

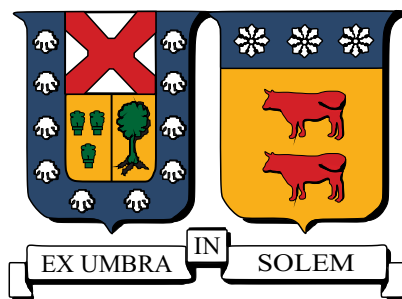
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

INDICADORES DE DESEMPEÑO EN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN EXTERIOR, CITOFONÍA DE
EMERGENCIA, CERCOS Y PORTONES, ÁREAS BAJO
PASOS INFERIORES, Y BARRERAS
ANTIDESLUMBRANTES PARA MODELO DE NIVELES
DE SERVICIO EN CARRETERAS CONCESIONADAS

ÁLVARO JOSÉ OYARZÚN WALKER

Ingeniero Civil

Agosto de 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

**INDICADORES DE DESEMPEÑO EN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN EXTERIOR, CITOFONÍA DE
EMERGENCIA, CERCOS Y PORTONES, ÁREAS BAJO
PASOS INFERIORES, Y BARRERAS
ANTIDESLUMBRANTES PARA MODELO DE NIVELES
DE SERVICIO EN CARRETERAS CONCESIONADAS**

Memoria de Título presentada por
ÁLVARO JOSÉ OYARZÚN WALKER

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Dr. Rodrigo Andrés Delgadillo Sturla

Agosto de 2019

TÍTULO DE LA TESIS

**INDICADORES DE DESEMPEÑO EN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
EXTERIOR, CITOFONÍA DE EMERGENCIA, CERCOS Y PORTONES,
ÁREAS BAJO PASOS INFERIORES, Y BARRERAS ANTIDESLUM-
BRANTES PARA MODELO DE NIVELES DE SERVICIO EN CARRETERAS
CONCESIONADAS**

AUTOR

ÁLVARO JOSÉ OYARZÚN WALKER

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el título de Ingeniero Civil de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Rodrigo Delgadillo Sturla

Carlos Wahr Daniel

Iván Kopaitic Otero

Valparaíso, Chile, Agosto de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Hoy no estaría aquí sin el apoyo de mis padres, quienes, a su manera, siempre han buscado lo mejor para mí. Junto con mi hermano Guido han sido un pilar fundamental. Les agradezco enormemente por el apoyo y amor que me han brindado, y por la paciencia que han tenido durante estos largos años de Universidad.

También quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera se han involucrado en mi vida durante esta etapa, en distintos momentos y circunstancias, a las que siempre han estado ahí, a las que me han brindado su ayuda, y a las que simplemente crecieron conmigo. Todas esas interacciones, incluso las menos gratas, representan parte de mi aprendizaje.

RESUMEN

En este trabajo, se presenta una metodología para evaluar por niveles de desempeño distintos activos viales, con el fin de utilizar el resultado de estas evaluaciones en un modelo de evaluación por niveles de servicio, que sea implementable en futuras bases de licitación para concesiones de carreteras en Chile. Los activos viales trabajados corresponden a:

- Sistema de iluminación exterior
- Sistema de citofonía de emergencia
- Cercos y portones
- Áreas bajo pasos inferiores
- Sistemas antideslumbrantes

Para cada uno de los activos se definieron distintos indicadores de desempeño, cuyas calificaciones posibles pueden ser “Muy Malo”, “Malo”, “Justo”, “Bueno”, “Muy Bueno”.

Los indicadores a evaluar en el sistema de iluminación exterior son luminancia media y uniformidad global en conjunto, considerando el aspecto de seguridad, y uniformidad longitudinal dentro del objetivo de comodidad. Los umbrales utilizados para definir los niveles de desempeño fueron tomados usando como referencia la normativa vigente.

Debido a la naturaleza del funcionamiento de los otros activos, no es posible establecer un único parámetro técnico, cuyo control permita garantizar un buen servicio. Por lo que se definen indicadores en base a una lista de exigencias que deben cumplirse.

En cuanto al sistema de citofonía de emergencia se agregan nuevas exigencias. La incorporación del concepto de niveles de servicio en los activos de cercos y portones, áreas bajo pasos inferiores, y sistemas antideslumbrantes representan una novedad con respecto a lo que se especifica en las bases de licitación existentes.

Con esto se especifica de mejor manera los parámetros e indicadores que serán evaluados en el modelo de niveles de servicio que se pretende incorporar en futuros contratos de concesiones.

Palabras Claves: *Niveles de servicio, niveles de desempeño, iluminación exterior, citofonía de emergencia, cercos y portones, pasos inferiores, sistemas antideslumbrantes, concesiones, bases de licitación.*

ABSTRACT

In this thesis, a methodology is presented to evaluate different road assets by performance levels, in order to use the results of these evaluations in a service level evaluation model, which can be implemented in future bidding conditions for road concessions in Chile. The road assets worked correspond to:

- Exterior road lighting system
- Roadside emergency telephone system
- Fences and gates
- Underpasses areas
- Anti-glare systems

For each of the assets, different performance indicators were defined, whose possible ratings could be “ Very Bad ”, “ Bad ”, “ Just ”, “ Good ”, “ Very Good ”.

The indicators to be evaluated in the exterior lighting system are average luminance and overall uniformity as a whole, considering the security aspect, and longitudinal uniformity within the objective of comfort. The thresholds used to define the performance levels were taken using the current regulations as a reference.

Due to the nature of the operation of the other assets, it is not possible to establish a single technical parameter, whose control allows to guarantee a good service. Therefore, indicators are defined based on a list of requirements that must be met.

As for the emergency cytophony system, new requirements are added. The incorporation of the concept of service levels in the assets of fences and gates, areas under underpasses, and anti-glare systems represent a novelty with respect to what is specified in the existing bidding conditions.

This better specifies the parameters and indicators that will be evaluated in the service level model that is intended to be incorporated into future concession contracts.

Keywords: *Levels of service, performance levels, exterior road lighting, roadside emergency telephone, fences and gates, underpasses, anti-glare systems, concessions, bidding conditions.*

GLOSARIO

Activos viales	Elementos que permiten el desplazamiento de los usuarios en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando sus costos y sus externalidades.
Barrera antideslumbrante	Dispositivos diseñados para reducir el deslumbramiento provocado por los vehículos que transitan en sentido contrario.
Candela	Es una unidad básica del Sistema Internacional que mide la intensidad luminosa. Se define como la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} herz y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 watt por estereorradián.
Deslumbramiento molesto	Deslumbramiento provocado por fuentes luminosas que puede producir incomodidad y molestia, sin provocar, necesariamente, una pérdida de percepción visual.
Deslumbramiento perturbador	Deslumbramiento provocado por fuentes luminosas que produce una pérdida de percepción visual.
Flujo Luminoso (Φ)	Potencia emitida por una fuente de luz en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa. Su unidad es el lumen (lm).

Retícula de puntos	Zona de análisis de los parámetros luminotécnicos que puede ser paralela a la superficie analizada o perpendicular a ella.
Iluminancia (E)	Flujo luminoso por unidad de superficie. Corresponde a la cantidad de flujo luminoso depositado sobre la superficie en estudio. Este parámetro indica cuál es el nivel de luz a la que está sometida la superficie o tarea visual de análisis, independiente del color o textura superficial.
ILDm	Dispositivo electrónico digital, equipado con lentes, un filtro fotométrico adecuado, un sensor compuesto por una matriz de detectores, y calibrado para medir las distribuciones de luminancia de una escena.
Incremento de umbral (TI)	Parámetro que representa el incremento en el contraste necesario para volver a percibir un objeto cuando existe deslumbramiento.
Indicador de desempeño	Variable numérica para cuantificar el estado, características o desempeño de un activo particular o grupo de ellos considerando su objetivo estratégico.
Intensidad Luminosa (I)	Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su unidad es la candela (cd).
Lúmen	Es la unidad del Sistema Internacional para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.
Luminancia (L)	Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su unidad es cd/m^2 .
Luminancia de velo (L_v)	Fenómeno que se produce por la dispersión de la luz de las fuentes deslumbrantes en la retina, provocando que un velo brillante se superponga a la imagen nítida de la escena que se observa.

Luminancímetro	Instrumento que sirve para medir luminancia. Está conformado por una fotocelda con un sistema óptico en el frente que proyecta una imagen de la escena a ser medida en la cara de la fotocelda.
Lux	Es la unidad derivada del Sistema Internacional para la iluminancia o iluminación. Equivale a un <i>lumen/m²</i> . Se usa en fotometría como medida de la iluminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad del ojo humano a la luz.
Luxómetro	Instrumento que sirve para medir iluminancia. Consiste en una fotocelda, que convierte la luz incidente sobre ella en energía eléctrica, cuya cantidad se puede medir e interpretar.
Nivel de desempeño	Rendimiento o calificación que es capaz de alcanzar el activo en su evaluación.
Nivel de servicio	Concepto que permite relacionar los atributos cualitativos que los usuarios perciben y esperan de una carretera (por ejemplo: seguridad, movilidad, comodidad) con las métricas objetivas que las agencias viales utilizan para controlar la pertinencia y la calidad con que la infraestructura y sus elementos contribuye a la provisión de esos atributos.
Gestión de activos	Proceso que tiene por objetivo preservar los activos viales de una red, maximizando los beneficios de los usuarios y de los inversionistas (privados o público), minimizando al mismo tiempo los costos de mantenimiento de las agencias viales, bajo un objetivo de calidad común a todos los actores.
Teléfono SOS	Dispositivo de comunicación para usuarios que requieran asistencia en caso de avería, choque u otro incidente. Permite conectar automáticamente con un centro de control cuando se inicia una llamada desde el dispositivo.
Umbral	Valor límite en la escala de evaluación de cada indicador.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
ABSTRACT	V
GLOSARIO	VII
CONTENIDO	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERIOR	7
1.1. Introducción	7
1.2. Parámetros de Calidad del Sistema de Iluminación	8
1.2.1. Parámetros para vías con separación de usuarios	9
1.2.2. Parámetros para vías sin separación de usuarios	12
1.2.3. Influencia de los parámetros fotométricos en la calidad de la iluminación	15
1.3. Equipos para medir las características del sistema de iluminación	18
1.3.1. Equipos para medir iluminancia	18

1.3.2.	Equipos para medir luminancia	21
1.3.3.	Sistemas mixtos	26
1.4.	Especificaciones de iluminación de carreteras en Chile	28
1.4.1.	Manual de Carreteras	28
1.4.2.	Medición	32
1.4.3.	Bases de Licitación	32
1.5.	Recomendaciones y especificaciones internacionales	34
1.5.1.	CIE	34
1.5.2.	CEN	36
1.5.3.	IES	37
1.5.4.	UNE-EN 13201-4	38
1.5.5.	Base de licitación tipo España	40
1.6.	Propuesta de evaluación para el usuario que transita por la vía	41
1.6.1.	Parámetros a evaluar	41
1.6.2.	Zona a evaluar parámetros luminotécnicos	41
1.6.3.	Escalas de valores de los parámetros	42
1.6.4.	Procedimiento de medición	44
1.6.5.	Propuesta de evaluación global de indicadores del sistema de iluminación	47
1.7.	Propuesta de evaluación para la comunidad aledaña	49
1.7.1.	Exigencias de funcionalidad	49
1.7.2.	Periodicidad de la medición	49
1.7.3.	Plazo de reposición	49
1.7.4.	Definición del indicador	50
1.7.5.	Escala de evaluación de valores del indicador	50
1.8.	Propuesta de evaluación para conservación del patrimonio	51
1.8.1.	Integridad de los elementos del sistema de iluminación	51

2. SISTEMA DE CITOFONÍA DE EMERGENCIA	53
2.1. Introducción	53
2.2. Evaluación del sistema de citofonía de emergencia en bases de licitación en Chile . . .	54
2.3. Propuesta de evaluación del sistema de citofonía de emergencia	55
2.3.1. Integridad	55
2.3.2. Funcionalidad	55
2.3.3. Periodicidad de la medición	57
2.3.4. Plazo de restauración	57
2.3.5. Definición del indicador	57
2.3.6. Escala de valores del indicador	58
3. CERCOS Y PORTONES	59
3.1. Introducción	59
3.2. Propuesta de Evaluación de Cercos y Portones	60
3.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad	60
3.2.2. Periodicidad de la medición	60
3.2.3. Plazo de reposición	60
3.2.4. Definición del indicador	61
3.2.5. Escalas de evaluación del indicador	61
4. ÁREAS BAJO PASOS INFERIORES	63
4.1. Introducción	63
4.2. Propuesta de Evaluación de Áreas bajo Pasos Inferiores	64
4.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad para áreas bajo pasos inferiores	64
4.2.2. Periodicidad de la medición	65
4.2.3. Plazo de reposición	65
4.2.4. Definición del indicador	65
4.2.5. Escala de evaluación del indicador	66

5. BARRERAS ANTIDESLUMBRANTES	67
5.1. Introducción	67
5.2. Propuesta de Evaluación de Barreras Antideslumbrantes	68
5.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad	68
5.2.2. Periodicidad de la medición	68
5.2.3. Plazo de reposición	69
5.2.4. Definición del indicador	69
5.2.5. Escala de evaluación del indicador	70
CONCLUSIONES	71
A. Fichas Técnicas	73
A.1. Fichas Técnicas sistema de iluminación	74
A.1.1. Luminancia Media/Uniformidad Global	74
A.1.2. Uniformidad Longitudinal	75
A.1.3. Complemento fichas técnicas L_{av}/U_o y U_l	76
A.1.4. Iluminación para transeúntes	77
A.1.5. Integridad de los elementos del sistema de iluminación	78
A.2. Ficha Técnica sistema de citofonía de emergencia	79
A.3. Ficha técnica cercos y portones	80
A.4. Ficha técnica áreas bajo pasos inferiores	81
A.5. Ficha técnica barreras antideslumbrantes	82
REFERENCIAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. <i>Razon de entorno.</i>	11
1.2. <i>Intensidades máximas en ángulos de 70°, 80° y 90°.</i>	14
1.3. <i>Curva de poder revelador.</i>	16
1.4. <i>Influencia de los parámetros fotométricos en la comodidad visual.</i>	17
1.5. <i>Luxómetro.</i>	18
1.6. <i>Arreglo sistema LX-GPS.</i>	19
1.7. <i>Sistema con Tráiler.</i>	20
1.8. <i>Sistema con detector dividido.</i>	21
1.9. <i>Luminancímetro.</i>	22
1.10. <i>Medidor de Luminancia de Imagen CX-2B.</i>	23
1.11. <i>Medición de luminancia en todos los puntos de la retícula, cálculo de incremento de umbral.</i>	24
1.12. <i>Determinación del deslumbramiento mediante Incremento de Umbral, medición de la luminancia L20° en la zona próxima a la entrada de un túnel.</i>	24
1.13. <i>Imágenes procesadas cyclope, con escalas de valores para cada píxel.</i>	25
1.14. <i>Reporte típico CYCLOPE (en francés).</i>	25
1.15. <i>Esquema Road Lighting Mobile Measurement System (RLMMS).</i>	26
1.16. <i>Reporte RLMMS.</i>	27
1.17. <i>Área de medición y posiciones del observador para distintas configuraciones de la instalación (en inglés).</i>	42
1.18. <i>Luminancia que se tiene en cuenta para el cálculo del deslumbramiento perturbador.</i>	46

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Resumen de los resultados del poder revelador, RP Asiqi (1980).	15
1.2. Escala de nueve puntos para evaluación subjetiva Asiqi (1980).	16
1.3. Valor de Luminancia Mínimo Recomendado. Dirección de Vialidad (2017).	29
1.4. Iluminación para carreteras secundarias y zonas peatonales asociadas. Dirección de Vialidad (2017).	31
1.5. Niveles mínimos de iluminancia recomendados en áreas conflictivas. Dirección de Vialidad (2017).	32
1.6. Exigencias para la integridad y funcionalidad de la iluminación. MOP (2017a)	33
1.7. Clases de Alumbrado para tráfico motorizado, basado en luminancia de la superficie de la calzada. CIE (2010).	35
1.8. Clases de Alumbrado para zonas peatonales y de tránsito lento. CIE (2010).	35
1.9. Clases de alumbrado para áreas conflictivas. CIE (2010).	36
1.10. Criterios de diseño de iluminación para carreteras. ANSI/IES (2014).	37
1.11. Criterios de diseño de iluminación para calles. ANSI/IES (2014).	37
1.12. Penalidades base de licitación tipo España, para el indicador Funcionamiento de la Iluminación. Ministerio de fomento (2008).	40
1.13. Parámetros técnicos a evaluar.	41
1.14. Escala de evaluación conjunta para L_{av} y U_o	43
1.15. Escala de evaluación para U_l	44
1.16. Calificación parámetros por zonas.	47
1.17. Escala de Evaluación ILT.	50
1.18. Escala de Evaluación IPO.	52

2.1. Escala de evaluación SOS.	58
3.1. Escala de evaluación CP.	61
4.1. Escala de evaluación ABP.	66
5.1. Escala de evaluación PD.	70

INTRODUCCIÓN

Las concesiones de obras públicas son contratos administrativos destinados a la construcción, conservación y operación de una obra pública, que tiene una normativa legal única para regular su ejecución, reparación y mantención. Estas son reguladas en el DS MOP N°9000 de 1996.

La Ley de Concesiones de Obras Públicas se promulgó en Chile hace más de 22 años, este modelo de desarrollo está presente desde el año 1993 por la construcción del túnel El Melón en la región de Valparaíso, obra que abrió camino a un exitoso desarrollo de infraestructura en el país, contabilizando más de 90 contratos, destacando la construcción de más de 3.000 kilómetros de autopistas, la gestión de 11 terminales aeroportuarias, entre otras obras emblemáticas que incluyen hospitales, cárceles y embalses. Estas asociaciones público-privadas han demostrado su capacidad de generar beneficios productivos, económicos y sociales para el país.

Entre las ventajas que tiene un sistema de concesión de obras públicas se señalan las siguientes:

- En un contexto presupuestario restringido la concesión permite incorporar la inversión privada. Las necesidades de financiamiento de la infraestructura de transporte han crecido enormemente. La solución pasa por establecer un vínculo entre la tarificación de la infraestructura y su financiamiento.
- Permite ligar la realización de la obra con el mantenimiento y la explotación, de manera que una obra bien concebida será mejor realizada y explotada. El concesionario asume los riesgos técnicos, financieros y comerciales ligados a que la obra cumpla efectivamente su función. Como contrapartida, el concesionario tiene que asegurar la rentabilidad de los capitales que invierte y su remuneración tiene que ser suficiente y competitiva con el mercado monetario, donde se pueden obtener rendimientos elevados en el corto plazo. Este tema está ligado con la distribución de riesgos en el contrato.
- La concesión de servicios permite sustituir las limitaciones de la gestión administrativa por una lógica empresarial.

Según el libro de Concesiones de Obras Públicas en Chile, de la Coordinación de Concesiones de Obras Públicas, “Un nuevo consenso en las concesiones de obras públicas supone considerar, al menos, cuatro desafíos. Por un lado, mejorar la calidad de servicio e instancias de participación ciudadana en las obras, estableciendo estándares claros para las obras y su explotación. Asimismo, crear una nueva

institucionalidad, acorde al nivel de desarrollo actual de concesiones y los desafíos por delante, para lo cual se envía al Congreso el proyecto de ley que crea la Dirección General de Concesiones. Tercero, definir aspectos operacionales tales como la política y gestión tarifaria, y los mecanismos para mejorar obras durante el periodo de concesión. Por último, aumentar el financiamiento disponible para nuevas obras públicas objetivo que se espera concretar con la aprobación del fondo de infraestructura, ya enviado al Congreso Nacional” (CCOP-MOP, 2016).

Gracias a la experiencia obtenida en estos años durante el desarrollo del modelo de concesiones, es que se pretende establecer mejores mecanismos de gestión y control, adecuados para las nuevas necesidades del progreso y que permitan contribuir a él, es que el proyecto FONDEF IT16I10008 busca generar una propuesta de evaluación global de gestión de activos de la concesión, que mejore las bases de licitación actuales, que se rigen por niveles de servicio, entre las cuales destacan las bases de licitación de Concesión camino Nogales Puchuncaví, Concesión para el mejoramiento y conservación de la Ruta 43 (Región de Coquimbo), túnel El Melón, y Concesión vial mejoramiento Ruta G-21. En consecuencia, el proyecto está alineado con el primer desafío de las nuevas concesiones, es decir, establecer estándares claros para las obras y su posterior explotación.

De las concesiones antes nombradas, se verifica que el enfoque de gestión basado en modelos de servicio se encuentra desarrollado de manera incipiente. Esta necesidad motivó a las instituciones Universidad Técnica Federico Santa María y Universidad de Concepción, junto a la Coordinación General de Concesiones formular el proyecto FONDEF IT16I10008 titulado “Modelo para evaluar los niveles de servicio de carreteras en Chile, implementable en bases de licitación para nuevas concesiones”, que se ejecuta desde junio del año 2016, para que impulse el uso de tecnologías desarrolladas en nuestro país y que además incentive un mejoramiento continuo en la gestión de la red vial.

