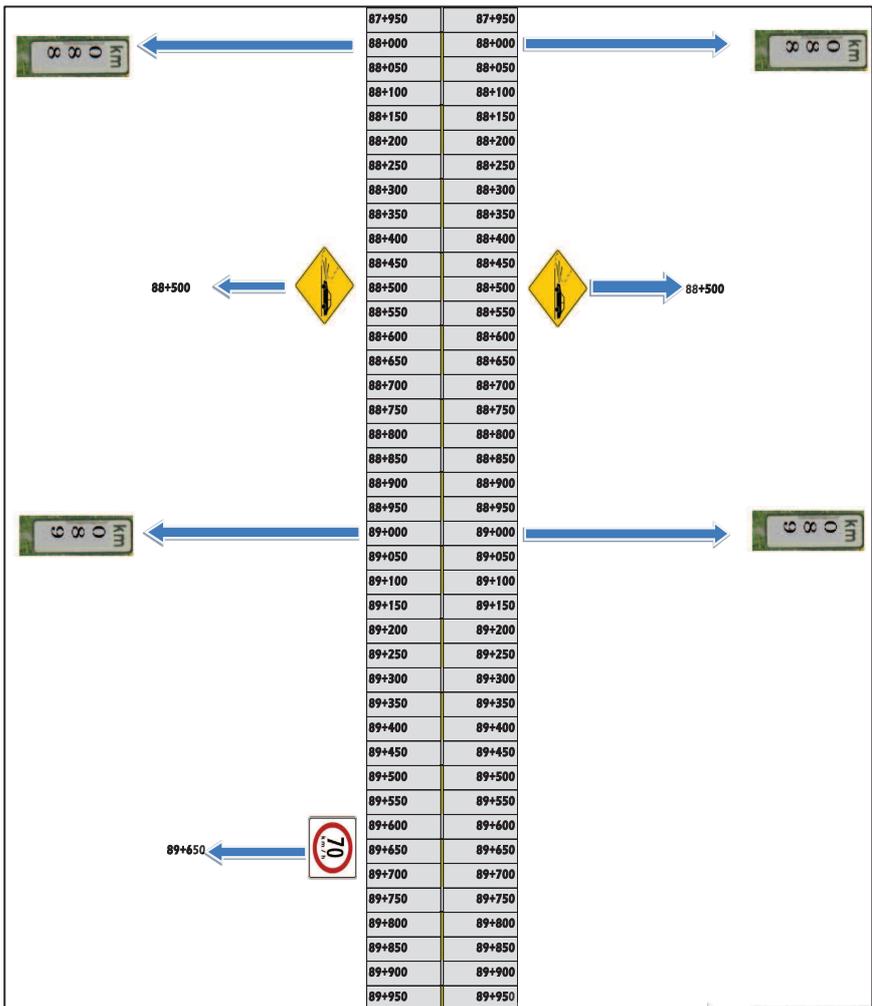
Las señales viales mencionadas anteriormente deben cumplir lo siguiente:

- El grado de reflectividad debe ser el más alto (Grado diamante cubo).
- Las señales debe de estar ubicadas de 1.80 metros a 3.60 metros máximo del extremo del borde interior de la señal hasta la demarcación del carril en el pavimento.
- La localización longitudinal de cada una de las señales se colocaron a una distancia mayor a 70 metros antes del mensaje que transmite la señal.
- La altura del tablero no debe ser menor de 2.00 metros desde el extremo inferior del tablero hasta el nivel de rasante de la carretera.