Bajo el contexto del desarrollo de la infraestructura vial, si bien sigue siendo prioritario mejorar técnicas y procesos constructivos a través de modelos de gestión de obras, la atención se vuelca hacia la toma de decisiones durante la operación de las carreteras, implementando procedimientos que permitan conocer el comportamiento del estado de la infraestructura y generando los mecanismos que permitan su mantención a lo largo del tiempo bajo el concepto denominado nivel de servicio.

Para ello, el proyecto FONDEF contempla las siguientes etapas:

- **Etapas 1: “Actualización del estado del arte y de la práctica”.** Contempla el análisis del estado del arte y la práctica realizado en la postulación del proyecto, identificando brechas tecnológicas entre Chile y sistemas de concesiones viales de referencia orientados al nivel de servicio.
- **Etapas 2: “Desarrollo de modelo para evaluar el nivel de servicio”.** Se seleccionarán las variables de interés a medir relacionadas con el servicio a los usuarios, los indicadores asociados, umbrales aceptables y metodologías de medición.
- **Etapas 3: “Implementación de modelo para evaluar el nivel de servicio”.** Se prepararán los modelos de bases de licitación orientadas a nivel de servicio, en formatos tales que puedan

ser fácilmente incorporados en nuevas bases de licitación de vías concesionadas. Se redactarán los protocolos de auscultación, procesamiento, evaluación y gestión de datos.

El presente trabajo se enmarca entre las etapas 2 y 3 del proyecto, abarcando desde la selección de indicadores, umbrales y metodologías de medición, hasta el modelo de evaluación de los datos.

Conceptualmente el método de evaluación por niveles de servicios está compuesto por 3 modelos, “Modelo de conservación del patrimonio”, “Modelo de nivel de servicio al usuario que transita por la vía” y, por último, “Modelo de nivel de servicio para comunidad aledaña y medio ambiente”. Cada uno de ellos contiene variables de interés asociada a su temática y aportarán los datos que finalmente se configurarán en una nota particular a cada activo que, ponderados en su modelo, otorgará una nota global por nivel de servicio resultado de la combinación de la calificación de cada modelo.

En el contexto antes señalado, el presente trabajo, considera el estudio de los siguientes activos:

- Sistema de iluminación exterior.
- Sistema de citofonía de emergencia.
- Cercos y portones.
- Áreas bajo pasos inferiores.
- Sistemas antideslumbrantes.

Para el sistema de iluminación exterior, se abarcan indicadores enfocados en el nivel de servicio prestado al usuario que circula por la vía, considerando los parámetros que influyen en su visibilidad, desde el punto de vista de seguridad y comodidad, una componente de conservación del patrimonio, relacionada con la integridad de los elementos constitutivos del sistema, y una componente orientada hacia la seguridad de los usuarios no motorizados, comunidad aledaña y medio ambiente.

Para el resto de los activos, se definirán indicadores en base a una serie de características que se deben cumplir y reflejen el servicio prestado. Los indicadores para los activos del sistema de citofonía de emergencia, cercos y portones, sistemas antideslumbrantes, servirán como datos de entrada para el modelo del nivel de servicio al usuario que transita por la vía. El activo de Áreas bajo pasos inferiores se aborda desde el punto de vista de la comunidad aledaña, pensando en resguardar las condiciones de seguridad de las personas que utilizan estos pasos.

OBJETIVOS

- Generar una metodología de evaluación para el sistema de iluminación exterior, cuyo resultado sirva como dato de entrada para evaluar por niveles de servicio carreteras concesionadas en Chile.
- Definir qué características o parámetros del sistema de iluminación exterior son relevantes para el usuario que transita por la vía, identificando qué características afectan su seguridad y comodidad.
- Identificar nuevas tecnologías y metodologías de medición que permitan, medir de forma más eficiente los parámetros del sistema de iluminación, evitando interrumpir la vía por períodos prolongados de tiempo, y evaluar su factibilidad de implementación.
- Desarrollar una propuesta que contenga como mínimo el método de medición, instrumentación, umbrales y niveles de desempeño adoptados.
- Definir índices que permitan evaluar de forma global el servicio prestado por los activos de sistema de citofonía de emergencia, cercos y portones, áreas bajo pasos inferiores, y sistemas antideslumbrantes, que reflejen sus condiciones de integridad y funcionalidad.
- Redactar informes técnicos que contenga la información necesaria para justificar los parámetros escogidos, métodos de medición y umbrales. Generar, para cada parámetro, una ficha técnica en la cual se resuman los principales aspectos y consideraciones.

Capítulo 1

SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERIOR

1.1. Introducción

Para efectos del presente capítulo, se entenderá por sistema de iluminación exterior al conjunto de elementos que permiten mantener iluminada una carretera en zonas no correspondientes a túneles, trincheras y cobertizos. Incluyendo postaciones, luminarias, circuitos eléctricos, tableros de distribución, conexión de alumbrado, entre otros.

Conducir, caminar o cruzar una carretera es menos seguro en la oscuridad que en una zona iluminada, debido a la visibilidad reducida de los peatones, objetos y peligros. De acuerdo con una publicación de la Federal Highway Administration (FHWA), “Aunque la cantidad de accidentes fatales que ocurren a la luz del día es casi la misma que la que ocurre en la noche, solo el 25 por ciento de las millas de vehículos que se transitan ocurren por la noche. Considerando lo anterior, la tasa de mortalidad nocturna es tres veces la tasa diurna.” (Lutkevich et al., 2012)

La conducción es en gran medida una tarea visual. Ser capaz de ver adecuadamente la carretera por delante, observar el tráfico conflictivo y el comportamiento de otros usuarios es parte integral de la tarea de conducción. La iluminación mejora significativamente la visibilidad de la carretera, aumenta la distancia de visión y hace que los obstáculos en el camino sean más evidentes para el conductor y, por lo tanto, más evitables.

Hay muchos estudios y publicaciones que documentan los efectos positivos de la iluminación en la seguridad. Por ejemplo, un escaneo internacional documentó que varios países europeos mostraron una reducción del 20 al 30 por ciento en el número de accidentes cuando se instaló iluminación (FHWA,

2001). De acuerdo con la publicación CIE 93 – 1992, Road Lighting as an Accident Countermeasure (CIE, 1992), la iluminación vial disminuye los accidentes nocturnos en promedio un 30 %. Adicionalmente, la Guía Informativa de Intersección Señalizada FHWA informó que agregar iluminación puede reducir los choques nocturnos en un 50 por ciento y reducir los choques fatales en un 43 por ciento (Rodegerdts et al., 2004).

Desde el punto de vista de los peatones, una buena calidad en la iluminación también reporta beneficios, además de mejorar el nivel general de comodidad, una buena iluminación desalienta los actos vandálicos contra las personas y la propiedad, hace la detección del crimen más fácil, e imparte una mayor sensación de seguridad en el entorno. Se han conducido estudios mediante mediciones de tasas de crimen antes y después de realizar mejoras a la iluminación, o entrevistando a residentes locales para registrar su opinión sobre la efectividad de dichas mejoras. Estos estudios han sido realizados en Estados Unidos (Tien and O'Donnell, 1977), Reino Unido (Painter et al., 1988) y Francia (Marinier, 1983). Tomados en conjunto, sugieren que la mejora del rendimiento de la iluminación puede reducir directamente la cantidad de actos delictivos y hostigamiento. Estos estudios también indican que el temor a la delincuencia, que puede ser tan dañino como la delincuencia misma, se reduce con una buena iluminación.

Por lo anterior, se manifiesta la necesidad de evaluar el desempeño del sistema de iluminación, tanto en la puesta en marcha como durante la fase de explotación.

En el presente capítulo, se define una metodología de medición y evaluación del desempeño del sistema de iluminación, a partir del establecimiento de parámetros técnicos adecuados, equipos y metodologías para llevar a cabo la medición y evaluación, rangos de valores aceptables y niveles de desempeño.

1.2. Parámetros de Calidad del Sistema de Iluminación

Para fines de especificación y diseño, la calidad de una instalación de iluminación se puede evaluar mediante parámetros de calidad que, a grandes rasgos, se pueden agrupar en dos categorías:

- Parámetros basados únicamente en unidades fotométricas, como el nivel de iluminación, la uniformidad y la restricción del deslumbramiento,
- Parámetros basados en las métricas del desempeño de la tarea visual, como el poder revelador, el índice de visibilidad, la visibilidad del objetivo pequeño y la identificación facial.

La primera categoría depende únicamente de los aspectos de la instalación de iluminación. La superficie de la carretera se considera como parte de la instalación de iluminación. La segunda categoría, depende de una combinación de aspectos de la instalación y otros que no dependen de ella, como el tipo de objetivo (tamaño, forma, reflectancia, etc.), tipo de maniobra que se debe realizar (mantener la distancia, reaccionar a los cambios de posición de otros automóviles, bicicletas y peatones, etc.).

Una métrica de desempeño solo puede cumplir uno o un número limitado de aspectos de tareas

visuales y, por lo tanto, ignora los demás. Las métricas de desempeño también ignoran la importancia de los aspectos de comodidad visual. Esto puede llevar a conclusiones erróneas en cuanto a la calidad general de la instalación de iluminación. Se considera que lo mejor y más práctico es basar la calidad de las instalaciones de iluminación vial en unidades fotométricas puras. La consideración cuidadosa de la influencia de los diferentes valores de estos parámetros fotométricos en las métricas de desempeño relevantes para una situación dada, debería ser la base para definir las especificaciones. (Van Bommel, 2014)

1.2.1. Parámetros para vías con separación de usuarios

Las vías con separación de usuarios corresponden a aquellas que cuentan con elementos de segregación entre distintos tipos de usuarios, esto es, para separar la circulación de vehículos y de peatones, restringiendo el uso de la vía para éstos últimos.

Para el tráfico motorizado, es la luminancia de la superficie de la carretera la que forma el fondo contra el cual se deben distinguir los posibles objetos en la carretera. Para las direcciones de visión normales de los automovilistas, las propiedades de reflexión de las superficies de las carreteras, necesarias para la determinación de la luminancia de la superficie de la carretera, pueden caracterizarse fotométricamente. Por lo tanto, la luminancia de la superficie de la carretera se utiliza como la cantidad de iluminación básica para el alumbrado vial en vías con separación de usuarios.

1.2.1.1. Nivel de luminancia

Luminancia media de la superficie de la calzada

El parámetro de calidad de iluminación empleado para el nivel de luminancia es la luminancia promedio de la superficie de la carretera a una distancia entre 60 y 160 metros frente al conductor. El área de camino hasta unos 160 metros es el área de fondo contra la cual se deben detectar los objetos para la mayoría de las velocidades de conducción. Se considera que el área entre 0 y 60 metros no es tanto la responsabilidad de la iluminación fija de la carretera, ya que es cubierta por los faros del propio vehículo. El área entre 60 y 160 metros también determina en gran medida el estado de adaptación de los ojos del automovilista.

La posición lateral del conductor para determinar la luminancia promedio de la superficie de la carretera se toma típicamente en un cuarto del ancho de la calzada desde el borde del lado más cercano. El símbolo utilizado para la luminancia media de la superficie de la carretera es L_{av} .

1.2.1.2. Uniformidad

Uniformidad global

En el caso de un patrón de luminancia en la carretera en el que hay una gran diferencia entre el

valor de luminancia de la parte más oscura y el valor de la luminancia promedio de la superficie de la carretera, puede ser difícil detectar objetos contra la parte más oscura porque el ojo se adapta a la luminancia promedio más alta. Es por esta razón que se considera el concepto de uniformidad global de luminancia.

Se define como la relación entre la luminancia de la superficie de la carretera mínima y la media, L_{min} / L_{av} . Es indiferente en qué parte del camino se encuentre la luminancia mínima, porque un automovilista necesita poder ver objetos en todos los puntos posibles en todo el camino. El símbolo utilizado para la uniformidad global es U_o . Para la determinación de U_o , la posición lateral del conductor se toma principalmente como un cuarto del ancho de la calzada desde el borde del lado más cercano.

Uniformidad longitudinal

Se define como la relación entre la luminancia mínima y máxima de la superficie de la carretera en una longitud longitudinal paralela a la longitud del eje de la carretera L_{min} / L_{max} . El símbolo utilizado es U_l .

Una secuencia continua de puntos brillantes y oscuros en el camino frente a un conductor puede ser muy incómodo. Este aspecto de incomodidad de una instalación de alumbrado vial puede limitarse especificando un valor mínimo para la uniformidad longitudinal.

1.2.1.3. Iluminación del entorno

Razón de entorno

Se define como la razón entre la iluminancia horizontal promedio en bandas de 5 metros adyacentes a los lados izquierdo y derecho de la carretera y la iluminancia horizontal promedio en bandas de 5 metros en los lados izquierdo y derecho de la carretera, como se indica en la figura 1.1.

Concentrar toda la luz en la superficie de la carretera y mantener los alrededores en la oscuridad, hace que sea difícil ver objetos al costado de la carretera o sobre el pavimento. Además, la visibilidad de los alrededores es importante para poder juzgar el curso del camino por delante. Con el fin de garantizar que el corte de la luz no sea demasiado agudo, se utiliza el parámetro de calidad de iluminación de la Razón de Entorno (SR).

1.2.1.4. Limitación del deslumbramiento

En general, se distinguen dos tipos de deslumbramiento. Por un lado está el deslumbramiento fisiológico, incapacitivo o perturbador, y por otro el deslumbramiento molesto. El deslumbramiento incapacitivo es aquel que produce una pérdida de percepción visual y el deslumbramiento molesto es aquel que resulta incómodo, independientemente de si se produce o no una pérdida de percepción visual.



Figura 1.1: *Razon de entorno.*

Fuente: Van Bommel (2014)

Incremento de umbral

Se define como el porcentaje de pérdida de percepción visual de un objeto, causado por el deslumbramiento de las fuentes luminosas, debido a la reducción del contraste de dicho objeto a consecuencia de la luminancia de velo, que es la luz de las fuentes deslumbrantes que se esparce en dirección de la retina, provocando que un velo brillante se superponga a la imagen nítida de la escena que se observa. La luminancia de velo se puede calcular como:

$$L_v = 10 \frac{E_{ojo}}{\Theta^2} \quad (1.2.1)$$

donde:

- L_v : Luminancia de velo (cd/m^2).
- E_{ojo} : Nivel de iluminancia vertical en el ojo (lx).
- θ : Ángulo del eje de visión con la dirección de la luz incidente de la fuente.

Para luminancias medias comprendidas entre 0.05 y 5 cd/m^2 , el Incremento de Umbral se calcula mediante la siguiente expresión:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{av}^{0.8}} \quad (1.2.2)$$

donde:

- TI : Incremento de Umbral (%).
- L_v : Luminancia de velo (cd/m^2).
- L_{av} : Luminancia media de la calzada (cd/m^2).

Señal de control de deslumbramiento

La sensación de molestia producida por el deslumbramiento depende de varias características de las luminarias y de la instalación. A partir de varias investigaciones, se dedujo una expresión para la Señal de Control de Deslumbramiento (G):

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0.5} - 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + C + 0.97 \log L_{av} + 4.41 \log h' - 1.46 \log p \quad (1.2.3)$$

donde:

I_{80}	: Intensidad luminosa con un ángulo de elevación de 80° en dirección paralela al eje de la calzada (cd).
$\frac{I_{80}}{I_{88}}$	: Razón de intensidad luminosa entre 80 y 88° (razón de retroceso).
F	: Superficie aparente del área iluminada de la luminaria vista bajo un ángulo de 76° expresada en metros cuadrados.
C	: Factor cromático, que depende del tipo de lámpara: Sodio baja presión (SOX): 0.4; otras: 0.
L_{av}	: Luminancia media de la calzada (cd/m^2).
h'	: Distancia entre el nivel de los ojos y la altura de montaje de la luminaria.
p	: Número de luminarias por kilómetro.

Esta fórmula es válida para las siguientes gamas de los distintos parámetros:

$$\begin{aligned} 50 &\leq I_{80} \leq 7000(cd) \\ 1 &\leq I_{80}/I_{88} \leq 50 \\ 0.007 &\leq F \leq 0.4(m^2) \\ 0.3 &\leq L_{av} \leq 7(cd/m^2) \\ 5 &\leq h' \leq 20(m) \\ 20 &\leq p \leq 100 \end{aligned}$$

Mientras más alta es la señal de control de deslumbramiento (G), mayor es la señal de deslumbramiento molesto conseguido.

En la mayoría de los estándares y recomendaciones de iluminación vial, solo se brinda un requisito para la limitación del deslumbramiento por fisiológico o incapacitivo. Se considera que, con una buena restricción del deslumbramiento por discapacidad, el deslumbramiento por incomodidad también será generalmente aceptable. (Van Bommel, 2014)

1.2.2. Parámetros para vías sin separación de usuarios

Las vías sin separación de usuarios corresponden a aquellas que no cuentan con elementos que permitan la separación de los diferentes tipos de usuarios, ni con restricción para alguno de ellos en

la vía.

Dado que las direcciones de observación del tráfico lento, peatones y ciclistas son más variadas, y las propiedades de reflexión de las superficies de interés son muy diferentes, se utiliza la iluminancia como parámetro de iluminación básico para la iluminación destinada a zonas con presencia de usuarios no motorizados. La medida básica para la iluminación de la carretera y el pavimento es la iluminancia horizontal, para la iluminación de fachadas es la iluminancia vertical y para la iluminación de las caras de las personas es la iluminancia semi-cilíndrica o vertical.

1.2.2.1. Nivel de iluminación

Iluminancia media horizontal

Se utiliza para el nivel medio de iluminación, la iluminancia horizontal promedio $E_{hor,av}$, la cual debe garantizar un nivel de adaptación suficientemente alto y, en consecuencia, una sensibilidad suficiente al contraste.

Iluminancia mínima horizontal

La iluminancia horizontal mínima local $E_{hor,min}$ debe garantizar un movimiento seguro al proporcionar una buena visibilidad de los obstáculos en todos los lugares en el camino de los peatones y ciclistas.

Iluminancia semi-cilíndrica mínima a 1,5 m

En zonas donde la iluminación debe disuadir el delito, la iluminación semicilíndrica mínima $E_{semicyl,min}$, a la altura de la cara (estandarizado como 1,5 m) se utiliza como un criterio de calidad adicional.

Iluminancia vertical mínima a 1,5 m

En algunos estándares se utiliza la iluminancia vertical mínima a la altura de la cara (1,5 m) como una alternativa para la iluminancia semicilíndrica.

Usar la iluminancia semicilíndrica o vertical promedio, no tiene sentido, ya que el hecho de que en un área de la calle el reconocimiento sea muy bueno no ayuda al reconocimiento en áreas donde el reconocimiento es muy malo. Por lo tanto, el parámetro que garantiza el reconocimiento en todas las posiciones de la calle es la iluminancia semicilíndrica o vertical mínima absoluta.

1.2.2.2. Uniformidad

Iluminancia horizontal promedio máxima

Para proveer uniformidad, algunos estándares fijan un límite superior para la iluminancia media horizontal, esta restricción, en conjunto con la restricción de iluminancia horizontal mínima puntual, asegura un nivel de uniformidad.

Uniformidad media de iluminancia mínima

En Chile, el Manual de Carreteras (Dirección de Vialidad, 2017) y el decreto N°2 del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2016a), que aprueba el Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tránsito Vehicular, utilizan la uniformidad media de iluminancia mínima. Se define como la razón entre la iluminancia mínima en una vía y la iluminancia promedio mantenida.

1.2.2.3. Restricción del deslumbramiento

El concepto de incremento de umbral (TI), utilizado para la restricción del deslumbramiento en vías con separación de usuarios, también se puede usar con el mismo fin para ciclistas y peatones en casos en que se pueda esperar que tengan direcciones de visualización definidas a lo largo de la calle y o pavimento. Sin embargo, donde las direcciones de observación son más aleatorias, se debe considerar un concepto diferente.

Intensidades luminosas máximas en ángulos de 70°, 80° y 90°

Una limitación de las intensidades luminosas de las luminarias en direcciones críticas puede limitar el deslumbramiento por incomodidad en estas condiciones. Como criterio, a veces se utilizan las intensidades luminosas máximas en ángulos de elevación de 70°, 80° y 90°, como se indica en la figura 1.2. La CIE definió clases de Intensidad luminosa (G1 a G6), en base a estas intensidades. (CIE, 2010)

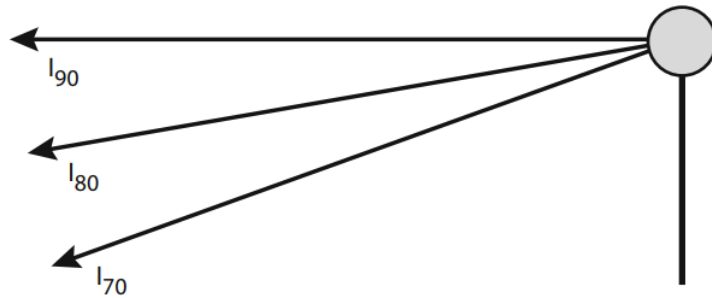


Figura 1.2: Intensidades máximas en ángulos de 70°, 80° y 90°.

Fuente: Van Bommel (2014)

Índice de deslumbramiento de la luminaria

El efecto de incomodidad no depende sólo de las intensidades, sino también del área luminosa de la luminaria. Un parámetro de calidad que tiene en cuenta tanto la intensidad luminosa como el efecto del área brillante es el índice de deslumbramiento de la luminaria, definido como:

$$\text{Índice de deslumbramiento de la luminaria} = \frac{I_{85}}{A^{0.5}} \quad (1.2.4)$$

donde:

I_{85} : Intensidad máxima en un ángulo de 85° de la vertical (cd).

A : Área luminosa aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de 85° (m^2).

1.2.3. Influencia de los parámetros fotométricos en la calidad de la iluminación

Para seguridad del tráfico nocturno, una instalación de iluminación de calzada tiene que proporcionar una información visual suficiente, que permita al usuario poder reaccionar ante cualquier eventualidad de un modo correcto y a su debido tiempo. Esto sólo será posible si la instalación asegura:

- Fiabilidad de la percepción.
- Comodidad visual.

Un objeto sólo se puede percibir si la diferencia de luminancia (contraste) entre su superficie y el fondo tiene un valor mínimo. El valor de contraste que se necesita para percibir un objeto depende del ángulo con el que se vea y de la distribución de la luminancia en el campo de visión del observador. Cuanto mayor sea el ángulo con que se ve el objeto y más alta la luminancia de fondo mejor será la sensibilidad de contraste del ojo que mira (siempre que no haya deslumbramiento).

1.2.3.1. Influencia de los valores de los parámetros fotométricos en la fiabilidad de la percepción

Se han llevado a cabo cálculos de la cantidad de objetos que se pueden percibir contra el punto más oscuro de una calzada en varias condiciones, definidas por el nivel de luminancia, la uniformidad y el deslumbramiento (Asiqi, 1980). El porcentaje de objetos que se puede ver en las condiciones específicas se llama “probabilidad de visión” o “poder revelador” (RP) de la instalación. En la tabla 1.1 y en la figura 1.3 se resumen algunos de los resultados obtenidos.

Tabla 1.1: Resumen de los resultados del poder revelador, RP Asiqi (1980).

Condición	Cambio con respecto a condición	L_{med} cd/m^2	U_o	TI (%)	RP (%)
1	-	2	0,4	7	85
2	Nivel L_{med}	1	0,4	7	70
3	Unif. U_o	2	0,2	7	55
4	Desl. TI	2	0,4	30	70

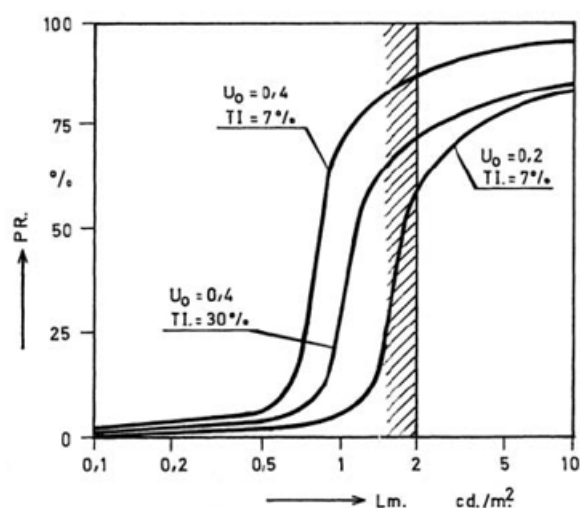


Figura 1.3: Curva de poder revelador.

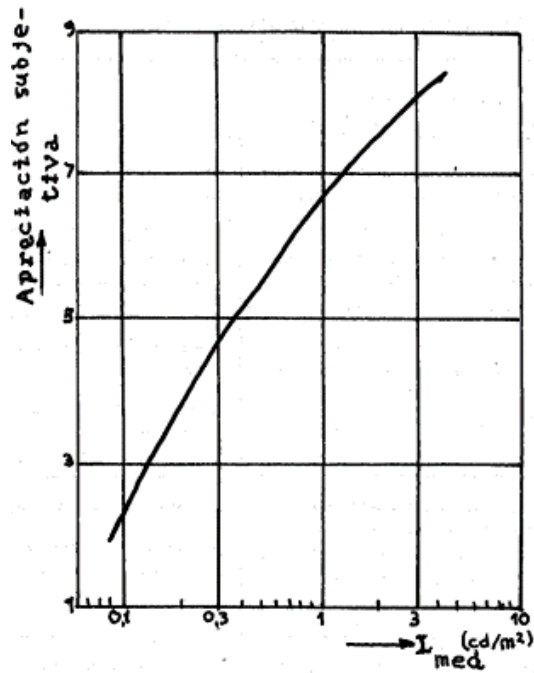
Fuente: Asiqi (1980)

1.2.3.2. Influencia de los valores de los parámetros fotométricos en la comodidad visual

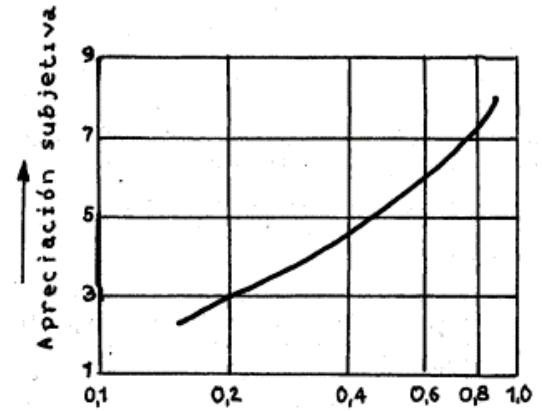
El aspecto de la comodidad de la visión es puramente psicológico. El grado de comodidad visual que se experimenta puede determinarse pidiendo a un gran número de observadores que indiquen su evaluación de diferentes situaciones de iluminación. Se han realizado investigaciones obteniéndose las calificaciones mostradas en la tabla 1.2. En la figura 1.4 se dan los resultados de las evaluaciones de iluminación de calzadas. Como instrumento satisfactorio para la medida de la señal de control del deslumbramiento, G , no hay ninguna; la única manera de determinar G es calcular este valor partiendo de los parámetros de luminarias en instalación, o conseguir una evaluación de la instalación de un grupo de observadores que sea estadísticamente suficiente (Asiqi, 1980).

Tabla 1.2: Escala de nueve puntos para evaluación subjetiva Asiqi (1980).

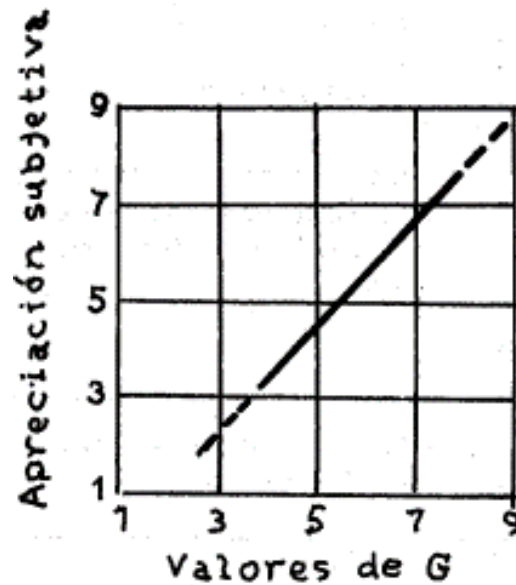
Evaluación	Nivel de luminancia/uniformidad	Deslumbramiento
1	Malo	Intolerable
3	Inadecuado	Molesto
5	Regular	Admisible
7	Bueno	Satisfactorio
9	Excelente	Inapreciable



(a) Evaluación de la luminancia media de la superficie de la calzada.



(b) Evaluación de la uniformidad longitudinal en la distribución de luminancia



(c) Correlación entre las evaluaciones de deslumbramiento y la señal de control de deslumbramiento.

Figura 1.4: Influencia de los parámetros fotométricos en la comodidad visual.

Fuente: Asiqi (1980)

1.3. Equipos para medir las características del sistema de iluminación

1.3.1. Equipos para medir iluminancia

1.3.1.1. Luxómetro

Instrumento para medir iluminancia, el cual consiste básicamente en una fotocelda que convierte la luz incidente sobre ella en energía eléctrica, cuya cantidad se puede medir e interpretar. Los luxómetros pueden tener distintas escalas en función de la cantidad de luz que se quiera medir, para tener una precisión mas exacta en caso de que las iluminancias sean más fuertes o débiles.

El principio de las celdas es el mismo que el de una célula solar de tipo fotovoltaica; convierten la luz incidente directamente en energía eléctrica, sin necesidad de una fuente de voltaje externa. Sin embargo, las células fotovoltaicas usadas para mediciones precisas y bajos niveles de iluminación usualmente emplean baterías externas para amplificar la salida de la corriente de la celda.



Figura 1.5: *Luxómetro.*

Fuente: Konika Minolta

1.3.1.2. Sistemas dinámicos

Se han desarrollado aplicaciones para simplificar y automatizar el proceso de recolección de medidas de iluminancia, montando sensores de iluminancia y posición GPS en vehículos, con el fin de tomar medidas georreferenciadas del nivel de iluminancia mientras éste circula por la vía. También se han desarrollado sistemas que combinan sensores de iluminancia con dispositivos de medición de distancia. En esta subsección se hará una breve descripción de algunas aplicaciones desarrolladas que se han encontrado en la bibliografía.

ALMS

En 2014 se desarrolló el Advanced Lighting Measurement System (ALMS) en Florida, capaz de registrar lecturas de iluminación mientras viaja a velocidades de conducción. El sistema consiste en un microcontrolador Arduino, instrumento de medición de distancia, módulo USB, registrador de eventos, módulo GPS, luxómetros y módulo micro SD. El sistema requiere una mínima interacción del usuario y acelera rápidamente la medición de iluminación a lo largo de las carreteras. (Johnson et al., 2014).

LX-GPS

En España se desarrolló la aplicación LX-GPS, la cual consiste en una serie de luxómetros instalados sobre el techo de un vehículo, tal como se ve en la figura 1.6, integrados con GPS, que pueden almacenar datos de iluminancia a medida que el vehículo se desplaza por la vía. (Sanz Ciria and Sierra Garriga, 2011)



Figura 1.6: Arreglo sistema LX-GPS.

Fuente: Sanz Ciria and Sierra Garriga (2011)

Sistema móvil del CUTR

En 2008, el Centro de Transporte e Investigación Urbana (CUTR) de la Universidad del Sur de la Florida implementó un sistema móvil para medir la iluminación vial. Este sistema fue probado a lo largo de las principales carreteras de Florida con la intención de integrar los resultados en la base de datos de carreteras del Departamento de Transporte de la Florida (Zhou Huaguo, 2009).

El sistema creado por CUTR usa medidores de luz montados en la parte superior de un vehículo, un DMI y una computadora portátil. Este sistema se basó en una computadora portátil y un software para integrar datos entre los medidores de luz y el DMI. Este diseño no incluye datos de ubicación GPS. Al depender únicamente del DMI para la ubicación, el sistema es vulnerable a problemas de precisión de ubicación, ya que no hay forma de verificar dónde se realizaron las mediciones. El uso de una computadora portátil en lugar de un sistema integrado reduce el grado de automatización, lo que requiere una mayor participación del usuario.

medida más sofisticada.

Hay dos formas de obtener la señal de salida de un detector dividido:

- La señal del detector frontal se muestrea cuando el odómetro del vehículo de medición lo registra en la posición longitudinal deseada, luego se toma una muestra del detector trasero cuando cruza el mismo punto.
- El detector frontal y el trasero son muestreados sincrónica o asincrónicamente a una tasa definida. En el mismo instante el contador del odómetro es leído y registrado junto con los valores de iluminancia.

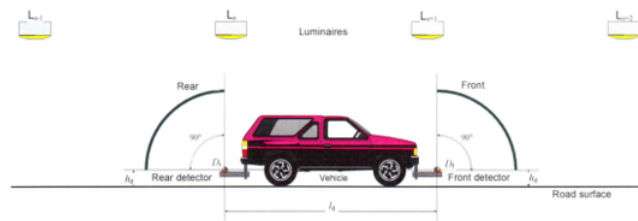


Figura 1.8: *Sistema con detector dividido.*

Fuente: CIE (2011)

1.3.2. Equipos para medir luminancia

1.3.2.1. Luminancímetro

Ya que las células fotoeléctricas miden la luz incidente sobre su superficie, es iluminancia lo que miden. En fotometría, por lo tanto, todas las cantidades fotométricas que se miden deben ser convertidas a iluminancias. Para mediciones de luminancia esto significa que la imagen de la superficie cuya luminancia se debe medir, como por ejemplo el área brillante de una luminaria, el área de una sección o un punto de la carretera, tiene que ser proyectado en la cara de la fotocelda. Un luminancímetro, por lo tanto, contiene una fotocelda con un sistema óptico en el frente que proyecta una imagen de la escena a ser medida en la cara de la fotocelda.

Mediante empleo de un diafragma ajustable, el tamaño del área proyectada en la célula puede ser cambiado, de una medición puntual a una medición de área más grande. Empleando un diafragma trapezoidal que coincida con la vista en perspectiva de la superficie de la calzada frente al medidor, la luminancia media puede ser medida directamente. Dichos medidores son llamados luminancímetros integradores. Para mediciones puntuales muy pequeñas, se necesitan fotocélulas muy sensibles debido a la pequeña cantidad de luz que finalmente alcanza la celda.



Figura 1.9: *Luminancímetro.*

Fuente: Konica Minolta

1.3.2.2. Dispositivo de medición de luminancia de imagen, ILMD

Un ILDM (*Image Luminance Measurement Device*, dispositivo de medición de luminancia de imagen) es un dispositivo electrónico digital, equipado con lentes, un filtro fotométrico adecuado, un sensor compuesto por una matriz de detectores (píxel), y calibrado para medir las distribuciones de luminancia de una escena. En un ILMD, cada píxel se calibra para determinar los valores de luminancia de las imágenes proyectadas en su superficie (UNE, 2016). Estos dispositivos, también llamados luminancímetros “multidireccionales”, son capaces de medir valores de luminancia en varias direcciones de vista a la vez.

La matriz de píxeles se realiza generalmente con sensores CCD (sensores de carga acoplada – *charge coupled device*) o CMOS (semiconductor de óxido de metal complementario – *complementary metal oxide device*).

Los sistemas de medición basados en estos dispositivos han avanzado desde prototipos de investigación experimental a instrumentos comerciales, acabados con software de medición y elaboración de datos. (CIE, 2011)

Equipos comerciales

Medidor de luminancia de imagen CX-3B/2B De acuerdo a lo informado por el fabricante, las características principales del equipo son:

- Alta precisión: El ajuste espectral del sistema óptico a la función $V(\lambda)$ puede alcanzar el nivel de clase A o clase B (DIN 5032-7).
- Medición de alta resolución: CX-3B equipa CCD de alta calidad de más de 8 millones de píxeles para realizar una alta resolución. CX-2B equipa CCD de imagen de alta calidad de más de 1,4

millones de píxeles para medir la luminancia de cada punto en el campo visual, de una vez por muestreo.

- Alto rango dinámico (HDR – High Dynamic Range): La tecnología de alto rango dinámico, realiza la medida exacta de objetos con gran diversidad de la luminancia, el rango de medida puede ser de $0.001 \text{ cd} / \text{m}^2$ a $200 \text{ kcd} / \text{m}^2$.
- Buena Estabilidad: Los modelos adoptan la tecnología avanzada del enfriamiento para adquirir buena estabilidad y repetibilidad.
- Equipamiento con objetivo de gama alta de gran apertura para medir el objeto de corta a muy larga distancia.
- Alimentado por el suministro de red o la fuente de alimentación de CC externa, y tiene un interfaz del USB, conveniente para la medida en laboratorio y en terreno.



Figura 1.10: *Medidor de Luminancia de Imagen CX-2B.*

Fuente: OxyTech

El dispositivo es capaz de realizar las siguientes mediciones:

- Luminancia en los puntos de la retícula definidos por el usuario sobre la imagen de la carretera o del túnel según las normas CIE140-2000, EN 13201:2015 e IESNA RP-8-00.
- Cálculo de las uniformidades longitudinales y transversales.
- Valoración de la luminancia en la zona de acceso a los túneles de carreteras según las normas CIE88-2004, UNE-CR 4380:2007.
- Cálculo del deslumbramiento TI.



Figura 1.11: Medición de luminancia en todos los puntos de la retícula, cálculo de incremento de umbral.

Fuente: OxyTech

LMK mobile air Luminancímetro de imagen basado en una cámara digital réflex Canon 70D. Permite realizar mediciones de deslumbramiento mediante TI, mediciones de L_{20° en entradas de túneles, de acuerdo con CIE 88, distribuciones de luminancias de acuerdo con norma EN13201 en carreteras y túneles.

Restricciones:

- No puede ser usado para medir fuentes de luz de color (LED).
- Uso limitado para medir fuentes de luz moduladas con fuerte modulación.

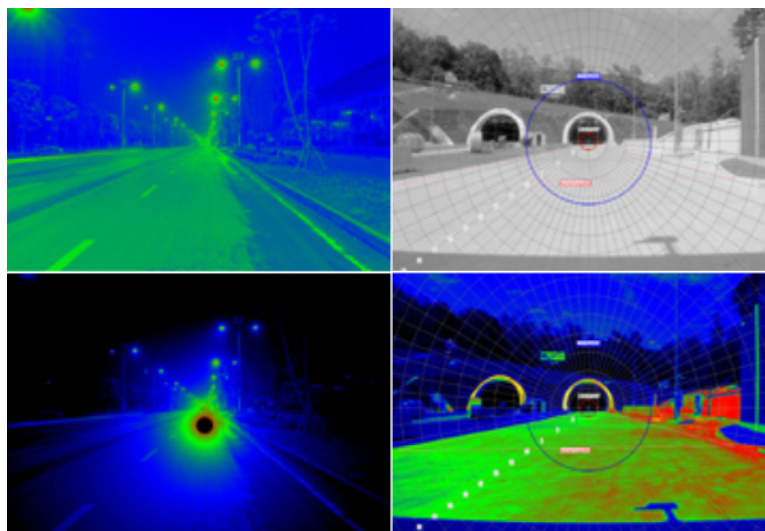


Figura 1.12: Determinación del deslumbramiento mediante Incremento de Umbral, medición de la luminancia L_{20° en la zona próxima a la entrada de un túnel.

Fuente: TechnoTeam

1.3.2.3. Cyclope

Es un sistema automático de medición de desempeño de la iluminación de carreteras y túneles, desarrollado por el Département Laboratoire et CECP d'Angers (DLRCA) de Cerema (Instituto Público de la red científica del Departamento de Transportes de Francia). El sistema combina un dispositivo de medición fotométrico y colorimétrico con algoritmos de detección y ajuste de demarcaciones viales. La retícula de medición normativa para el cálculo del rendimiento se proyecta directamente en las imágenes. Las imágenes de CYCLOPE están georeferenciadas, los resultados se pueden integrar directamente en un Sistema de Información Geográfica, ofreciendo la oportunidad de evaluar globalmente el nivel de servicio de la infraestructura. (Greffier et al., 2015). En la Figura 1.13 se muestra un ejemplo de una imagen procesada con cyclope.

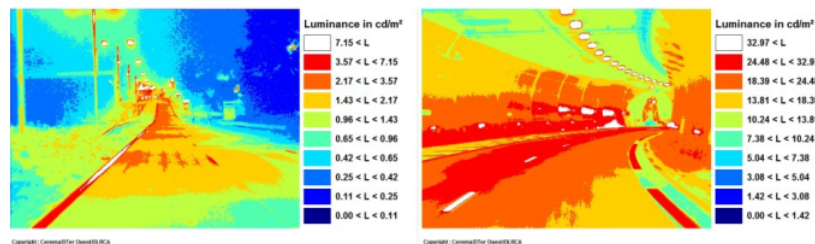


Figura 1.13: Imágenes procesadas cyclope, con escalas de valores para cada píxel.

Fuente: Greffier et al. (2015)

En la figura 1.14 se muestra un ejemplo de un reporte de medición del sistema CYCLOPE, en la cual se pueden ver para distintos puntos la luminancia media, uniformidad global y longitudinal a lo largo de una calle. Las mediciones de luminancia se muestran también en modo cartográfico y todas las mediciones pueden ser importadas en un Sistema de Información Geográfica.