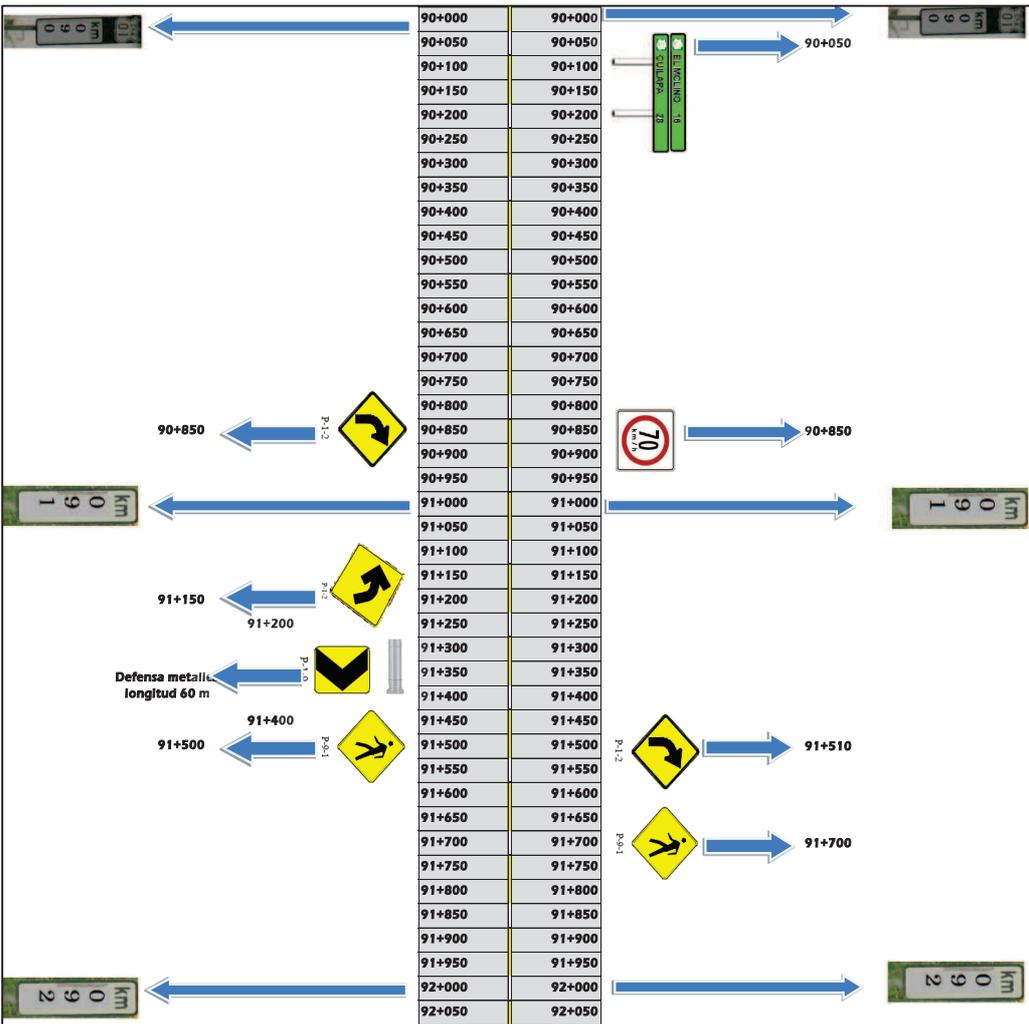
Figura 31. Larguillo de señalización vertical propuesta



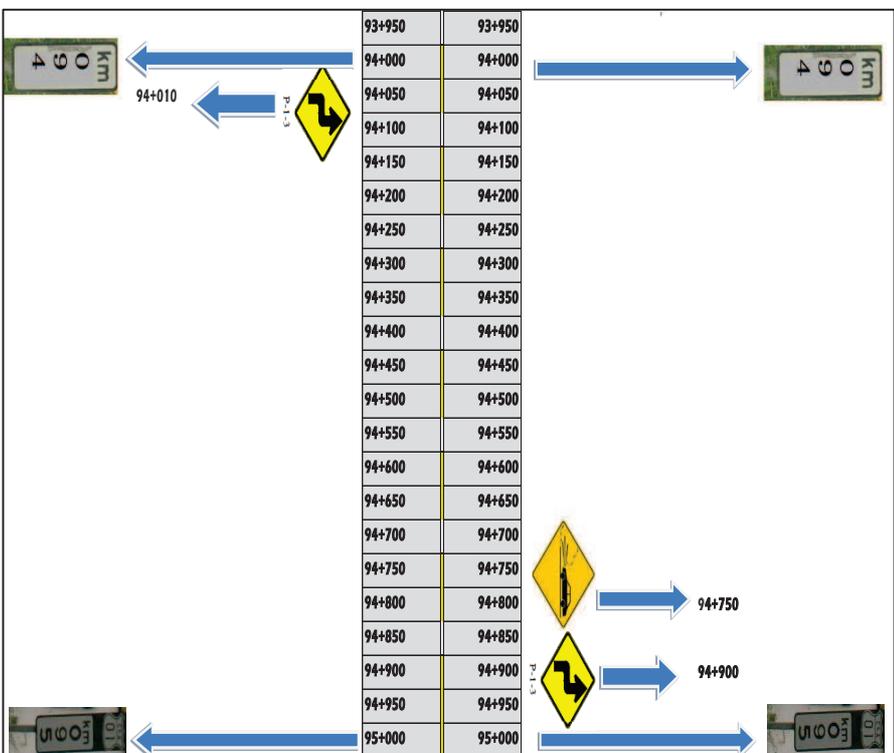
Continúa Figura 31.