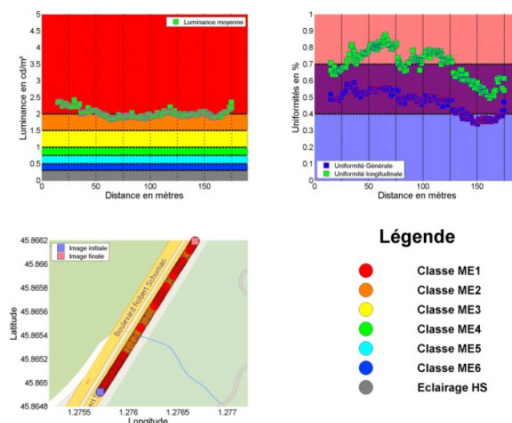


Figura 1.14: Reporte típico CYCLOPE (en francés).

Fuente: Greffier et al. (2015)

1.3.3. Sistemas mixtos

1.3.3.1. RLMMS

El Lighting and Infrastructure Technology Group del Virginia Tech Transportation Institute (VT-TI), bajo el patrocinio del National Surface Transportation Safety Center for Excellence (NSTSCE), desarrolló un sistema mixto de medición llamado Roadway Lighting Mobile Measurement System (RLMMS), el cual provee evaluación de iluminancia, luminancia, contenido espectral, deslumbramiento, rendimiento visual y condición del vehículo. El sistema fue desarrollado para ser transportable a cualquier parte del mundo y montado en cualquier vehículo, fue programado enteramente en LabView y permite una variedad de configuraciones de colección de datos. Ha sido utilizado en varios proyectos de iluminación en Anchorage, Alaska; Honolulu, Hawai; y San Diego, California (Gibbons et al., 2018).

El RLMMS cuenta con 5 luxómetros; 4 miden la iluminancia en la línea del centro y las huellas del vehículo, uno mide la luminancia vertical a la altura del ojo del conductor, una cámara calibrada para medir luminancia y una para medir el color de la escena. Puede vincularse a la red interna del vehículo para obtener medidas de velocidad y distancia. Pueden incorporarse herramientas adicionales como un espectrorradiómetro y un rastreador ocular. Se muestra el esquema del RLMMS con todos sus componentes en la Figura 1.15.

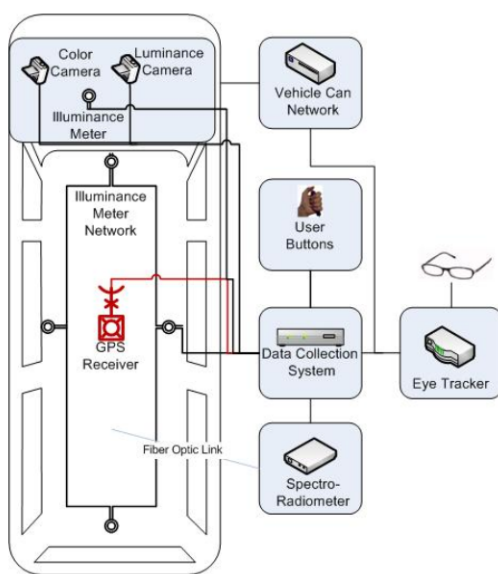


Figura 1.15: Esquema Road Lighting Mobile Measurement System (RLMMS).

Fuente: Gibbons et al. (2018)

Gibbons et al. (2018) reporta análisis de repetitividad y reproducibilidad (R & R) para las mediciones de iluminancia horizontal y vertical, para tener en cuenta el nivel de coherencia de los datos en el tiempo (repetibilidad) y entre diferentes usuarios (reproducibilidad). De acuerdo a la metodología

empleada, los resultados indican que para la medición de iluminancia horizontal se puede atribuir un 13% de la variabilidad al sistema de medición, mientras que para la iluminancia vertical obtiene un 26%.

Hasta Julio 2017, el sistema había medido más de 5000 millas de iluminación. Como ejemplo, se muestran los resultados de una recopilación de datos del Minneapolis-St. Paul Bridge en la figura 1.16, en la cual se ilustra la iluminancia de cada una de las luminarias en cada una de las cinco pistas. Esto se realizó para direcciones tanto hacia el norte como hacia el sur. Se espera tomar estas mediciones cada 3-6 meses para monitorear los cambios en el sistema de iluminación en el puente. Este proyecto permite monitorear el rendimiento del sistema LED instalado, durante un largo período de tiempo para establecer los factores de diseño asociados con el sistema LED relacionados con la suciedad y los cambios en la salida del sistema.

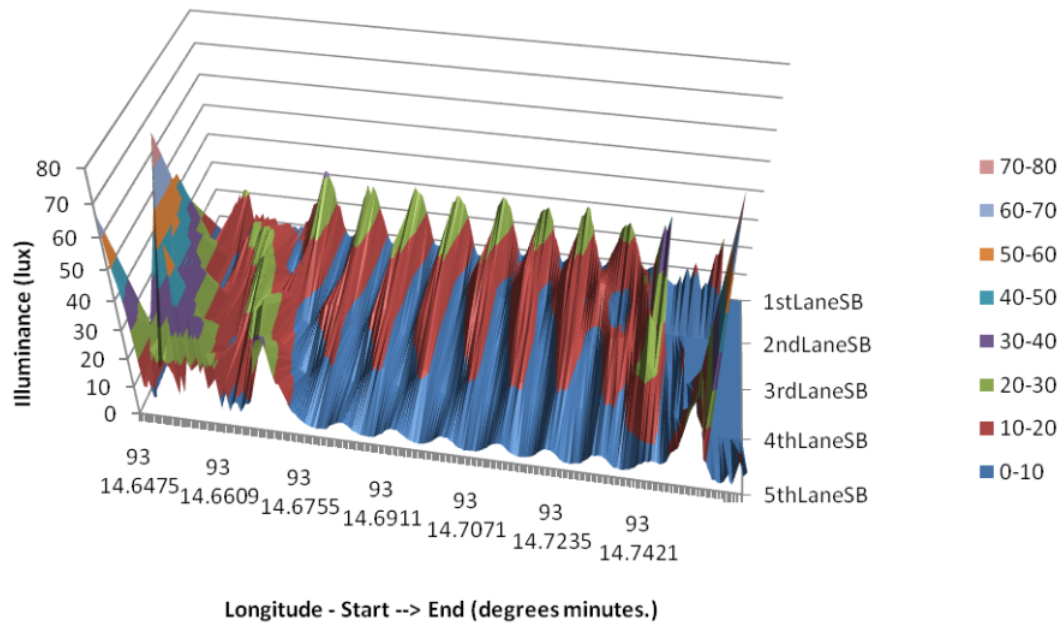


Figura 1.16: *Reporte RLMMS.*

Fuente: Gibbons et al. (2018)

1.4. Especificaciones de iluminación de carreteras en Chile

En Chile los requisitos de iluminación vial están regulados por el capítulo 6.700 del Manual de Carreteras (Dirección de Vialidad, 2017), y los Decretos del Ministerio de Energía N° 2, vigente desde 01-06-2016 y que aprueba el Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tránsito Vehicular (Ministerio de Energía, 2016a), y N° 51 vigente desde 26-06-2016 y que aprueba el Reglamento de Alumbrado Público de Bienes Nacionales de Uso Público Destinados al Tránsito Peatonal (Ministerio de Energía, 2016b). Sin perjuicio de lo que establecen los decretos N°2 y 51° del Ministerio de Energía, los proyectos de iluminación vial para el Ministerio de Obras Públicas deberán desarrollarse conforme a las indicaciones del Capítulo del Manual de Carreteras antes mencionado.

1.4.1. Manual de Carreteras

1.4.1.1. Iluminación en zonas destinadas exclusivamente al tránsito vehicular

De acuerdo a lo establecido en los criterios de diseño, normas internacionales y lo ya en uso en nuestro país, lo que define la calidad del alumbrado es la luminancia (Dirección de Vialidad, 2017).

En el diseño de iluminación de un proyecto vial, debe considerarse lo siguiente:

- Un adecuado nivel de luminancia de la superficie de la calzada que permita, dentro de ciertos límites, un buen rendimiento visual en los conductores, en términos de la distancia a la cual se pueden alcanzar a percibir los objetos, ante las diferencias de contrastes que se presentan a la vista del conductor en la calzada. Por lo tanto, la habilidad de un conductor para llevar a cabo la tarea de conducir depende de cuan adecuadamente reconoce su entorno y de cuan adecuadamente reacciona a estos estímulos visuales.
- Una buena uniformidad de la luminancia general, que permita un buen rendimiento visual.
- Una buena uniformidad longitudinal (en el sentido del tránsito), que implique una mejor comodidad visual, es decir, un nivel relativamente parejo de iluminación sobre el área justo en frente del conductor; lo que reducirá las adaptaciones de niveles altos a bajos o viceversa, permitiendo una disminución de la tensión psicológica y fisiológica del conductor.
- Un bajo deslumbramiento provocado, en general, por el sistema de alumbrado. Este deslumbramiento afecta tanto el rendimiento visual como la comodidad visual.

En los proyectos para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, se definen diferentes clases de iluminación de acuerdo al Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), y de acuerdo a su clasificación. La selección de clases y los valores de luminancia mínimos recomendados están dados en la tabla 6.702.3.A, que se reproduce a continuación:

Tabla 1.3: Valor de Luminancia Mínimo Recomendado. Dirección de Vialidad (2017).

Clase	Tipo de Ruta Vial	TMDA/IH	L_{av}	Uo	UI	Tl_{max}
			c_d/m^2			%
A1	Carretera con calzadas separadas por mediana, con vía paralela iluminada o por iluminar, con velocidad hasta 120 km/h. Con gran volumen de tránsito. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M1 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	< 10.000/500	1,8	0,4	0,7	20
		10.000/500 a 20.000/1.200	2	0,4	0,7	20
		> 20.000/1.200	2,2	0,45	0,75	20
A2	Carretera con calzadas separadas por mediana, con entorno urbano, de velocidad hasta 120 km/h. Con gran cantidad de volumen de tránsito. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M2 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	< 10.000/500	1,5	0,4	0,7	15
		10.000/500 a 20.000/1.200	1,7	0,4	0,7	15
		> 20.000/1.200	2,0	0,45	0,75	15
A3	Carretera con calzadas separadas, sin entorno urbano, de velocidad hasta 120 km/h. Con gran cantidad de volumen de tránsito. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M3 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	< 10.000/500	1,3	0,4	0,7	10
		10.000/500 a 20.000/1.200	1,5	0,4	0,7	10
		> 20.000/1.200	1,7	0,5	0,8	10
	Caminos y alrededores de vías principales					
A4	Camino de una calzada bidireccional, camino secundario, ramales o lazos, pistas sin mediana, de volumen de tránsito moderado y velocidad inferior o igual a 100 km/h. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M2 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	Sin entorno luminoso	1,5	0,4	0,7	10
		Con entorno luminoso	1,8	0,4	0,7	10
A5	Camino de una calzada bidireccional, camino secundario, ramales o lazos, pistas sin mediana, de volumen de tránsito moderado y velocidad inferior o igual a 70 km/h. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M4 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	Sin entorno luminoso	1,5	0,4	0,6	10
		Con entorno luminoso	1,8	0,4	0,6	20
A6	Calle de servicio, ramales o lazos, pista de cambio de velocidad. Volumen de tránsito bajo, velocidad inferior o igual a 40 km/h. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M5 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	Sin entorno luminoso	1	0,4	0,6	10
		Con entorno luminoso	1,5	0,4	0,6	20
A7	Calle de Servicio, pista de cambio de velocidad. Volumen de tránsito bajo, velocidad inferior o igual a 30 km/h. Nota: Estos valores mínimos están sobre la clase M5 del Reglamento de Alumbrado Público SEC.	Sin entorno luminoso	0,9	0,4	0,6	10
		Con entorno luminoso	1,4	0,4	0,6	20

1.4.1.2. Iluminación para zonas con presencia peatonal y ciclovías

El objeto de la iluminación en zonas con presencia peatonal y ciclovías, ha sido abordado desde el punto de vista de seguridad vial, donde los factores relevantes son los niveles de iluminancia y las uniformidades, así como la limitación del deslumbramiento.

Las características de la iluminación que se considera comprenden uno o varios de los siguientes elementos:

- Iluminancia media horizontal.

- Iluminancia mínima horizontal.
- Iluminancia mínima vertical.
- Uniformidad media horizontal.
- Limitación del deslumbramiento causado por el sistema de alumbrado.

Se establecen distintas categorías en función de la afluencia de público nocturno, riesgo de asalto y tránsito:

Categoría 1: Zonas susceptibles de acoger importante cantidad de público nocturno (tal como en los alrededores de los clubes, centros comerciales, centros de diversión, deportivos, etc.), con un elevado riesgo de asalto y tránsito vehicular denso y errático. Se puede homologar a la clase de alumbrado P1 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica tránsito peatonal superior a 480 peatones por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Categoría 2: Zonas donde la frecuentación nocturna de público es moderada (alrededores de clubes, centros comerciales, centros de diversión, etc. no contempladas en categorías 1 y 3), con bajo riesgo de delito y tránsito vehicular escaso. Se puede homologar a la clase de alumbrado P2 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica tránsito peatonal entre 300 y 480 peatones por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Categoría 3: Zonas con baja frecuentación nocturna de público y no concierne más que a las propiedades contiguas y a pequeños establecimientos comerciales, el riesgo de delito es casi nulo y tránsito vehicular de zona residencial. Se puede homologar a la clase de alumbrado P3 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica tránsito peatonal entre 121 y 299 peatones por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Categoría 4: Zonas con baja frecuentación nocturna de público y no concierne más que a las propiedades contiguas y existencia de establecimientos de comercio casi inexistente, el riesgo de delito es casi nulo y tránsito vehicular de zona residencial. Se puede homologar a la clase de alumbrado P4 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica tránsito peatonal entre 60 y 120 peatones por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Categoría 5: Zonas con vías adyacentes a inmuebles ubicados en zonas de conservación histórica, identificada como tal en el instrumento de planificación territorial respectivo, típico de áreas culturales y de paseo y turismo familiar (parques, museos, bibliotecas). Se puede homologar a la clase de alumbrado P5 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica independencia del tránsito peatonal por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Categoría 6: Zonas residenciales con nula o muy baja frecuentación nocturna de público, el riesgo de delito es casi inexistente y tránsito vehicular de zona residencial. Se puede homologar a la clase de alumbrado P6 del Reglamento de Alumbrado Público SEC, que indica tránsito peatonal inferior a 60 peatones por hora, con las exigencias adicionales de la Dirección de Vialidad.

Las categorías se pueden homologar a las clases de alumbrado del Reglamento de Alumbrado Público del Ministerio de Energía (SEC). Los requerimientos para cada clase están dados en la tabla 6.705.2.A, reproducida a continuación:

Tabla 1.4: Iluminación para carreteras secundarias y zonas peatonales asociadas. Dirección de Vialidad (2017).

Categoría		Imposiciones sobre la ruta, las cunetas, los caminos y los senderos		
MOP	Equivalente SEC	Iluminancia media mantenida (lux)	Iluminancia del Punto Mínimo Mantenido (lux)	Iluminancia Vertical Mínima a 1,5 m (lux)
1	P1	20	15	10
2	P2	15	10	8
3	P3	10	5	5
4	P4	7,5	1,5	1,5
5	P5	5	1	1
6	P6	3	0,6	0.5

1.4.1.3. Áreas conflictivas

La iluminación de las zonas de áreas conflictivas, en general es materia de proyectos de alumbrado urbano. Sin embargo en algunos casos, los proyectos de vialidad correspondientes al Ministerio de Obras Públicas, interfieren con la vialidad de zonas urbanas y en donde se pueden producir áreas conflictivas.

El Alumbrado público de las áreas conflictivas deberá ser suficiente para revelar el borde de la acera, las marcas de la calzada, la señalética de la vía, la presencia de peatones u otros usuarios, obstrucciones u objetos en la calzada y el movimiento de vehículos en el área conflictiva y la proximidad a ésta.

En caso que en las áreas conflictivas no exista Alumbrado público en la calzada que conduce o abandona dichas áreas, el Alumbrado público se deberá instalar en un tramo lo bastante extenso como para proporcionar, al menos, cinco (5) segundos de tramo de conducción a la velocidad máxima de tránsito permitida establecida por la autoridad competente.

En estos casos, que se utilizan criterios de Luminancia para el alumbrado de las áreas conflictivas, les será exigible que su clase de alumbrado "A" de la TABLA 6.702.3.A, deberá ser de, al menos, la clase de alumbrado inmediatamente superior al aplicable a la(s) vía(s) que conduce(n) a dicha área, salvo que a esta(s) última(s) le(s) corresponda la clase de alumbrado A1, en cuyo caso corresponderá aplicar dicha clase (A1) al área conflictiva.

En caso que por razones técnicas no sea posible aplicar los criterios de Luminancia para el alumbrado del área conflictiva, ya sea que los tramos de las vías involucradas otorguen poca visibilidad al usuario, o bien, se trate de tramos cortos o de otros factores que impiden el uso de tales criterios, se deberán aplicar los criterios de Iluminancia que se indican a continuación, en la parte del área

conflictiva que presenta tales problemas.

Para tal efecto, los niveles de alumbrado que se deberán aplicar a tales vías en áreas conflictivas, serán de, al menos, la clase de alumbrado “C” establecido en la siguiente TABLA 6.705.6.A, mediante la Iluminancia media y su uniformidad, en cuya columna para la clase de alumbrado, dicha letra “C” indica las Áreas Conflictivas y su número corresponde al de la clase de alumbrado “A” (o B según el caso) de la TABLA 6.702.3.A, de modo que si la vía con una mayor clase de alumbrado que se dirige hacia el área conflictiva es clase A_k , dicha área se deberá alumbrar con la clase de alumbrado C_{k-1} y así sucesivamente. En todo caso, la Iluminancia en toda área conflictiva deberá ser igual o superior a la Iluminancia de cualquiera de las vías que se dirigen a dicha área.

Tabla 1.5: Niveles mínimos de iluminancia recomendados en áreas conflictivas. Dirección de Vialidad (2017).

CLASE DE ALUMBRADO (*)	Iluminancia Promedio Mínima Mantenido sobre toda la Superficie E (lux)	Uniformidad Media de Iluminancia Mínima (Um)
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40

1.4.2. Medición

En el Anexo 6.700-A “Método Práctico de Medición de Luminancia” se describe una metodología de medición punto a punto, sobre la retícula de cálculo basada en la publicación CIE140. La medición contempla la obtención de los valores de luminancia sobre la totalidad de los puntos contenidos en la zona a medir. Los valores medidos permiten determinar los parámetros de iluminación en la zona, como luminancia máxima, luminancia mínima, luminancia media, uniformidad global y uniformidad longitudinal.

Se indica que se debe emplear un luminancímetro óptico electrónico portátil, con sistema de visión a través de un lente, con el cual se obtienen las mediciones puntuales. El instrumento se debe acoplar sobre un trípode de precisión, el cual a su vez se monta sobre una base móvil, de modo que el conjunto sea fácil de desplazar.

1.4.3. Bases de Licitación

En las últimas bases de licitación (MOP, 2015, 2017a,b) se evalúa el desempeño del sistema de iluminación mediante niveles de servicio. Para ello se define un indicador que representa el porcentaje

mensual de cumplimiento de las exigencias mencionadas en la Tabla 1.6, las cuales deben cumplirse copulativamente.

Para verificar el cumplimiento del estándar de servicio se consideran los siguientes elementos: postaciones, luminarias, circuitos eléctricos, tableros de distribución y conexión de alumbrado, entre otros.

Tabla 1.6: Exigencias para la integridad y funcionalidad de la iluminación. MOP (2017a)

E_i	Exigencias		Consideraciones
E_1	Iluminación	Íntegra	Todos los elementos que forman parte del sistema de iluminación de la vía deberán estar presentes en su ubicación original, según el Proyecto de Ingeniería de Detalle de Iluminación y de acuerdo a lo registrado en el Sistema BIM. Los elementos deben estar alineados, limpios, funcionales y con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados. Estos elementos no deben presentar saltaduras, óxido, grietas, deformaciones ni pérdidas de material. Los postes no deberán sostener publicidad.
E_2	Uniformidad general (U_o)	Funcional, es decir, $\geq$ al valor obtenido del Proyecto de Ingeniería de Detalle	La uniformidad general (U_o) corresponde al cociente entre la luminancia mínima y la luminancia media.
E_3	Uniformidad longitudinal (U_l)	Funcional, es decir, $\geq$ al valor obtenido del Proyecto de Ingeniería de Detalle	La uniformidad longitudinal (U_l) corresponde al cociente entre la luminancia máxima y la luminancia mínima, medida sobre la línea central de cada pista.

Se define el indicador ILUE, calculado por la siguiente ecuación:

$$ILUE_m = \frac{\sum_{j=1}^d \sum_{h=1}^n \sum_{i=1}^e E_{i,j}}{d * n} \quad (1.4.5)$$

donde:

- $ILUE_m$: Porcentaje mensual de integridad y funcionalidad de la iluminación en el exterior.
- $E_{i,h,j}$: Corresponde al valor adoptado por la exigencia “i” en el hectómetro fijo “h”, durante el día “j”.
- i : Es el sub índice que representa el contador de las exigencias.
- j : Es el sub índice que representa el contador de los días del mes “m”.
- h : Es el sub índice que representa el contador de los hectómetros fijos.
- d : Número total de días del mes “m”.
- e : Número total de exigencias definidas para este indicador.
- n : Número total de hectómetros fijos.

Para constatar la integridad de los elementos de iluminación, se indica que se debe utilizar inspección visual.

Para constatar las exigencias de funcionalidad, en la base de licitación de la ruta G-21 se indica que se deben realizar mediciones de luminancia con un instrumento de medición luminancímetro y se debe utilizar el método de medición por retícula de puntos, definido en el anexo 6.700-A del Manual de Carreteras Volumen N°6. En las bases de licitación de Nogales-Puchuncaví, y rutas del Loa se menciona que se deben realizar mediciones de iluminancia, lo cual refleja una inconsistencia con respecto a las exigencias.

1.5. Recomendaciones y especificaciones internacionales

1.5.1. CIE

La CIE (Commission internationale de l'éclairage) establece recomendaciones para iluminación en el reporte CIE115:2010 “Iluminación de Carreteras para el Tráfico de Vehículos y Peatones” (CIE, 2010). Para el tráfico motorizado, adopta el enfoque de luminancia y utiliza los parámetros de calidad de Luminancia media, Uniformidad global, Uniformidad longitudinal, Incremento de umbral y Razón de entorno. Para la iluminación de peatones utiliza parámetros basados en iluminancia.

1.5.1.1. Iluminación para tránsito motorizado

Para tránsito motorizado se definen 6 clases de iluminación, M1 a M6. La clase de iluminación aplicable en una determinada situación depende de los siguientes factores:

- Dificultad de la geometría del camino en términos de separación de calzadas y de densidad de intersección.
- Características del tráfico en términos de velocidad.
- Volumen de tráfico.
- Composición del tráfico, posibilidad de vehículos estacionados.
- Brillo promedio del área (luminancia ambiental).
- Calidad de la guía visual y señalización de control de tráfico.

Para cada clase de iluminación se especifican valores para los siguientes criterios:

- Nivel de Iluminación L_{av}
- Uniformidad Global U_o
- Uniformidad Longitudinal U_l
- Restricción del deslumbramiento TI

- Razón de Entorno SR

Los valores para cada las clases definidas se muestran en la tabla 1.7.

Tabla 1.7: Clases de Alumbrado para tráfico motorizado, basado en luminancia de la superficie de la calzada. CIE (2010).

Clase de Alumbrado	Superficie de la Calzada			Incremento de Umbral	Razón de Entorno
	L_{av} en cd/m^2	U_o	U_i	f_{ri} in %	R_s
M1	2,0	0,40	0,70	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,40	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,40	20	0,5

1.5.1.2. Iluminación para peatones y zonas de tránsito lento

El método de especificación de iluminación para estas categorías de usuarios es el mismo que para las categorías de tráfico motorizado. La base de la recomendación está formada por seis clases de iluminación, P1 a P6. La clase de iluminación aplicable en una determinada situación depende de los siguientes factores:

- Las características del tráfico a baja velocidad en términos de velocidad, volumen de tráfico, composición del tráfico, posibilidad de vehículos estacionados,
- El brillo promedio del área (luminancia ambiental).

Los valores especificados se muestran en la tabla 1.8.

Tabla 1.8: Clases de Alumbrado para zonas peatonales y de tránsito lento. CIE (2010).

Clase de Alumbrado	$E_{h,av}$ (lx)	$E_{h,min}$ (lx)	Requerimiento adicional si se requiere reconocimiento facial	
			$E_{v,min}$ (lx)	$E_{sc,min}$ (lx)
P1	15	3,0	5,0	3,0
P2	10	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5	1,0	1,5	1,0
P5	3	0,6	1,0	0,6
P6	2	0,4	0,6	0,4

*Para proveer uniformidad el valor de la iluminancia media mantenida no puede exceder 1,5 veces el valor indicado para la clase

1.5.1.3. Iluminación para áreas conflictivas

La misma recomendación de la CIE también especifica valores de iluminación para las llamadas áreas conflictivas, que pueden ocurrir en las rutas de tráfico donde se cruzan diferentes vehículos, donde hay un cambio en la geometría del camino (por ejemplo, número reducido de pistas) o donde la misma red de carreteras es usada por una mezcla de tráfico motorizado y otros tipos de tráfico (peatones, ciclistas, etc). Al igual que para las vías exclusivas de tránsito motorizado, se definen distintas clases para las áreas conflictivas, de C0 a C5. Para las áreas conflictivas, el criterio de luminancia es el recomendado. Sin embargo, donde las distancias de visión son cortas y otros factores previenen el uso del criterio de luminancia, se puede usar la iluminancia como criterio en parte del área conflictiva, o el área completa si el criterio de luminancia no puede ser aplicado en la totalidad del área, con los valores dados en la tabla 1.9.

El área conflictiva debería tener como mínimo, un nivel de iluminación no menor que las vías que llegan a ella. Sin embargo, se recomienda que la clase de alumbrado usada para el área conflictiva sea normalmente, una clase inmediatamente anterior a la más alta usada para las vías que conducen a ella. Esto no es posible en caso de que llegue una vía con clase M1, en tal caso, el área de conflicto debería iluminarse con clase M1.

Tabla 1.9: Clases de alumbrado para áreas conflictivas. CIE (2010).

Clase de Alumbrado	Iluminancia Media E (lx)	Uniformidad de Iluminancia U_0	Incremento de Umbral %	
			Velocidades moderadas y altas	Velocidades bajas y muy bajas
C0	50	0,4	10	15
C1	30	0,4	10	15
C2	20	0,4	10	15
C3	15	0,4	15	20
C4	10	0,4	15	20
C5	7,5	0,4	15	25

1.5.2. CEN

El primer estándar europeo de alumbrado público publicado por el Comité Europeo de Normalización (CEN) se publicó en 2003. En el año 2015 se publicó una nueva versión revisada (CEN, 2015a). Se basa en gran medida en el sistema CIE descrito en la sección 1.5.1, tanto en la selección de las clases de iluminación para cada categoría de usuarios, como en los valores de los parámetros de calidad.

1.5.3. IES

La Norma estadounidense de Práctica Nacional para Calles y Alumbrado Público ha sido revisada por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) y es aceptada por el Instituto Nacional de Estándares Americanos (ANSI) en 2014 y se publica como RP-8-14 (ANSI/IES, 2014). El estándar recomienda el método de diseño de luminancia para carreteras y calles rectas, y el método de diseño de iluminancia horizontal para intersecciones e intercambios. Para las áreas peatonales, las iluminancias horizontales y verticales son los parámetros de diseño recomendados.

Las clases de alumbrado de carreteras son para carreteras no destinadas a la actividad de peatones o ciclistas, directamente definidas en términos de autopistas (Freeways) (clase A y B) y vías expresas (Expressway). En la Tabla 1.10 se muestran los valores de diseño de los parámetros luminotécnicos para este tipo de vías.

Tabla 1.10: Criterios de diseño de iluminación para carreteras. ANSI/IES (2014).

ROAD CLASSIFICATION	AVG. LUMINANCE L_{avg} (cd/m ²)	AVG. UNIFORMITY RATIO L_{avg}/L_{min}	MAX. UNIFORMITY RATIO L_{max}/L_{min}	MAX. VEILING LUMINANCE RATIO L_{vmax}/L_{avg}
FREEWAY CLASS A	0.6	3.5	6.0	0.3
FREEWAY CLASS B	0.4	3.5	6.0	0.3
EXPRESSWAY	1.0	3.0	5.0	0.3

Las clases de alumbrado público para carreteras donde peatones y ciclistas están presentes se denominan vías principales, colectoras y locales. Aquí se realiza una diferenciación entre actividad peatonal alta, media y baja. El nivel de iluminación varía de 1.2 a 0.3 cd / m². En la Tabla 1.11 se muestran los valores de diseño de los parámetros luminotécnicos para este tipo de vías.

Tabla 1.11: Criterios de diseño de iluminación para calles. ANSI/IES (2014).

STREET CLASSIFICATION	PEDESTRIAN AREA CLASSIFICATION	AVG. LUMINANCE L_{avg} (cd/m ²)	AVG. UNIFORMITY RATIO L_{avg}/L_{min}	MAX. UNIFORMITY RATIO L_{max}/L_{min}	MAX. VEILING LUMINANCE RATIO L_{vmax}/L_{avg}
MAJOR	HIGH	1.2	3.0	5.0	0.3
	MEDIUM	0.9	3.0	5.0	0.3
	LOW	0.6	3.5	6.0	0.3
COLLECTOR	HIGH	0.8	3.0	5.0	0.4
	MEDIUM	0.6	3.5	6.0	0.4
	LOW	0.4	4.0	8.0	0.4
LOCAL	HIGH	0.6	6.0	10.0	0.4
	MEDIUM	0.5	6.0	10.0	0.4
	LOW	0.3	6.0	10.0	0.4

Los criterios utilizados para la luminancia y la iluminancia son en gran medida los mismos que los de CIE, con algunas excepciones. Para el nivel de iluminación, el criterio es L_{av} como en CIE. Para la uniformidad, se utilizan dos criterios: las proporciones L_{av} / L_{min} y L_{max} / L_{min} . La relación L_{av} / L_{min} tiene el mismo propósito que el valor U_o de CIE, siendo el recíproco de $U_o = L_{min} / L_{av}$. La relación L_{max} / L_{min} , a diferencia del valor de U_l , no se basa en una línea longitudinal a lo largo de la carretera, sino en toda el área de la carretera. Para la restricción del deslumbramiento, se usa la combinación de luminancia de velo, L_v y luminancia promedio de la superficie de la carretera, L_{av} ,

pero en una composición ligeramente diferente. RP-8-14 usa la relación L_v / L_{av} , que se denomina Relación de Luminancia de Velo, mientras que CIE usa TI, que es $65L_v/L_{av}^{0.8}$.

El nivel de iluminación más alto especificado es menor que los $2,0 \text{ cd} / \text{m}^2$ de las recomendaciones CIE y EN. El rango de la relación de uniformidad L_{av} / L_{min} se encuentra entre 3,0 y 6,0, correspondiente a los valores U_0 de 0,33 y 0,16 respectivamente. Dado que tanto CIE como EN recomiendan valores U_0 de 0,35 a 0,40, la norma estadounidense especifica valores de uniformidad claramente más bajos.

Para el deslumbramiento, el rango de la Relación de Luminancia de Velo de 0,3 a 0,4 corresponde a valores de TI de 30 a 50. Por lo tanto, el estándar estadounidense permite más deslumbramiento que CIE y EN.

1.5.4. UNE-EN 13201-4

La norma UNE-EN 13201-4 es la versión en español de la norma EN 13201-4:2015 “Iluminación de Carreteras Parte 4: Métodos de medida de las prestaciones fotométricas”. (UNE, 2016)

Esta norma europea especifica las condiciones de medición y los procedimientos para la medición de los parámetros de calidad fotométrica de las instalaciones de iluminación en carreteras. es decir las cantidades que cuantifican sus prestaciones de acuerdo con las clases de alumbrado de la Norma EN 13201-2.

Esta norma incluye:

- la definición de diferentes objetivos de medida con requisitos peculiares para optimizar las características del instrumento, coste de la medida y tiempo;
- una comparación más profunda entre los requisitos de medida estáticos y dinámicos;
- la adición de requisitos específicos para ILMD (Image Luminance Measuring Device, dispositivo de medición de luminancia de imagen) cuando se usa como medidor de luminancia;
- la evaluación de la incertidumbre de medida;
- la comparación de los requisitos de diseño esperado llevado a cabo considerando la medición extendida de la incertidumbre de la medida;
- la adición de directrices para la medida del incremento de umbral y de la relación de límite de iluminancia;
- la sugerencia de un algoritmo para la evaluación de tolerancias en el diseño de la instalación de iluminación de carreteras;
- la descripción del concepto de parámetros particulares con objeto de considerar mediciones llevadas a cabo en diferentes condiciones de las normalizadas;

- la descripción de unos convenios mejorados para los símbolos de parámetros de calidad fotométrica con objeto de evitar la confusión entre los valores del mismo parámetro pero con diferentes significados;
- se consideran los sistemas de medición para iluminación adaptativa en carreteras;
- se dan directrices para la evaluación de la incertidumbre de medida.

El propósito de la parte 4 de esta norma europea es:

- establecer convenios y procedimientos para la caracterización basada en mediciones de las instalaciones de iluminación de carreteras considerando los parámetros de calidad fotométrica, es decir el conjunto de cantidades que caracterizan una clase de alumbrado, especificada en la parte 2;
- dar consejos sobre el uso y la selección de medidores de luminancia y medidores de iluminancia para esta aplicación particular;
- especificar requisitos de medición de acuerdo con los objetivos de la medición y la precisión esperada;
- establecer convenios para evaluar la incertidumbre de la medición de los parámetros implicados;
- dar información sobre la aplicación de análisis de tolerancia en el diseño de la instalación de iluminación.

Se indica una lista no exhaustiva de posibles objetivos de la medición:

- la verificación de cumplimiento con los requisitos de la norma;
- la verificación de cumplimiento con las expectativas del diseño;
- la supervisión de la instalación de iluminación de carretera, por ejemplo por motivos de mantenimiento;
- el control de la instalación de iluminación de carretera, por ejemplo para optimización del ahorro de energía;
- la investigación de discrepancias entre condiciones reales de iluminación y expectativas de diseño.

Los convenios para la posición del observador y la situación de los puntos de medición son aquellos adoptados en la norma EN 13201-3 (CEN, 2015b) las cuales, a su vez están basadas en las recomendaciones de la CIE (CIE, 2010). Sin embargo, se permite la relajación de éstos especialmente cuando las mediciones se usan para supervisar la prestación de una instalación de iluminación de carretera, para controlar sus prestaciones u otro propósito, o cuando se especifican diferentes condiciones en el diseño de la instalación de iluminación de carretera.

Los criterios para decidir cuando deberían hacerse las mediciones, sobre el propósito de las mediciones y sobre cómo se deben usar los resultados de las mediciones quedan fuera del objeto de la norma. Se indica que los procedimientos de medición adoptados deben ser adecuados al propósito de las mediciones.

1.5.5. Base de licitación tipo España

En este documento se define un indicador del funcionamiento de la iluminación. Indica que se deben tomar mediciones de luminancia con equipos de alto rendimiento, sin especificar qué tipo de equipos, complementándose con inspecciones visuales rutinarias relativas al funcionamiento de los puntos de luz y el resto de los elementos de los elementos (soportes, centros de mando y en general todos los componentes de las instalaciones).

Se indican los valores y tiempos máximos para incurrir en penalidad en la tabla 1.12. En base a estos valores se determinan correcciones a la tarifa base del año.

Tabla 1.12: Penalidades base de licitación tipo España, para el indicador Funcionamiento de la Iluminación. Ministerio de fomento (2008).

VALORES Y TIEMPOS MÁXIMOS PARA PENALIDAD			
Umbral de valores puntuales	Tiempo de respuesta para corrección	Umbral de valores medios en cada km	Tiempo de respuesta para corrección
Inspecciones Anuales	Limpieza y/o cambio de luminarias en 1 mes	luminancia < 75% de la proyectada	Limpieza de paredes y/o cambio o limpieza de luminarias
Luminancia < 50% media del tramo			1 mes
Inspecciones semanales			
Lámparas con más de 3 años: Ninguna	48 horas	-----	-----
Luminarias con más de 10 años: Ninguna	48 horas	-----	-----
Avería que afecte a 3 o más puntos de luz consecutivos: Ninguna	48 horas	-----	-----
No más del 5% de puntos de luz averiados	48 horas	-----	-----
	Tiempo máximo de reposición de báculo dañado: 5 días	-----	-----

1.6. Propuesta de evaluación para el usuario que transita por la vía

El modelo de servicio al usuario que transita por la vía está enfocado a los usuarios de vehículos motorizados, que circulan por la carretera a gran velocidad, en general, considerando separación de usuarios. Por lo tanto, está enfocado en criterios de luminancia.

1.6.1. Parámetros a evaluar

Se propone evaluar por niveles de servicio las características y parámetros que afectan al usuario que transita por la vía mostradas en la tabla 1.13.

Tabla 1.13: Parámetros técnicos a evaluar.

Característica	Parámetro Técnico a evaluar	Valor en Juego
Nivel de Luminancia	Luminancia Media L_{av}	Seguridad
Uniformidad Global	Uniformidad Global U_0	Seguridad
Uniformidad Longitudinal	Uniformidad Longitudinal U_l	Comodidad

Si bien el incremento de umbral (TI) tiene un efecto importante sobre la visibilidad del usuario, su evaluación es compleja y no hay una metodología estándar para realizar su medición, por lo que se abordará a nivel de diseño y no se controlará por niveles de servicio durante la operación de la carretera. No obstante, el uso de ILMD con HDR presenta la posibilidad de estimarlo, por lo que se sugiere medirlo y reportarlo con fines informativos. Con esto, en el mejor de los casos, se podrán definir estándares de medición y evaluación en el futuro.

1.6.2. Zona a evaluar parámetros luminotécnicos

La medición se realizará de forma continua en todos los tramos, con una medición de la retícula normativa utilizada para el cálculo fotométrico. A fin de tener una imagen global del desempeño del sistema de iluminación, se medirán todas las retículas de todas las zonas consideradas en la memoria de cálculo fotométrica. Lo anterior permitirá identificar aquellos tramos donde se presenten valores inadecuados de los parámetros de iluminación evaluados. En la figura 1.17 se muestran las diversas configuraciones de retículas de acuerdo a la geometría de la instalación.

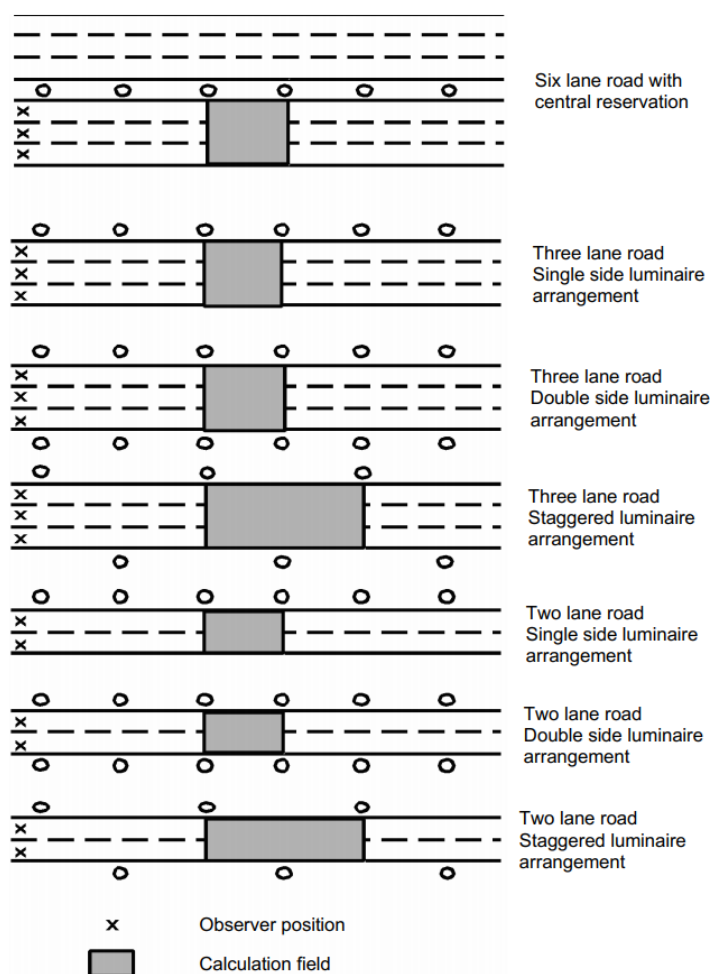


Figura 1.17: Área de medición y posiciones del observador para distintas configuraciones de la instalación (en inglés).

Fuente: CIE (2000)

1.6.3. Escalas de valores de los parámetros

En base a la revisión de las principales recomendaciones y estándares internacionales, se adoptarán como referencia los valores establecidos en la tabla 6.702.3A del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras, que están ampliamente basados en las recomendaciones de la CIE y, en algunos casos, exceden sus requerimientos.

1.6.3.1. Luminancia Media y Uniformidad Global

Debido a que se permite una disminución en el nivel de iluminación si se aumenta la uniformidad, hasta un límite de un 20 % en las zonas destinadas al tránsito motorizado, los parámetros de Lumi-

nancia Media L_{av} y Uniformidad Global U_o se evaluarán de forma conjunta para considerar el efecto de ambos parámetros sobre el rendimiento visual.