Continúa Figura 31.



Continúa Figura 31.



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Señalización horizontal

4.2.2.1. Línea central y líneas laterales

Las demarcaciones horizontales que se incluyen en la propuesta de diseño el tramo en estudio están basadas en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

La línea central amarilla y las líneas laterales blancas deben ser termoplásticas de un ancho de 15 centímetros, espesor de pintura termoplástica de 3.8 milímetros y una densidad de micro esferas de vidrio no menor de 9.8 kg por cada 100 m² de línea.

El siguiente cuadro muestra los tipos de línea a lo largo del tramo carretero basado en el alineamiento horizontal de la carretera.

Tabla XIV. **Localización de línea central continua y discontinua**

ESTACIÓN	ESTACIÓN	LONGITUD	LÍNEA CENTRAL
85+000	85+265	265	CONTINUA
85+265	85+447	182	DISCONTINUA
85+447	86+400	953	CONTINUA
86+400	86+600	200	DISCONTINUA
86+600	86+850	250	CONTINUA
86+850	87+200	350	DISCONTINUA
87+200	87+600	400	CONTINUA
87+600	88+400	800	DISCONTINUA
88+400	88+750	350	CONTINUA

Continúa Tabla XIV.

88+750	89+300	550	DISCONTINUA
89+300	89+600	300	CONTINUA
89+600	90+000	400	DISCONTINUA
90+000	90+250	250	CONTINUA
90+250	90+800	550	DISCONTINUA
90+800	91+600	800	CONTINUA
91+600	91+900	300	DISCONTINUA
91+900	95+000	3100	CONTINUA
LÍNEA CENTRAL CONTINUA		6668	
LÍNEA CENTRAL DISCONTINUA		3332	

Fuente: elaboración propia.

El total de longitud para la línea central continua es de 6,668 metros lineales y para la línea discontinua es de 3,332 metros lineales.

Si se diseñan segmentos pintados 4.5 metros y las separaciones de 7.5 metros se tiene un total de 1,250 metros en línea central discontinua.

En total de pintura termoplástica amarilla es de 7,918 metros lineales.

La pintura termoplástica blanca es el doble de la longitud del tramo en estudio, lo cual hace un total de 20,000 metros lineales.

4.2.2.2. Vialetas

Las vialetas tendrán una separación de 12 metros cada una, lo que hace un total de 2,500 vialetas para las tres líneas horizontales.

Las mismas se colocaran traslapadas entre cada línea para que no tengan la misma dirección en la sección transversal de la carretera.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las carreteras son los ejes fundamentales para el desarrollo social, económico y cultural de los países, generando competitividad y nuevas oportunidades de crecimiento para las comunidades. Para interconectar los distintos lugares del país, la red vial de Guatemala se desarrolla sobre un relieve variable que va desde zonas completamente llanas hasta zonas montañosas, con distintas alturas sobre el nivel del mar, lo que genera diferentes climas en las carreteras, expuestas a diferentes tipos de fenómenos naturales durante las estaciones del año y horas del día. Por estas razones, las carreteras deben de estar destinadas a satisfacer las necesidades de los usuarios al transitar sobre cada una de estas. Los fenómenos naturales de niebla y neblina afectan a los usuarios cuando transitan por algunas carreteras del país, afectando directamente la visibilidad y la movilidad en las vías, incrementando los tiempos de viaje y costos por viaje. Por estas razones, la señalización vial viene a ser un factor útil, fundamental y necesario en las carreteras que se ven perturbadas por dichos fenómenos, ya que viene siendo una medida de mitigación ante tales situaciones, lo que genera impactos positivos en los ámbitos cultural, social y económico.

La señalización vial es un aspecto fundamental que se debe incluir en todo proyecto, ya que es el lenguaje de comunicación entre los usuarios y el tramo carretero, debe de complementarse con una buena educación vial, la cual debe ser parte de la cultura de cada país. La función es comunicar, ordenar, restringir acciones y maniobras que deben realizar los usuarios. La utilización de una señalización acorde a las condiciones de cada tramo carretero genera

impactos positivos en los aspectos cultural, social y económico, ya que su fin es proteger la integridad de los usuarios, disminuir accidentes viales y evitar pérdidas materiales. Mejorar la señalización vial se concreta en reducción de tiempos de viaje, costos de transporte y mejora la accesibilidad en los lugares, lo que hace más eficiente y efectivo los tramos carreteros.