Se propone la escala de evaluación conjunta en la tabla 1.14, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El uso de nuevas tecnologías permiten aumentar en gran medida los niveles de uniformidad.
- El Manual de Carreteras permite que los valores de Luminancia Media excedan hasta en un 50 % los valores recomendados. Considerando que actualmente se puede considerar factores de mantenimiento de 0.9, se rebajará este límite hasta un 20 %, teniendo en cuenta criterios de eficiencia energética, junto con las disposiciones del Decreto Supremo N° 43 del Ministerio del Medio Ambiente sobre contaminación lumínica en la zona astronómica (Ministerio del Medio Ambiente, 2013).
- Los valores U_o y L_{av} de referencia serán los dados en la tabla 6.702.3.A para a la clase de iluminación que corresponda a la vía según sus características, de acuerdo con el proyecto de iluminación.
- Niveles que estén dentro de los límites permitidos de nivel de luminancia, serán calificados como "Justo", "Bueno" "Muy Bueno" si los niveles de uniformidad global se encuentran por sobre los mínimos.
- Niveles por debajo de los mínimos calificarán como "Malo" y "Muy Malo", salvo para el nivel de Luminancia media en los casos en que se cumpla con las condiciones de Uniformidad Global que permitan su reducción.
- La sobre iluminación con valores que excedan en más de un 20 % los valores recomendados calificarán como "Muy Malo".

Tabla 1.14: Escala de evaluación conjunta para L_{av} y U_o .

Rango del Indicador Luminancia Media [cd/m ²]	L_{av}/U_o	Rango del Indicador Uniformidad Global [-]				
		$\geq U_o^*+0.2$	$]U_o^*+0.2, U_o^*+0.1]$	$]U_o^*+0.1, U_o^*]$	$]U_o^*, U_o^*-0.1]$	$< U_o^*-0.1$
	$< 0.8L_{av}^*$	MUY MALO				
	$[0.8L_{av}^*, 0.9L_{av}^*]$	JUSTO	MALO	MUY MALO	MUY MALO	MUY MALO
	$[0.9L_{av}^*, L_{av}^*]$	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO	MUY MALO
	$[L_{av}^*, 1.2L_{av}^*]$	MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
	$> 1.2 L_{av}^*$	MUY MALO				

*Corresponden a L_{av} y U_o especificados para la clase correspondiente en la tabla 6.702.3.A del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras.

1.6.3.2. Uniformidad Longitudinal

Considerando que U_l en la tabla 1.15 es el valor mínimo dado en la tabla 6.702.3.A, se propone la siguiente escala de evaluación:

Tabla 1.15: Escala de evaluación para U_l .

NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
Rango Uniformidad Longitudinal [-]				
$\geq U_l^*+0.1$	$]U_l^*+0.1, U_l^*+0.05]$	$]U_l^*+0.05, U_l^*]$	$]U_l^*, U_l^*-0.1]$	$< U_l^*-0.1$

*Corresponde a U_l especificada para la clase correspondiente en la tabla 6.702.3.A del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras.

1.6.4. Procedimiento de medición

1.6.4.1. Condiciones de medición

- Las luminarias requieren un periodo de tiempo para que sus flujos luminosos se estabilicen y se deben hacer todas las mediciones después de este periodo de estabilización. Se da una guía sobre el periodo de estabilización para diferentes tipologías de lámpara en la Norma EN 13032-1. El reporte de la IES (Photometric Measurement of Roadway and Street Lighting Installations), propone que, en ausencia de información, se utilice un tiempo de dos horas para luminarias iluminación de estado sólido (LED) y al menos una hora para lámparas de descarga (IES, 2013).
- La medición debe realizarse con el sistema en régimen normal de funcionamiento.
- Las condiciones climáticas deberían ser tales que no afecten significativamente a las medidas. Si las condiciones climáticas en el momento de la medición no representan las condiciones requeridas para el objetivo de la medición, la persona responsable de la medición debería decidir si posponer las mediciones. Altas o bajas temperaturas o altas velocidades de viento pueden afectar el flujo luminoso de lámparas o luminarias térmicamente sensibles. Altas velocidades de viento pueden hacer que las luminarias oscilen.
- Las mediciones de luminancia se deben realizar sólo cuando la superficie del pavimento esté seca.
- Si las condiciones climáticas en el momento de la medición no representan las condiciones evaluadas en la fase de diseño de la instalación de iluminación de carretera, la persona responsable de la medición debería decidir si posponer las mediciones.
- Cualquier sombra o interferencia procedente de sistemas de medición u operadores se debe reducir al mínimo posible.

1.6.4.2. Selección de la retícula de medición

La posición nominal de los puntos de la retícula en la cual se toman las mediciones, así como las posiciones nominales del observador deben ser las indicadas en el Anexo 6.700A del Manual de Carreteras, basado en CIE140-2000: "Road Lighting Calculations".

Algunos puntos de la retícula pueden estar situados en la sombra de un objeto (árbol) o en una mancha de aceite, etc. en tales casos, se recomienda no considerar estos puntos en la determinación de la luminancia media y de los valores de uniformidad, y registrar estos puntos en el informe de medición.

1.6.4.3. Equipo de medición

La medición se realizará con un ILMD (Imaging Luminance Meter Device, dispositivo de medición de luminancia de imagen). Actualmente se encuentra pendiente de publicación el reporte CIE TC 2-59 “Characterization of imaging luminance measurement devices”. En ausencia de una guía para la caracterización de estos dispositivos, se considerarán los siguientes parámetros de acuerdo a dispositivos existentes en el mercado:

- Ajuste espectral a la función $V(\lambda)$ clase A o B según DIN-5032.
- Rango de medición de Luminancia: 0.001 – 20.000 kcd/m²
- Precisión: + 5 %
- Repetibilidad: +1 %
- Debe poseer sistema de control de temperatura.
- Ser capaz de realizar mediciones de acuerdo a las convenciones de la CIE.

La luminancia para cada punto de la retícula se determinará promediando las lecturas de píxeles adyacentes, de forma que las condiciones del ángulo subtendido de las superficies cumplan con los siguientes requisitos:

- El ángulo subtendido de la superficie de la carretera medida no debe ser mayor de 2 min de arco en el plano vertical y no mayor de 20 min de arco en el plano horizontal.
- El ángulo subtendido mínimo no debe ser menor de 1 min de arco.

1.6.4.4. Validación del equipo de medición

El equipo de medición debe ser validado por una entidad competente, con mediciones en terreno y se deben contrastar los resultados obtenidos con los resultados que se obtienen con una medición punto por punto con un luminancímetro convencional. Las mediciones deben realizarse en el mismo momento, de forma que las condiciones ambientales para ambas sean las mismas. En caso de encontrarse discrepancias significativas, se evaluará utilizar el ILDM como sistema de medición de referencial, en este caso, en base a los resultados reportados, el inspector fiscal podrá solicitar que se realicen mediciones con un método estándar para constatar el cumplimiento o incumplimiento de las exigencias, en las zonas que estime conveniente.

1.6.4.5. Consideraciones para medir el incremento de umbral con un ILMD

Se considera que contribuyen al deslumbramiento incapacitivo las luminarias que se encuentren a menos de 500 metros de distancia del observador, como se indica en la figura 1.18. La iluminancia producida por la luminaria k -ésima se puede obtener considerando la luminancia medida de la luminaria y el ángulo $\Theta_{k,m}$. El ángulo $\Theta_{k,m}$ puede obtenerse de un análisis perspectivo de la imagen adquirida si el dispositivo lo permite, o por referencia al proceso de cálculo de CIE 140. Sólo se deben reportar los resultados para las posiciones del observador consideradas en 1.6.4.2.

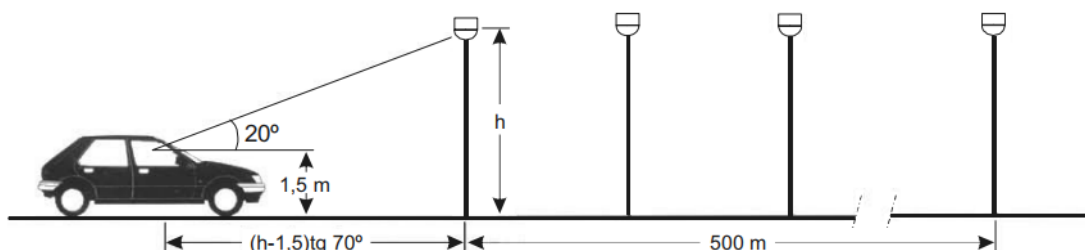


Figura 1.18: Luminancia que se tiene en cuenta para el cálculo del deslumbramiento perturbador.

Fuente: Ministerio de Industria Turismo y Comercio (2008)

1.6.4.6. Informe de medición

El informe de medición debe incluir al menos:

- Los detalles de los instrumentos usados, sus números para una identificación sin ambigüedades y sus condiciones de calibración (fecha, validez y trazabilidad metrológica).
- Los detalles sobre el clima, y las condiciones medioambientales y del suministro de energía eléctrica.
- La razón, justificación y consecuencias de la selección de zonas de la instalación medidas, si esta no es medida en su longitud total.
- La acción tomada para prevenir o tener en cuenta la luz directa o reflejada que proviene de los alrededores.
- Documento que presente un resumen comparativo de los parámetros medidos, de los respectivos valores entregados por los cálculos del proyecto y los valores exigidos para la clase correspondiente.

1.6.5. Propuesta de evaluación global de indicadores del sistema de iluminación

En las carreteras interurbanas, en general, se provee iluminación en zonas específicas, correspondientes, principalmente a enlaces e intersecciones. Para calcular la nota global de cada indicador, se propone evaluar cada zona iluminada a partir de los niveles de desempeño de los tramos o retículas que la componen, luego, a partir de la evaluación de cada zona, se calcula una nota global.

1.6.5.1. Evaluación de la Zona Iluminada

Para obtener la calificación de una zona iluminada a partir de las retículas que la componen, se propone la Tabla 1.16.

Tabla 1.16: Calificación parámetros por zonas.

		Porcentaje del total de tramos* dentro de cada rango				
		Muy Bueno	Bueno	Justo	Malo	Muy malo
Calificación del indicador	Muy Bueno	≥ 50	< 50	= 0	= 0	= 0
	Bueno	≥ 50		< 50	= 0	= 0
	Justo	100%			= 0	= 0
	Malo	-			< 10	= 0
	Muy malo	-			≥ 10	< 5
		-				≥ 5

1.6.5.2. Evaluación global

Debido a la importancia del correcto funcionamiento del sistema de iluminación en la prevención de accidentes, no se deberían aceptar zonas en que éste reporte un mal desempeño. Por lo tanto, se calificará globalmente cada uno de los indicadores como la peor nota obtenida dentro de las zonas iluminadas que haya en la concesión.

1.6.5.3. Periodicidad de la medición y evaluación

La medición de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 1.6.4 se realizará de forma anual. No obstante, la evaluación del modelo de nivel de servicio para el usuario que transita por la vía se realiza de manera mensual, por lo que el nivel de desempeño obtenido en la medición, se mantiene durante todos los meses hasta la siguiente medición, pero se define una señal de control que pueda evaluarse de todos los meses, la cual permita considerar un funcionamiento óptimo del sistema en el período entre mediciones. Esta señal de control puede modificar el resultado mensual del indicador.

La señal de control se define como el número de luminarias-día apagadas o visiblemente defectuosas, que se contabilicen durante un mes. Se contabilizarán como luminaria-día defectuosas, si una vez que se reporta una falla, ésta no se repone dentro de un plazo de 24 horas.

De acuerdo al resultado de esta señal de control, se afectará a cada uno de los indicadores de la siguiente manera:

- **0 luminaria-día:** Los indicadores mantienen el nivel de desempeño, de acuerdo al resultado del procedimiento y conformidades indicados anteriormente.
- **1 luminaria-día:** Reduce en un nivel el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
- **2 luminaria-día:** Reduce en dos niveles el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
- **3 luminaria-día:** Reduce en tres niveles el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
- **4 o más luminaria-día:** Los indicadores adoptan la condición de "Muy malo".

Así, por ejemplo, si de acuerdo al procedimiento indicado en la sección 1.6.4, se determina que una zona iluminada tiene un nivel de desempeño "Bueno" para cualquiera de los indicadores, éste adoptará un nivel "Justo" durante un mes determinado, si dicho mes la señal de control tiene un valor de 1 luminaria-día defectuosa, y un nivel "Malo" en caso de que tenga un valor de 2 luminaria-día.

1.7. Propuesta de evaluación para la comunidad aledaña

Dado que las necesidades de los peatones son distintas a las de los conductores que circulan a gran velocidad, las zonas con presencia de este tipo de usuarios se diseñan, y deben operar bajo criterios de iluminancia. A diferencia de la luminancia, la iluminancia no depende de las propiedades de reflexión de las superficies, por lo que se puede evaluar el desempeño del sistema de iluminación, en términos del servicio que presta a la comunidad aledaña, realizando mediciones puntuales de iluminancia y verificando constantemente el estado de la instalación.

La propuesta considera que el tipo de luminarias que se utilizan hoy en día, presentan pérdidas muy bajas de un año a otro, y que para velar por el mantenimiento de los niveles de iluminancia, el factor relevante a tener en cuenta es el estado de la luminaria.

1.7.1. Exigencias de funcionalidad

Se debe verificar que todos los puntos de luz estén funcionando y no estén visiblemente dañados. Esto se verificará mediante inspección visual.

Adicionalmente, a discreción del Inspector Fiscal, se podrán realizar mediciones de iluminancias horizontales con un luxómetro, en lugares específicos donde se esperen a priori, de acuerdo al proyecto de iluminación, valores máximos o mínimos. Se debe proporcionar, al menos, los niveles de iluminación exigidos en la sección 6.705.2 del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras para la clase de alumbrado que corresponda, pero sin excederlos en más de un 20 %. El Inspector Fiscal deberá determinar, a su juicio, la pertinencia y lugares donde se deban realizar dichas mediciones. Para la realización de las mediciones de iluminancia con luxómetro deben tenerse en cuenta las mismas consideraciones descritas en la sección 1.6.4.1, a excepción de las relacionadas con la superficie del pavimento.

1.7.2. Periodicidad de la medición

La funcionalidad del sistema de iluminación se evaluará de forma mensual, no obstante, el Inspector Fiscal podrá realizar inspecciones adicionales no programadas en los casos que estime conveniente, o ante el aviso de usuarios, en cualquier caso, el plazo de reposición es el indicado en la sección 1.7.3.

1.7.3. Plazo de reposición

En caso de un hecho fortuito, accidente u otro evento (actos vandálicos, hurtos) que dañara algún punto de luz, el concesionario dispondrá de 1 día para la reposición del servicio.

1.7.4. Definición del indicador

Se define el indicador de número de incumplimientos mensuales de funcionalidad del sistema de iluminación para el transeúnte:

$$ILT = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (1.7.6)$$

donde:

- ILT : Número de incumplimientos mensuales de las exigencias de funcionalidad del sistema de iluminación en zonas con transeúntes.
- $I_{i,j}$: Corresponde al valor de los incumplimientos de funcionalidad, para la luminaria “j”, en el día “i”.
- i : Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.
- j : Es el sub índice que representa el contador de luminarias, en zonas diseñadas con criterios de visibilidad para zonas peatonales.
- d : Número total de días del mes.
- n : Número total de luminarias que prestan servicio en zonas con presencia de transeúntes.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de funcionalidad, para todas las luminarias, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de restauración, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador ILT es luminaria-día.

1.7.5. Escala de evaluación de valores del indicador

Se determina la siguiente escala para evaluar la integridad de los elementos del sistema de iluminación:

Tabla 1.17: Escala de Evaluación ILT.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [luminaria-día]				
0	1	2	3	≥ 4

1.8. Propuesta de evaluación para conservación del patrimonio

1.8.1. Integridad de los elementos del sistema de iluminación

1.8.1.1. Exigencias de integridad

Todos los elementos que forman parte del sistema de iluminación, tales como postaciones, luminarias, circuitos eléctricos, tableros de distribución y conexión de alumbrado, entre otros, deben cumplir con las siguientes exigencias de integridad:

- Deben estar presentes en su ubicación original, según el Proyecto de Ingeniería de Detalle de Iluminación.
- Los elementos deben estar alineados, limpios, funcionales y con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados. Estos elementos no deben presentar soldaduras, óxido, grietas, deformaciones ni pérdidas de material.
- Los postes no deberán sostener publicidad.

La integridad de los elementos constitutivos del sistema de iluminación se constatará mediante inspección visual.

1.8.1.2. Periodicidad de la medición

Las exigencias de integridad se evaluarán de manera mensual, no obstante, el Inspector Fiscal podrá realizar inspecciones adicionales no programadas en los casos que estime conveniente, o ante el aviso de usuarios, en cualquier caso, el plazo de reposición es el indicado en la sección 1.8.1.3.

1.8.1.3. Plazo de reposición

En caso de un hecho fortuito, accidente u otro evento (actos vandálicos, hurtos) que dañara algún elemento del sistema de iluminación, el concesionario dispondrá de 1 día para la reposición en caso de las luminarias y 3 días en otro caso de falla.

1.8.1.4. Definición del indicador

Se define el indicador de número de incumplimientos mensuales de integridad del sistema de iluminación:

$$IPO = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (1.8.7)$$

donde:

- IPO : Número de incumplimientos mensuales de las exigencias de integridad del sistema de iluminación.
- $I_{i,j}$: Corresponde al valor de los incumplimientos de integridad, para el hectómetro “j”, en el día “i”.
- i : Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.
- j : Es el sub índice que representa el contador de los hectómetros fijos con iluminación.
- d : Número total de días del mes.
- n : Número total de hectómetros fijos con iluminación.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de integridad, para todos los elementos, dentro de un hectómetro fijo, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de restauración, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador IPO es hectómetro fijo-día.

1.8.1.5. Escala de evaluación de los valores del indicador

Se determina la siguiente escala para evaluar la integridad de los elementos del sistema de iluminación:

Tabla 1.18: Escala de Evaluación IPO.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [hmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

SISTEMA DE CITOFONÍA DE EMERGENCIA

2.1. Introducción

Un teléfono SOS es un dispositivo de comunicación para usuarios que requieran asistencia en caso de avería, choque u otro incidente. Una llamada se conecta automáticamente con un centro de control cuando se inicia una llamada desde el dispositivo. De acuerdo con un documento publicado por Austroads (2015), el objetivo de la instalación de los teléfonos es reducir el tiempo necesario para informar incidentes, lo que a su vez debería dar lugar a medidas correctivas anteriores. Los principales beneficios son que provocan una reducción de:

- Retraso en la obtención de la asistencia médica necesaria para tratar a las personas lesionadas en choques u ocupantes de vehículos que están gravemente enfermos por otras razones, lo que debería aumentar su probabilidad de supervivencia.
- Riesgo de nuevos incidentes al organizar la pronta eliminación de los vehículos y escombros deshabilitados de la carretera.
- Probabilidad de un choque como resultado de la presencia de peatones en la carretera en busca de ayuda.
- Duración de la interrupción del flujo de tráfico y posible retraso para los automovilistas.

El poste SOS proporciona a los conductores un enlace directo con el operador del Centro de Control, permitiendo asistir al usuario en emergencias de cualquier tipo.

Si bien se reconoce el sistema de citofonía de emergencia como un activo importante debido a su influencia en la seguridad, en países como España (Pyramid Consulting, 2015) (RTPA, 2013) y Estados Unidos (SFGATE, 2011) se están retirando de circulación, debido a un drástico descenso en su uso, conservándolos sólo en túneles o zonas sin cobertura de telefonía móvil y, con esto, conseguir grandes ahorros en costos de mantenimiento.

La llegada del teléfono móvil ha hecho que pierdan parte de su función. Los postes SOS, tienen sus desventajas, como que obligan al usuario a desplazarse por la vía para llegar hasta ellos, cosa que no ocurre con el teléfono móvil.

No obstante lo anterior, aún cuando se ha masificado el uso de los celulares, en Chile siguen habiendo muchos tramos en los principales caminos que cuentan sin señal de celular, entre estos, sectores de la ruta 5 y la Carretera Austral (El Mercurio, 2019).

Por lo anterior, aun cuando su uso se encuentra en descenso, es necesaria una metodología para evaluar y garantizar el servicio que prestan, debido a que en zonas sin cobertura telefónica constituyen el único medio de comunicación en caso de emergencia.

2.2. Evaluación del sistema de citofonía de emergencia en bases de licitación en Chile

En Chile, en las últimas bases de licitación, se evalúa el sistema de citofonía de emergencia por niveles de servicio.