Una inversión adecuada en señalización vial en tramos carreteros produce impactos positivos que benefician al usuario e intensifica las relaciones comerciales locales e interregionales del país, mejorando el nivel de servicio de las mismas, ya que ofrece seguridad vial ante las complejidades de transitar con fenómenos de niebla y neblina.

La señalización vial en el ámbito cultural, debe estar diseñada con formas gráficas, se debe evitar el uso de frases o palabras, ya que se limita a ser entendida únicamente por los usuarios que hablan el mismo idioma y no por personas que manejen otros tipos de idiomas. La tendencia que tiene la señalización vial actualmente es que sea reconocida e interpretada a nivel mundial, basada en la utilización de señales uniformes. Es importante mencionar que otro aspecto que influye en el reconocimiento de la señalización vial cuando se utiliza frases o palabras es que usuarios analfabetos que transitan por la vía, ignoran y no entienden los mensajes que se quiere transmitir. Al utilizar palabras o frases en la señalización vertical, aumenta el tiempo de reconocimiento un tercio de segundo por palabra utilizada en la señal y por consiguiente se necesita una mayor distancia de legibilidad.

La señalización vial para zonas de dificultad en visibilidad de manejo por niebla y neblina debe estar basada en sistemas de señalización vertical y horizontal adecuados, mostrando todas las características del alineamiento horizontal y vertical del tramo carretero basado en los más altos grados de

reflectividad, debido a la reducción de legibilidad de las señales verticales y horizontales en los tramos carreteros por estos fenómenos.

La reflectividad es un factor fundamental en la seguridad vial, la distancia de legibilidad se ve afectada por el ángulo de entrada y ángulo de observación, así como el tiempo de reacción ante el mensaje de la señal. Una mayor reflectividad provoca que una señal sea detectada a mayor distancia, se reduce el tiempo de reconocimiento y por lo tanto se obtiene una pronta reacción ante la señal.

Actualmente existen diversos grados de reflectividad, que van desde el más bajo hasta el más alto nivel. Un nivel alto de reflectividad se obtiene al utilizar microprismas en las láminas de los tableros verticales, lo que genera que las señales sean visibles a cualquier hora del día y principalmente en horas de la noche. Este grado de reflectividad se conoce con el nombre de grado diamante cubo.

La ubicación lateral, longitudinal y altura de las señales verticales debe ser la adecuada, ya que son otros factores que afectan la visibilidad de las señales verticales. Estos parámetros deben de estar basados por el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana y también se deben de considerar las particularidades de cada tramo en análisis.

La reflectividad en señalización horizontal se mejora a través del uso de microesferas de vidrio embebidas dentro de la pintura termoplástica que se utiliza para las demarcaciones longitudinales, adicionalmente del uso de vialetas.

El libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes que se utiliza actualmente en Guatemala no indica ningún tipo de restricción para el uso del grado de reflectividad de la señalización vial en zonas de dificultad de manejo por fenómenos naturales. Por estos motivos, los proyectos viales se cotizan y se ejecutan con poca señalización, sumándose a esta problemática la baja calidad de reflectividad que se utiliza en las señales verticales y horizontales, con el objetivo de reducir costos en los proyectos, lo que se convierte en un problema para el usuario durante toda la vida útil del proyecto.

Para conservar la reflectividad en buenas condiciones de funcionamiento, debe existir en Guatemala una cultura que contemple un programa de mantenimiento de los dispositivos, administrado por el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y vivienda; así como el respeto que debe manejar la población de no dañar las señales por simples hechos vandálicos. El objetivo de esta cultura es preservar las señales viales, las cuales deben de estar siempre visibles y legibles en los tramos carreteros.

Los resultados obtenidos del análisis de la señalización existente del tramo en estudio muestran que es evidente la deficiencia en cantidad y calidad del tipo de señalización vertical, ya que presenta ausencia de señales verticales preventivas y restrictivas, así como la calidad del tipo de reflectividad que amerita el tramo carretero. En señalización horizontal, la pintura se encuentra deteriorada y con baja reflectividad, existen tramos donde ya no existe pintura ni vialetas. Los resultados de la señalización existente afectan al usuario al transitar en la vía, ya que con presencia de niebla se agudiza la visibilidad.

Debido a la complejidad que se produce cuando hay presencia de la niebla y neblina en los tramos carreteros, utilizar la mayor reflectividad posible

en la señalización vertical y horizontal sin duda producirá efectos positivos en la sociedad y principalmente para los usuarios.