La importancia relativa del sistema de citofonía de emergencia dentro de todos los activos evaluados por nivel de servicio es la siguiente:

- Nogales-Puchuncaví: 1,92 %
- Farellones: 1,20 %
- AVO II: 0,96 %

A su vez, el nivel de cumplimiento del estándar se define como:

- Nogales-Puchuncaví: 99,95 %
- Farellones: 99,3 %
- AVO II: 99,97 %

2.3. Propuesta de evaluación del sistema de citofonía de emergencia

Se evaluará que se cumplan las exigencias de integridad y funcionalidad del sistema de citofonía de emergencia, descritas en las secciones 2.3.1 y 2.3.2, para cada teléfono SOS presente en el Proyecto de Ingeniería de Detalle. Adicionalmente, el centro de control deberá registrar la siguiente información:

- Lugar desde donde se realiza la llamada
- Hora, día y duración de la llamada
- Causa que origina la llamada
- Grabación de la comunicación

2.3.1. Integridad

Todos los elementos que forman parte del sistema de citofonía de emergencia deberán estar presentes, de acuerdo a lo registrado en el Proyecto de Ingeniería de Detalle. Los elementos deben estar íntegros con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados. Estos elementos no deben presentar saltaduras, óxido, rayados ni incisiones, deformaciones ni pérdidas de material. Todos los elementos deben estar limpios.

La integridad del sistema de citofonía de emergencia será constatada mediante inspección visual.

2.3.2. Funcionalidad

El sistema de citofonía de emergencia debe operar de acuerdo a los protocolos y alarmas definidos en el Proyecto de Ingeniería de Detalle. El sistema debe instruir al usuario los pasos a seguir en forma automática hasta que responde un operador. También debe dar alarmas para las situaciones que fue diseñado, sin ser un listado taxativo, las alarmas corresponden a pulsador de llamada, indicador de alimentación, indicador de comunicación, entre otras.

La funcionalidad del sistema de citofonía de emergencia será constatada por los registros automáticos efectuados en la Bitácora que está definida como parte del SIC-NS. Para este caso, se utilizará el registro de todos los eventos, acciones y alarmas registradas en la base de datos del Centro de Control. Adicionalmente, se evaluará la funcionalidad de acuerdo a los procedimientos descritos en las secciones 2.3.2.1 y 2.3.2.1, basadas en la Metodología de Inspección de Túneles del Ministerio de Fomento de España.(Ministerio de Fomento, 2008)

2.3.2.1. Control de conexión

Llamar desde cada poste SOS:

- Comprobar que la llamada llega al centro de control y se escucha con claridad, incluso en condiciones de ruido ambiental elevado, identificando el poste SOS que ha realizado la llamada.
- Comprobar que en el poste SOS se escucha el mensaje correspondiente informando al usuario que ha realizado una llamada, incluso en condiciones de ruido ambiental elevado.

Realizar conexión con el poste SOS desde el que se ha llamado:

- Comprobar que desde el centro de control se identifica el poste SOS conectado.

Poner el poste SOS en espera:

- Comprobar que se presenta el estado de espera.
- Comprobar que se oye un mensaje o música de puesta en espera.

Recuperar la llamada en espera y comprobar que se vuelve a tener conexión:

- Comprobar que se presenta el estado de conexión.
- Comprobar que se oye un mensaje o música de puesta en espera.

Cerrar la llamada actual:

- Comprobar que se presenta el estado de desconexión.

2.3.2.2. Control de audición

Audibilidad Centro de Control:

- Para cada poste SOS comprobar que desde el centro de control se oye con claridad al usuario, incluso con ruido ambiental elevado.

Audibilidad SOS:

- Para cada poste SOS comprobar que el usuario oye con claridad al operador, incluso con ruido ambiental elevado

2.3.3. Periodicidad de la medición

La medición debe realizarse mensualmente. No obstante, el Inspector Fiscal puede solicitar información de los registros de llamadas, con la periodicidad o en el momento que estime conveniente, además de realizar inspecciones no programadas en caso de reclamos y/o notificaciones de los usuarios.

2.3.4. Plazo de restauración

Para exigencias de integridad, existirá un plazo de restauración de 5 días, siempre que no se vea comprometida la comunicación.

Para exigencias de funcionalidad, en las que se vea comprometida la comunicación no existe plazo de restauración.

2.3.5. Definición del indicador

Se define el indicador de número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad del sistema de citofonía de emergencia:

$$SOS = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (2.3.1)$$

Donde:

SOS : Número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad del sistema de citofonía de emergencia (SOS).

$I_{i,j}$: Corresponde al valor de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, para el teléfono “j”, en el día “i”.

i : Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.

j : Es el sub índice que representa el contador de los teléfonos SOS.

d : Número total de días del mes.

n : Número total de teléfonos SOS.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de integridad y funcionalidad, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de restauración, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador SOS es citófono-día.

2.3.6. Escala de valores del indicador

Se determina la escala indicada en la tabla 2.1 para evaluar el desempeño del sistema de citofonía de emergencia.

Tabla 2.1: Escala de evaluación SOS.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [Citófono-día]				
0	1	2	3	≥ 4

CERCOS Y PORTONES

3.1. Introducción

El cruce sorpresivo de ganado en las vías constituye un importante factor de riesgo de accidentes de tránsito. El buen estado de los cercos es necesario para garantizar condiciones de seguridad, evitando el ingreso de animales en la vía, sobre todo en carreteras interurbanas donde las altas velocidades de circulación hacen muy difícil a los conductores controlar tales emergencias. Si estas se producen de noche, el riesgo es aún mayor.

De acuerdo con las estadísticas que maneja la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (Conaset), durante el año 2017 se produjeron 825 siniestros provocados por el cruce de un animal, con resultado de 8 muertes y un total de 442 personas lesionadas (Conaset, 2018). Asimismo, es necesario que las vallas peatonales se encuentren en buen estado para impedir y desincentivar el ingreso de peatones a la calzada.

Lo anterior deja de manifiesto que no sólo es importante construir los cierros, si no también mantenerlos en buen estado durante la operación.

En la evaluación de este activo se considerará la condición de los siguientes elementos:

- Cierros perimetrales o deslindes
- Cierros de protección
 - Valla peatonal
 - Valla peatonal en la mediana
 - Cercos de malla metálica
- Accesos privados

3.2. Propuesta de Evaluación de Cercos y Portones

3.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad

- Los cercos y cierros deberán estar presentes, sin roturas, sin elementos faltantes, con los postes verticales, sin inclinación. En caso de un hecho fortuito, accidente, otro evento (actos vandálicos, hurtos, etc.) rotura o daño de algún cerco, la Sociedad Concesionaria deberá efectuar su reparación, a su entero cargo, costo y responsabilidad.
- Los elementos de segregación destinados a separar modos de transporte o canalizar vehículos, como por ejemplo, las vallas peatonales que separan vehículos motorizados de peatones, cierros que delimitan el eje troncal de calzadas laterales, se encuentran presentes, de acuerdo a lo registrado en el Proyecto de Ingeniería de Detalle, y sin daños.

La integridad y funcionalidad se constatará mediante inspección visual.

La mantención de los accesos privados y su costo, será responsabilidad de los particulares. Sin embargo, en caso que por el incumplimiento de esta obligación, dichos accesos representen un peligro para el tráfico de la ruta, la Sociedad Concesionaria deberá informar por escrito al Inspector Fiscal, quien a su vez, comunicará la situación a la Dirección de Vialidad respectiva para que ésta proceda conforme a sus facultades.

3.2.2. Periodicidad de la medición

Las exigencias de integridad y funcionalidad se evaluarán de manera mensual, no obstante, el Inspector Fiscal podrá realizar inspecciones adicionales no programadas, en el momento que estime conveniente, o ante reclamos y/o notificaciones por parte de los usuarios.

3.2.3. Plazo de reposición

En caso de detectarse cualquiera de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, el concesionario dispondrá de tres días para subsanar el(los) incumplimiento(s), no obstante, en caso de que dicho(s) incumplimiento(s) represente(n) un peligro para los usuarios, se debe actuar con una medida de contingencia dentro de 24 horas de ser notificado. Si dicha medida no se aplica dentro del plazo, se considerará que las exigencias se encuentran en incumplimiento.

3.2.4. Definición del indicador

Se define el indicador del número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad de cercos y portones:

$$CP = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (3.2.1)$$

Donde:

CP	: Número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad de cercos y portones.
$I_{i,j}$	: Corresponde al valor de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, en el kilómetro fijo “j”, en el día “i”.
i	: Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.
j	: Es el sub índice que representa el contador de los kilómetros fijos.
d	: Número total de días del mes.
n	: Número total de kilómetros fijos con cercos y cierros.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de integridad y funcionalidad dentro de un kilómetro fijo, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de reposición, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador CP es kilómetro fijo-día.

3.2.5. Escalas de evaluación del indicador

Se determina la escala indicada en la tabla 3.1 para evaluar el indicador de integridad y funcionalidad de cercos y portones.

Tabla 3.1: Escala de evaluación CP.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [kmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

Capítulo 4

ÁREAS BAJO PASOS INFERIORES

4.1. Introducción

En este activo se evaluarán las áreas bajo pasos inferiores desde el punto de vista de la comunidad aledaña y los peatones que deban circular por pasos bajo nivel. Por ende, sólo se considerarán aspectos de integridad y funcionalidad pensando en este tipo de usuarios.

Existen distintas metodologías de inspección de obras de paso, las cuales evalúan la infraestructura en su totalidad, considerando aspectos de diseño como alineamiento, superficie de la calzada, elementos de seguridad, protección de taludes, estabilidad de la base, drenaje e iluminación. Una de estas metodologías es la Bridge Inspection & Maintenance System, de Alberta Transportation, el cual consiste en un sistema de gestión de puentes, cuyo objetivo es proporcionar datos para priorizar la investigación, inspección, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de puentes. Establece una calificación numérica de 1 a 9, dependiendo del estado y la funcionalidad que presenten sus elementos.

La Guía de Inspecciones Básicas de Obras de Paso (Ministerio de Fomento, 2009) establece una metodología para hacer una inspección de obras de paso, con el fin de detectar deterioros de manera temprana y gestionar acciones para su mantención.

De las metodologías anteriormente mencionadas, se considerarán los aspectos básicos que influyen en los peatones que transiten por este tipo de obras.

En Chile, desde hace algunos años hay una tendencia a aumentar la iluminación en este tipo de vías de comunicación, pues si están mal iluminados, constituyen zonas de riesgo para los peatones. Existe temor de crimen y de acción antisocial, sobre todo en zonas mal iluminadas o que no estén

iluminadas en absoluto. (Dirección de Vialidad, 2017)

Los aspectos a considerar serán limpieza, drenaje e iluminación.

4.2. Propuesta de Evaluación de Áreas bajo Pasos Inferiores

4.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad para áreas bajo pasos inferiores

4.2.1.1. Limpieza

El área debe encontrarse limpia, sin presencia de vegetación ni acumulación de materiales, escombros y elementos ajenos.

La limpieza se constatará mediante inspección visual.

4.2.1.2. Drenaje

Todos los elementos que constituyen el sistema de drenaje deben encontrarse funcionales, operativos, limpios y sin daños. No deben encontrarse evidencias de encharcamiento de agua.

La integridad y funcionalidad del sistema de drenaje se constatará mediante inspección visual.

4.2.1.3. Iluminación

Las áreas bajo pasos inferiores deben estar iluminadas, si corresponde, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la sección 6.705.3 del Manual de Carreteras.

Todos los elementos constitutivos de la instalación de iluminación deben estar presentes, encontrarse íntegros, sin elementos rotos, sueltos, oxidados. No debe haber puntos de luz visiblemente dañados o apagados.

El sistema de iluminación debe proporcionar al menos, los niveles mínimos establecidos en la sección 6.705.3 del Manual de Carreteras.

La integridad se evaluará mediante inspección visual. La funcionalidad se evaluará midiendo con un luxómetro en los lugares donde, de acuerdo al proyecto de iluminación, se esperen los valores mínimos, y verificar que estos sean superiores a los mínimos recomendados por el Manual de Carreteras.

4.2.2. Periodicidad de la medición

La inspección se realizará mensualmente, no obstante, el Inspector Fiscal podrá realizar inspecciones adicionales no programadas, en los casos que estime conveniente, ante situaciones anómalas y/o ante notificaciones de usuarios o parte de la comunidad.

4.2.3. Plazo de reposición

Para las exigencias de limpieza el plazo de reposición es de un día.

Para las exigencias de drenaje no existe plazo de reposición.

Para las exigencias de iluminación el plazo de reposición es de un día.

4.2.4. Definición del indicador

Se define el indicador de número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad de las áreas bajo pasos inferiores:

$$ABP = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (4.2.1)$$

Donde:

ABP	: Número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad de las áreas bajo pasos inferiores.
$I_{i,j}$	: Corresponde al valor de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, para el área “j”, en el día “i”.
i	: Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.
j	: Es el sub índice que representa el contador de áreas bajo pasos inferiores.
d	: Número total de días del mes.
n	: Número total de áreas bajo pasos inferiores.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de integridad y funcionalidad, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de restauración, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador ABP es área-día.

4.2.5. Escala de evaluación del indicador

Se determina la escala indicada en la tabla 4.1 para evaluar el desempeño de las áreas bajo pasos inferiores.

Tabla 4.1: Escala de evaluación ABP.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [área-día]				
0	1	2	3	≥ 4

Capítulo 5

BARRERAS ANTIDESLUMBRANTES

5.1. Introducción

Los sistemas antideslumbrantes están diseñados para reducir el deslumbramiento provocado por los vehículos que transitan en sentido contrario en condiciones de mal tiempo o por la noche, mejorando la visibilidad de la barrera y línea central, reduciendo los accidentes y aumentando el flujo de tráfico.

La seguridad vial debe tener presente el deslumbramiento que experimentan los conductores por la iluminación de un vehículo que circula en sentido contrario. El encandilamiento o deslumbramiento, como se vio en el capítulo 1, es el fenómeno por el cual el conductor experimenta una pérdida de visibilidad, de manera temporal, al ser iluminada una zona de la retina del ojo, cuando éste no está adaptado a ese nivel de luminancia.

El nivel de encandilamiento a que queda sometido un conductor depende de la geometría que presente la vía y de la intensidad del tránsito en sentido contrario.

Los elementos antideslumbrantes tienen la función de impedir físicamente, por obstrucción, que la iluminancia de las luces de los vehículos que transitan en sentido opuesto alcance la zona de visión del conductor. Los requisitos básicos que deben cumplir estos elementos son:

- Prestación de un grado adecuado de visibilidad lateral.
- Resistencia mecánica, pues deben soportar las acciones del viento y las presiones provocadas por el aire ante el paso cercano de los vehículos.
- Seguridad pasiva, ya que, al ser impactados por un vehículo, no debe ocasionar daño o poner en

peligro la vida de los conductores y acompañantes de ambas calzadas. A estos efectos, las láminas ocluseras no podrán ser metálicas, a no ser que se demuestre que cumplen con esa condición.

- En el caso de medianas con barreras de contención, no deberá afectar el buen funcionamiento de la barrera.
- Altura adecuada para cumplir efectivamente con su función.

Los sistemas antideslumbrantes se instalan generalmente en las vías públicas donde es necesario asegurar una protección contra el deslumbramiento. Situaciones comunes donde pueden usarse estos sistemas son las siguientes:

- en las medianas centrales, de vías o calzadas separadas y autopistas;
- entre vías paralelas o convergentes donde el tránsito es en sentidos opuestos;
- en cercanías a fuentes luminosas deslumbrantes que se reflejen sobre instalaciones y/o edificios situados al costado de la vía;
- en las cercanías de fuentes luminosas deslumbrantes, provenientes de instalaciones y/o edificios situados al costado de la vía.

5.2. Propuesta de Evaluación de Barreras Antideslumbrantes

5.2.1. Exigencias de integridad y funcionalidad

- Las barreras antideslumbrantes deberán estar presentes, de acuerdo a lo registrado en el Proyecto de Ingeniería de Detalle.
- Las barreras deben encontrarse íntegras con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados, sin roturas, sin elementos faltantes, sin elementos inclinados. En caso de un hecho fortuito, accidente, otro evento (actos vandálicos, hurtos, etc) rotura o daño de algún elemento, la Sociedad Concesionaria deberá efectuar su reparación, a su entero cargo, costo y responsabilidad.
- Todos los elementos deben estar limpios.

La integridad y funcionalidad se constatará mediante inspección visual.

5.2.2. Periodicidad de la medición

Las exigencias de integridad y funcionalidad se evaluarán de manera mensual, no obstante, el Inspector Fiscal podrá realizar inspecciones adicionales no programadas, en el momento que estime conveniente, o ante reclamos y/o notificaciones por parte de los usuarios.

5.2.3. Plazo de reposición

En caso de detectarse cualquiera de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, el concesionario dispondrá de tres días para subsanar el(los) incumplimiento(s).

5.2.4. Definición del indicador

Se define el indicador de porcentaje mensual de integridad y funcionalidad de barreras antideslumbrantes:

$$PD = \sum_{i=1}^d \sum_{j=i}^n I_{i,j} \quad (5.2.1)$$

Donde:

PD	: Número de incumplimientos mensuales de integridad y funcionalidad del los sistemas antideslumbrantes.
$I_{i,j}$	: Corresponde al valor de los incumplimientos de integridad y funcionalidad, en el hectómetro fijo “j” con barreras antideslumbrantes, en el día “i”.
i	: Es el sub índice que representa el contador de los días del mes.
j	: Es el sub índice que representa el contador de los hectómetros fijos con barreras antideslumbrantes.
d	: Número total de días del mes.
n	: Número total de hectómetros fijos con barreras antideslumbrantes.

El valor de $I_{i,j}$ adoptará el valor 0 cuando se cumplan copulativamente todas las exigencias de integridad y funcionalidad dentro de un kilómetro fijo, y 1 en caso contrario. Asimismo, cuando alguna de las exigencias se encuentre en incumplimiento, si se resuelve dentro del plazo de restauración, para los efectos de la determinación del indicador, las exigencias se han cumplido. La unidad del indicador PD es hectómetro fijo-día.

5.2.5. Escala de evaluación del indicador

Se determina la escala indicada en la tabla 5.1 para evaluar el indicador de integridad y funcionalidad de las barreras antideslumbrantes.

Tabla 5.1: Escala de evaluación PD.

NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [hmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se generó una metodología para evaluar el sistema de iluminación exterior, cuyo resultado se utiliza como dato de entrada para evaluar por niveles de servicio carreteras concesionadas en Chile.

Se identificaron las características relevantes del sistema de iluminación, desde el punto de vista de la seguridad y la comodidad del usuario que transita por la vía. Los parámetros que se usan para evaluar la seguridad son el nivel de Luminancia media y la Uniformidad global de la superficie de la calzada. Si bien el Incremento de Umbral (TI) es un factor importante a considerar dentro de los modelos de visibilidad, su evaluación es compleja y no hay una metodología satisfactoria para medirlo con fines de control. Sin embargo, el uso de ILMD podría, eventualmente, significar un avance para definir estándares en el futuro.

En el aspecto de la comodidad de un usuario que transita por la vía, se identificó el parámetro de Uniformidad Longitudinal. Al igual que en el aspecto de seguridad, se identificó un parámetro relacionado con el deslumbramiento que afecta a esta componente. Sin embargo, no tiene aplicación su medición ya que se calcula con una gran cantidad de variables de la instalación, lo que en la práctica haría imposible su implementación. No obstante, a nivel de diseño, existe un consenso en que limitando el Incremento de Umbral, la incomodidad por deslumbramiento estará controlada.

Durante el desarrollo del presente estudio se han detectado nuevas tecnologías para medir luminancia de forma más rápida y eficiente, con las cuales se puede evitar interrumpir la vía por períodos prolongados de tiempo. Con esto se puede especificar de mejor manera las conformidades para realizar una evaluación. No obstante, deben validarse por un organismo competente para ser usadas.

Considerando los puntos indicados anteriormente, se desarrolló una propuesta que contiene el método de medición, instrumentación, umbrales, niveles de conformidad y niveles de desempeño adoptados para evaluar el sistema de iluminación.

La implementación de estas tecnologías, podría tener consecuencias muy positivas respecto a lo que se sabe hoy de iluminación. Debido a la facilidad y rapidez de las mediciones se podrían evaluar tecnologías incipientes como la iluminación adaptativa y sistemas de telegestión. Además, se podría obtener información más detallada sobre las propiedades de reflexión de los pavimentos que comunemente se usan en Chile y como varían con su envejecimiento, con lo cual se podrían tomar medidas que garanticen el correcto desempeño del sistema de iluminación.

Se definieron índices para evaluar de forma global el servicio prestado por el sistema de citofonía de emergencia, cercos y portones, áreas bajo pasos inferiores, y barreras antideslumbrantes, los cuales reflejan sus condiciones de integridad y funcionalidad.

Para el sistema de citofonía de emergencia se agregan controles de audición y conexión, adicionalmente a lo que había en las bases de licitación. Además, se define una metodología distinta para contabilizar sus niveles de desempeño.

Los indicadores referentes a los activos de Cercos y Portones; Áreas Bajo Pasos Inferiores; y Barreras Antideslumbrantes, representan una novedad con respecto a lo que hay en las bases de licitación actuales, en las cuales no se encuentran mencionados explícitamente, ni evaluados por niveles de servicio.

Se individualizan las fallas detectadas, con el fin de que no se pierdan en medio de un porcentaje que suma la totalidad de los elementos y los días, a fin de que independiente de la extensión del activo, siempre se asegure que esté bien para que cumpla con un nivel “justo” o superior.

El trabajo realizado se concreta en la elaboración de informes técnicos cuyo contenido se encuentra en los capítulos del presente documento, y la elaboración de fichas técnicas con los principales aspectos a considerar, que se incluyen en el Anexo A.

Dentro de las limitaciones del presente trabajo se encuentran los aspectos de diseño, si bien se determina la forma de evaluar y los niveles de desempeño que deben cumplir los activos viales estudiados, no se trabaja en los aspectos propios del desarrollo de un proyecto de ingeniería de detalle, como por ejemplo, lugares en los que se debe proveer iluminación, o lugares de emplazamiento de los teléfonos de citofonía de emergencia. No obstante, la metodología de evaluación empleada permite adaptarse a cambios en los requerimientos de diseño.

Anexo A

FICHAS TÉCNICAS

A.1. Fichas Técnicas sistema de iluminación

A.1.1. Luminancia Media/Uniformidad Global

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE	
IL-IL-FT1	Nivel de Luminancia y Uniformidad Global	
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA
Luminancia Media (Lav)	cd/m^2	Anual
Uniformidad Global (Uo)	-	
NORMATIVA DE REFERENCIA		
Manual de Carreteras, Volumen N°6 Seguridad Vial, Capítulo 6.7 Iluminación Vial, Dirección de Vialidad		
CIE: 140-2000 Road Lighting Calculations		
UNE-EN 13201:4 Métodos de Medida de las prestaciones fotométricas.		
EQUIPO DE MEDICIÓN		
La medición se realizará con un ILMD (<i>Imaging Luminance Meter Device</i> , Dispositivo de Medición de Luminancia de Imagen), calibrado y con resolución suficiente para realizar mediciones puntuales con ángulo sólido cónico no mayor de 2' en la vertical y no más de 20' en la horizontal. El instrumento debe medir en HDR (<i>High Dynamic Range</i> , Alto rango dinámico) con el fin de permitir la medición de Luminancia de Velo para cálculo del Incremento de Umbral (TI).		
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES		
La medición se realizará de forma continua en todos los tramos homogéneos, con una medición de la zona de cálculo normativa utilizada para el cálculo fotométrico. La posición nominal de los puntos de la retícula en los cuales se toman las mediciones, así como las posiciones nominales del observador, deben ser las indicadas en el Anexo 6.700A del Manual de Carreteras. Si algún punto se encuentra situado en la sombra de un objeto (árbol) o en una mancha de aceite, no se debe considerar en los cálculos de luminancia media y valores de uniformidad. Se debe realizar una medición por zona con el ILDM, para cada pista y posición del observador.		
La medición debe realizarse en régimen normal de funcionamiento, las luminarias deben haber pasado su período de estabilización y el pavimento debe encontrarse seco. Se debe reducir al mínimo posible cualquier sombra o interferencia procedente del sistema de medición y operadores.		
La evaluación del nivel de luminancia media (Lav) se realizará en conjunto con la evaluación de la uniformidad global (Uo).		

		Rango del Indicador Uniformidad Global [-]				
Rango del Indicador Luminancia Media [cd/m ²]	Lav/Uo	≥ Uo*+0.2	[Uo*+0.2 ,Uo*+0.1]	[Uo*+0.1 , Uo*]	[Uo* , Uo*-0.1]	< Uo*-0.1
	< 0.8Lav*	MUY MALO				
	[0.8Lav*,0.9Lav*[	JUSTO	MALO	MUY MALO	MUY MALO	MUY MALO
	[0.9Lav*, Lav*[	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO	MUY MALO
	[Lav*, 1.2Lav*[	MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
	>1.2 Lav*	MUY MALO				

*Corresponden a Lav y Uo especificados para la clase correspondiente en la tabla 6.702.3.A del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras.

A.1.2. Uniformidad Longitudinal

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
IL-IL-FT2	Uniformidad Longitudinal			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Uniformidad Longitudinal (UI)		-	Anual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
Manual de Carreteras, Volumen N°6 Seguridad Vial, Capítulo 6.7 Iluminación Vial, Dirección de Vialidad				
CIE: 140-2000 Road Lighting Calculations				
UNE-EN 13201:4 Métodos de Medida de las prestaciones fotométricas.				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
La medición se realizará con un ILMD (<i>Imaging Luminance Meter Device</i> , Dispositivo de Medición de Luminancia de Imagen), calibrado y con resolución suficiente para realizar mediciones puntuales con ángulo sólido cónico no mayor de 2' en la vertical y no más de 20' en la horizontal. El instrumento debe medir en HDR (<i>High Dynamic Range</i> , Alto rango dinámico) con el fin de permitir la medición de Luminancia de Velo para cálculo del Incremento de Umbral (TI).				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
La medición se realizará de forma continua en todos los tramos homogéneos, con una medición de la zona de cálculo normativa utilizada para el cálculo fotométrico. La posición nominal de los puntos de la retícula en los cuales se toman las mediciones, así como las posiciones nominales del observador, deben ser las indicadas en el Anexo 6.700A del Manual de Carreteras. Si algún punto se encuentra situado en la sombra de un objeto (árbol) o en una mancha de aceite, no se debe considerar en los cálculos de luminancia media y valores de uniformidad. Se debe realizar una medición por zona con el ILDM, para cada pista y posición del observador.				
La medición debe realizarse en régimen normal de funcionamiento, las luminarias deben haber pasado su período de estabilización y el pavimento debe encontrarse seco. Se debe reducir al mínimo posible cualquier sombra o interferencia procedente del sistema de medición y operadores.				
NIVELES DE DESEMPEÑO				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
Rango Uniformidad Longitudinal [-]				
≥ UI*+0.1	]UI*+0.1, UI*+0.05]	]UI*+0.05 , UI*]	]UI* , UI*-0.1]	< UI*-0.1

*Corresponde a UI especificada para la clase correspondiente en la tabla 6.702.3.A del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras.

A.1.3. Complemento fichas técnicas L_{av}/U_o y U_l

Para obtener la calificación de una zona iluminada a partir de las grillas que la componen, se propone la siguiente tabla de conformidades:

		Porcentaje del total de tramos* dentro de cada rango				
		MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
Calificación del indicador	MUY BUENO	≥ 50	< 50	$= 0$	$= 0$	$= 0$
	BUENO	≥ 50		< 50	$= 0$	$= 0$
	JUSTO	100%			$= 0$	$= 0$
	MALO	-			< 10	$= 0$
	MUY MALO	-			≥ 10	< 5
		-				≥ 5

Se define una señal de control que permita evaluar el desempeño del sistema de iluminación de manera mensual, en lo que respecta al servicio prestado al usuario, como el número de luminaria-día apagadas o visiblemente dañadas que se contabilicen durante el mes en curso. Existirá un plazo de reposición de 1 día, en caso de que la falla sea una luminaria defectuosa y 3 días si la falla se debe a otro tipo de componentes. Se contabilizarán aquellas fallas que, una vez reportadas, no se reparen dentro del plazo de reposición.

De acuerdo al resultado de esta señal de control, se afectará a cada uno de los indicadores de la siguiente manera:

0 luminaria-día	Los indicadores mantienen el nivel de desempeño, de acuerdo al resultado del procedimiento y conformidades indicadas anteriormente.
1 luminaria-día	Reduce en un nivel el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
2 luminaria-día	Reduce en dos niveles el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
3 luminaria-día	Reduce en tres niveles el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.
4 luminaria-día	Reduce en cuatro niveles el desempeño de los indicadores de Nivel de iluminación/Uniformidad global y Uniformidad longitudinal.

A.1.4. Iluminación para transeúntes

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
IL-IT-FT1	Funcionalidad del Sistema de Iluminación para zonas con transeúntes			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Número de fallas mensuales en exigencias de funcionalidad del sistema de iluminación para zonas con transeúntes		luminaria-día	Mensual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Todos los puntos de luz deben mantenerse encendidos, y proporcionar los niveles de iluminación mínimos exigidos en la sección 6.705.2 del capítulo 6.700 del Manual de Carreteras. El cumplimiento se constatará mediante inspección visual y mediciones de iluminancia con un luxómetro en los lugares donde se esperen valores máximos o mínimos de iluminancias horizontales. Las exigencias deben cumplirse para todos los puntos de luz. La pertinencia y lugar donde realizar las mediciones de iluminancia quedan a discreción del inspector fiscal.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [luminaria-día]				
0	1	2	3	≥ 4

A.1.5. Integridad de los elementos del sistema de iluminación

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
IL-PO-FT1	Integridad de los elementos del sistema de iluminación			
INDICADOR	UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA		
Número de fallas mensuales en exigencias de integridad de los elementos del sistema de iluminación	hmf-día	Mensual		
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Todos los elementos que forman parte del sistema de iluminación, tales como postaciones, luminarias, circuitos eléctricos, tableros de distribución y conexión de alumbrado, entre otros, deberán estar presentes en su ubicación original, según el Proyecto de Ingeniería de Detalle de Iluminación. Los elementos deben estar alineados, limpios, funcionales y con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados. Estos elementos no deben presentar saltaduras, óxido, grietas, deformaciones ni pérdidas de material.				
Los postes no deberán sostener publicidad.				
La integridad de los elementos del sistema de iluminación se constatará mediante inspección visual.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [hmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

A.2. Ficha Técnica sistema de citofonía de emergencia

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
CE-CE-FT1	Integridad y Funcionalidad del Sistema de Citofonía de Emergencia (SOS)			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Número de incumplimientos mensuales en exigencias de integridad y funcionalidad del Sistema de Citofonía de Emergencia		citófono-día	Mensual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Todos los elementos del sistema de citofonía de emergencia deben cumplir con las siguientes exigencias de integridad:				
a) Los elementos deben estar íntegros con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados.				
b) No deben presentar saltaduras, óxido, rayado ni incisiones, deformaciones ni pérdida de material.				
c) Todos los elementos deben estar limpios.				
Las exigencias de integridad se constatarán mediante inspección visual.				
La funcionalidad del sistema de citofonía de emergencia será constatada por los registros automáticos efectuados en la Bitácora que está definida como parte del SIC-NS. Para este caso, se utilizará el registro de todos los eventos, acciones y alarmas registradas en la base de datos del Centro de Control. Adicionalmente, se evaluará la funcionalidad llamando desde cada citófono SOS al Centro de Control, para realizar pruebas de control de conexión y control de audición.				
Cuando el incumplimiento de las exigencias de integridad no comprometa la comunicación del dispositivo, se dispondrá de un plazo de 5 días antes de que empiece la contabilización del indicador. En caso de verse comprometida la comunicación (funcionalidad), no existe plazo de reposición, contabilizándose el indicador desde el momento en que es reportado.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [Citófono-día]				
0	1	2	3	≥ 4

A.3. Ficha técnica cercos y portones

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
CP-CP-FT1	Integridad y Funcionalidad de Cercos y Portones.			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Número de fallas mensuales en exigencias de integridad y funcionalidad de cercos y portones		kmf-día	Mensual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Se debe verificar el cumplimiento de las siguientes exigencias:				
a) Los cercos y cierros deberán estar presentes, sin roturas, sin elementos faltantes, con los postes verticales, sin inclinación.				
b) Los elementos de segregación destinados a separar modos de transporte o canalizar vehículos, como por ejemplo, las vallas peatonales que separan vehículos de peatones, cierros que delimitan el eje troncal de calzadas laterales, deben estar presentes, de acuerdo a lo registrado en el Proyecto de Ingeniería de Detalle, y sin daños.				
La integridad y funcionalidad se constatará mediante inspección visual.				
Existirá un plazo de reposición de 3 días, no obstante, en caso de que se detecten incumplimientos que representen un peligro para los usuarios, se debe actuar con una medida de contingencia dentro de 24 horas de ser reportado. Si dicha medida no se aplica dentro este plazo, se contabilizará el indicador desde el momento en que es reportado.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [kmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

A.4. Ficha técnica áreas bajo pasos inferiores

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
AP-AP-FT1	Integridad y Funcionalidad de las Áreas bajo Pasos Inferiores			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Número de fallas mensuales en exigencias de integridad y funcionalidad de áreas bajo pasos inferiores		área-día	Mensual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Se deben verificar las siguientes exigencias de integridad y funcionalidad para todas las áreas bajo pasos inferiores destinadas al paso de personas:				
a) Limpieza: El área debe encontrarse limpia, sin presencia de vegetación ni acumulación de materiales y elementos ajenos.				
b) Drenaje: Todos los elementos que constituyen el sistema de drenaje deben encontrarse funcionales, operativos, limpios y sin daños. No deben encontrarse evidencias de encharcamiento de agua.				
c) Iluminación: Todos los elementos constitutivos de la instalación de iluminación deben estar presentes, encontrarse limpios, íntegros, sin elementos rotos, sueltos, oxidados. No deben haber puntos de luz visiblemente dañados o apagados. El sistema de iluminación debe proporcionar al menos, los niveles mínimos establecidos en la sección 6.705.3 del Manual de Carreteras.				
Las exigencias de limpieza y drenaje se constatarán mediante inspección visual. La integridad del sistema de iluminación se constatará mediante inspección visual y la funcionalidad, podrá ser evaluada con un luxómetro, midiendo en los lugares donde, de acuerdo al proyecto de iluminación, se esperen los valores mínimos, y verificar que estos sean superiores a los mínimos indicados por el Manual de Carreteras.				
Para las exigencias de limpieza existirá un plazo de reposición de un día.				
Para las exigencias de drenaje, no existe plazo de reposición.				
Para las exigencias de iluminación, existirá un plazo de reposición de un día.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [área-día]				
0	1	2	3	≥ 4

A.5. Ficha técnica barreras antideslumbrantes

IDENTIFICACIÓN	NOMBRE			
PD-PD-FT1	Integridad y Funcionalidad de Barreras Antideslumbrantes.			
INDICADOR		UNIDAD	FRECUENCIA DE MEDIDA	
Número de fallas mensuales en exigencias de integridad y funcionalidad de barreras antideslumbrantes		hmf-día	Mensual	
NORMATIVA DE REFERENCIA				
-				
EQUIPO DE MEDICIÓN				
-				
METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONSIDERACIONES				
Se debe verificar el cumplimiento de las siguientes exigencias:				
a) Las barreras antideslumbrantes deberán estar presentes, de acuerdo a lo registrado en el Proyecto de Ingeniería de Detalle.				
b) Las barreras deben encontrarse íntegras con todos sus elementos constitutivos correctamente instalados, sin roturas, sin elementos faltantes, sin elementos inclinados. En caso de un hecho fortuito, accidente, otro evento (actos vandálicos, hurtos, etc) rotura o daño de algún elemento, la Sociedad Concesionaria deberá efectuar su reparación, a su entero cargo, costo y responsabilidad.				
c) Todos los elementos deben estar limpios.				
La integridad y funcionalidad se constatará mediante inspección visual.				
En caso de detectarse cualquier incumplimiento en las exigencias de integridad y funcionalidad, existirá un plazo de reposición de 3 días.				
NIVELES DE DESEMPEÑO (NOTA)				
MUY BUENO	BUENO	JUSTO	MALO	MUY MALO
RANGO DE INDICADOR [hmf-día]				
0	1	2	3	≥ 4

REFERENCIAS

ANSI/IES (2014). RP-8-14 Roadway Lighting.

Asiqi, C. L. (1980). Influencia de los parámetros fotométricos en el diseño óptimo y calidad de la iluminación de carreteras.

Austroads (2015). Guide to Road Design Part 6: Roadside Environment.

CCOP-MOP (2016). *Concesiones de Obras Públicas en Chile. 20 años*. División de Estudios y Análisis Financiero, CCOP-MOP.

CEN (2015a). EN 13201:2015-2. Road Lighting - Part 2: Performance requirements.

CEN (2015b). EN 13201:2015-2. Road lighting - Part 3: Calculation of performance.

CIE (1992). Road Lighting as an Accident Countermeasure: CIE 93-1992.

CIE (2000). Road Lighting Calculations: CIE 140:2000.

CIE (2010). Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic: CIE 115: 2010.

CIE (2011). CIE 194:2011. On Site Measurement of Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting. *Vienna*.

Conaset (2018). Estadísticas Generales. <https://www.conaset.cl/programa/observatorio-datos-estadistica/biblioteca-observatorio/estadisticas-generales/>.

Dirección de Vialidad (2017). Seguridad vial. *Manual de Carreteras Volumen 6*.

El Mercurio (2019). Al menos 19 tramos de las principales rutas del país carecen de señal de telefonía celular. <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=538181>.

FHWA (2001). European Road Lighting Technologies. *Washington DC: DIANE Publishing*.

Gibbons, R. B., Meyer, J., and Edwards, C. J. (2018). Development of a mobile measurement system for roadway lighting.

Greffier, F., Charbonnier, P., Tarel, J.-P., Boucher, V., and Fournela, F. (2015). An automatic system for measuring road and tunnel lighting performance. In *CIE 2015-International Conference of the 28th session of the CIE*, pages pp-1647.

- IES (2013). Approved Method: Photometric Measurement of Roadway and Street Lighting Installations. IES LM-50-13.
- Johnson, M., Fabregas, A., Wang, Z., Katkoori, S., and Lin, P.-S. (2014). Embedded system design of an advanced illumination measurement system for highways. In *Systems Conference (SysCon), 2014 8th Annual IEEE*, pages 579–586. IEEE.
- Lutkevich, P., McLean, D., and Cheung, J. (2012). FHWA lighting handbook.
- Marinier, J.-C. (1983). Public Lighting Reduces Mugging. *Lux*, 38-40.
- Ministerio de Energía (2016a). Decreto N°2 que aprueba el Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tránsito Vehicular.
- Ministerio de Energía (2016b). Decreto N°51 que aprueba el Reglamento de Alumbrado Público de Bienes Nacionales de Uso Público Destinados al Tránsito Peatonal.
- Ministerio de Fomento (2008). Orden circular 27/2008 sobre metodología de inspección de túneles. España.
- Ministerio de fomento (2008). Pliego Tipo de Cláusulas Administrativas Particulares del Contrato de Concesión de Obras Públicas para la Conservación y Explotación de la Autovías de Primera Generación. España.
- Ministerio de Fomento (2009). Guía de inspecciones básicas de obras de paso. España.
- Ministerio del Medio Ambiente (2013). Decreto N° 43. Establece norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica elaborado a partir de la revisión del DS 686 de 1999.
- MOP (2015). Bases de licitación “Segunda Concesión Camino Nogales-Puchuncaví” . Chile.
- MOP (2017a). Bases de licitación “Concesión Vial Mejoramiento Ruta G-21”. Chile.
- MOP (2017b). Bases de licitación “Concesión Vial Rutas del Loa”. Chile.
- Painter, K., Gunnell, P., and Fleming, R. (1988). *Lighting and crime prevention: The edmonton project*. Middlesex polytechnic London.
- Pyramid Consulting (2015). El adiós de los postes SOS de nuestras carreteras. <https://www.pyramidconsulting.es/noticias/el-adios-de-los-postes-sos-de-nuestras-carreteras>.
- Rodegerdts, L. A., Nevers, B., Robinson, B., Ringert, J., Koonce, P., Bansen, J., Nguyen, T., McGill, J., Stewart, D., Suggett, J., et al. (2004). Signalized intersections: informational guide. Technical report.
- RTPA (2013). Los postes SOS, compañeros de viaje que desaparecen de las carreteras españolas. <https://www.rtpa.es/sociedad:Los-postes-SOS,-compañeros-de-viaje-que-desaparecen-de-las-carreteras-espanolas-111364554575.html>.

Sanz Ciria, R. and Sierra Garriga, C. (2011). Diseño de una aplicación de software de medición y evaluación de niveles de iluminación en vía pública mediante GPS. In *15th International congress on project engineering= XV Congreso internacional de ingeniería de proyectos:[Huesca, del 6 al 8 de Julio de 2011]*, pages 1–14.

SFGATE (2011). Highway call boxes being removed - usage dwindles. <https://www.sfgate.com/bayarea/article/Highway-call-boxes-being-removed-usage-dwindles-2394021.php>.

Tien, J. M. and O'Donnell, V. F. (1977). *Street lighting projects: National evaluation program, Phase I summary report*. Public Systems Evaluation.

UNE (2016). UNE-EN 13201-4. Iluminación de Carreteras - Parte 4: Métodos de medida de las prestaciones fotométricas.

Van Bommel, W. (2014). *Road lighting: Fundamentals, technology and application*. Springer.

Zhou Huaguo, Pirinccioglu Fatih, H. P. (2009). A new road measurement system. *Transportation research part C: emerging technologies*, 17(3), 274-284.