CONCLUSIONES

1. Un sistema de señalización vial utilizado en zonas de dificultad en visibilidad de manejo, por presencia de niebla y neblina, debe cumplir con la mayor reflectividad. En señalización vertical, la reflectividad debe ser de tipo grado diamante cubo, cuya lámina es elaborada a base de microprismas. En señalización horizontal, la pintura debe ser tipo termoplástica, compuestas con micro esferas de vidrio, las mismas deben de estar dentro y fuera del espesor de la pintura, ya que es la más reflectiva, durable y efectiva.
2. Los estacionamientos propuestos para la señalización vertical del tramo en estudio fueron determinados con base a una distancia mayor que la distancia mínima, optimizando la distancia de detección y reconocimiento de la señal.
3. Los materiales convencionales utilizados en la señalización vial de Guatemala son de reflectividad baja, en señalización vertical se utilizan láminas a base de micro esferas conocido en el mercado como grado ingeniería.
4. La demarcación de pintura en frío es de uso convencional, de bajo costo y de baja reflectividad utilizada en la red vial de Guatemala. La durabilidad es baja y la reflectividad disminuye con presencia de niebla y lluvia.

5. La reflectividad de grado ingeniería es la más baja que existe en el mercado y de bajo costo, mientras que el grado diamante cubo es la más alta y de mayor costo. La diferencia que causa el grado de reflectividad radica en la utilización de micro esferas y microprismas en los tableros, produciendo en que a un mismo flujo de luz conocido como iluminancia produzca una mayor luminancia.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener mayor reflectividad en las demarcaciones horizontales en el pavimento, se debe utilizar mayor densidad de micro esferas de vidrio, ya que con el flujo vehicular ocurren desprendimientos de las micro esferas.
2. Se debe de evitar la utilización de palabras en señales verticales, ya que esto reduce el tiempo de reacción debido al tiempo de lectura por el conductor. Se sugiere la utilización de iconos o figuras gráficas de tipo universal para ser interpretado con mayor facilidad.
3. Las señales verticales deben ser utilizadas en todo cambio del alineamiento horizontal y vertical de los tramos carreteros, deben ser ubicadas con suficiente anterioridad al aspecto que se quiere comunicar, para que el tiempo de reacción sea el suficiente para realizar la maniobra.
4. El grado de reflectividad debe mantenerse a lo largo de la vida útil de los proyectos, por lo que debe implementarse un programa de mantenimiento preventivo y rutinario de la señalización vertical, ya que con el tiempo se reduce el grado de reflectividad, debido a la exposición ambiental. En caso de la señalización horizontal, se suma a los factores anteriores el paso de los vehículos sobre la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baeta García, D. (2011). *Teoría de la reflectividad*. Venezuela: Universidad Metropolitana CENDECO.
2. Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. (2000). *Manual de carreteras. Tomo I. Elementos y proyecto*. España: Ortíz e hijos, contratista de obras, S.A.
3. Cabarrús, E. (s.f). *Manual de supervisión de señalización*. Reflecta.
4. Dexter, J. C. (s.f). *La señalización vial: de los conceptos a la práctica*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
5. Durán Ortiz, M. R. (2000). *Manual Centoamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito, Catálogo de señales verticales*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
6. Durán Ortiz, M. R. (2000). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el control del transito, Tomo II Anexos C y D*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
7. Engineers, I. o. (1965). *Traffic Engineering Handbook*. Washington, D.C. Institute of Traffic Engineers.
8. Google Earth. Fecha de imágenes 12/06/2012, fecha de captura 10/06/2015.
9. Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A. (2000). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
10. Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Estadísticas de Accidentes de Tránsito 2012*. Guatemala: s. e.

11. *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito.* (2004).
12. *Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad.* (2014). México.
13. *Materiales de Señalización horizontal y resistencia al deslizamiento.* (2010). Barcelona.
14. Ministerio de transporte. (2004). *Manual de señalización vial. Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia.* Colombia: Ministerio de transporte.
15. Morton S, R. (1953). *Estudio de accidentes en carreteras interestatales.* Highway Research Board.
16. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1991). *Manual de proyecto geométrico de carreteras.* México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
17. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014.* México.
18. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2004). *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito.* Centroamérica: Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
19. Universidad Nacional de La Plata. (3 de octubre de 2015). *Universidad Nacional de La Plata.* Obtenido de <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~atmos/Practica/TP4/TP4NIEBLASNUBESyPRECIPITACION.pdf>