



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

Índice de iluminación aplicando normativa Iberoamericana para determinar  
distancia de visibilidad en accesos a túneles del corredor vial E-30

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Inca Morales Pedro Iván

**Tutor:**

Mgs. Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Pedro Iván Inca Morrales con cédula de ciudadanía 0603333675 autor del trabajo de investigación titulado: “Índice de iluminación aplicando Normativa Iberoamericana para determinar distancia de visibilidad en accesos a túneles del corredor vial E-30”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 27 de abril, 20023



Pedro Iván Inca Morales

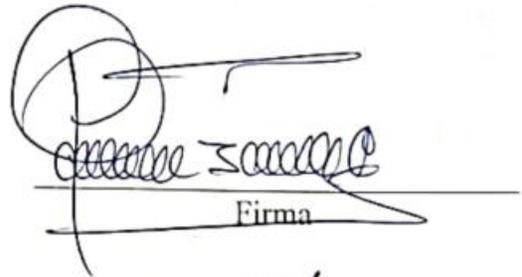
C.I: 0603333675

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Índice de iluminación aplicando Normativa Iberoamericana para determinar distancia de visibilidad en accesos a túneles del corredor vial E-30, presentado por Pedro Iván Inca Morales, con cédula de identidad número 0603333675, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Mgs. Ángel Edmundo Paredes García  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



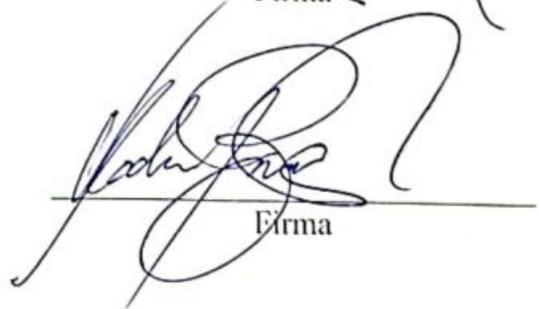
Firma

Mgs. Víctor Renee Velásquez Benavides  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza  
**TUTOR**



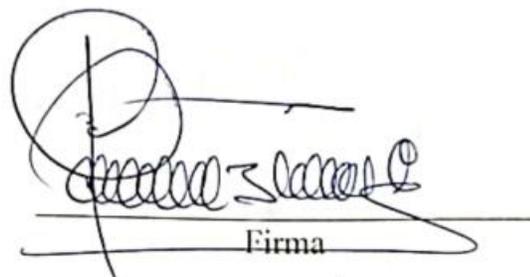
Firma

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Índice de iluminación aplicando Normativa Iberoamericana para determinar distancia de visibilidad en accesos a túneles del corredor vial E-30 por Pedro Iván Inca Morales, con cédula de identidad número 0603333675, bajo la tutoría de Mg. Hernán Vladimir Pazmiño; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



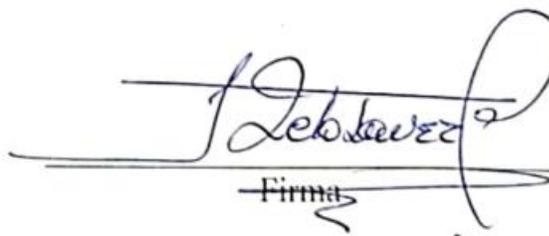
Firma

Mgs. Ángel Edmundo Paredes García  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

Mgs. Víctor Renee Velásquez Benavides  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firma

## CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



## CERTIFICACIÓN

Que, **INCA MORALES PEDRO IVÁN** con CC: **060333367-5** estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"ÍNDICE DE ILUMINACIÓN APLICANDO NORMATIVA IBEROAMERICANA PARA DETERMINAR DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN ACCESOS A TÚNELES DEL CORREDOR VIAL E-30"**, cumple con el 1%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de abril de 2023

Mgs. Pazmiño Chilujza Hernán Vladimir  
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

A Dios, al niño Jesús y a la virgen María que me cuidan todos los días, me llenan de bendiciones y alegrías.

Dedico a mi mamá Luz María Morales Falconí, a mi papá Edwin Iván Inca Moreno, quienes amo con todo mi corazón, son los pilares de mis logros y de todo lo que soy, me apoyaron incondicionalmente a cumplir mis estudios académicos y gracias a ellos lo tengo todo.

A mi hermana Gabriela Paulina Inca Morales, a mi hermano Fernando Xavier Inca Morales que sin dudar me brindaron todo su amor, apoyo y estuvieron a mi lado siempre.

A mis abuelitos Cesar Morales, Pedro Inca, Aida Falconi y mi tío Cesar Morales, que se sientan orgullosos de mí y nos cuiden y protejan desde el cielo a la familia.

A Deysi Tamara González González que es parte fundamental de mi vida, estudios y que siempre busco la forma de hacerme sentir una gran persona cada día.

Para mis queridos Paris y Luka, quienes pasaron incontables días y noches de deberes, trabajos y estudios a mi lado me dieron su amor y vieron a su papá lograr su meta.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Patricio Villacrés, al director de carrera Tito Castillo, a mis profesores quienes siempre me exigían lo mejor de mí, al personal administrativo, a los técnicos de laboratorio y a todas las personas que forman parte de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Al distrito de Policía Baños de la Subzona de policía de Tungurahua, por brindarme escolta, seguridad y apoyo en el análisis de los túneles.

A mi tutor Ing. Hernán Pazmiño por ayudarme con la culminación de mis estudios, por brindarme su amistad y confianza.

A Pablo Rodríguez y Richard Francois por ayudarme con los equipos necesarios para mi tesis, a mis primas Valeria Inca y María Augusta Morales por ayudarme cuando más lo necesitaba.

A mis amigos Ángel Paguay, Edwin Villa, Jilmar Sánchez quienes viajaron conmigo a baños y me ayudaron con la recolección de datos de mi tesis y a mis amigos con los que compartí grandes recuerdos y anécdotas en las aulas.

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	2
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL .....	3
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....	4
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO .....	7
RESUMEN.....	12
ABSTRACT .....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	14
1.1 Planteamiento del Problema.....	14
1.2 Justificación .....	15
1.3 Objetivos .....	15
1.3.1 General .....	15
1.3.2 Específicos .....	15
1.4 Alcance.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
1.5 Túnel .....	23
1.6 Clasificación de los túneles.....	23
1.7 Alumbrado y tipos de iluminación del túnel.....	24
1.8 Tipos de iluminación en los túneles .....	25
1.8.1 Iluminación permanente.....	25
1.8.2 Iluminación de seguridad .....	25
1.8.3 Iluminación de evacuación.....	26
1.9 Diseños de iluminación para túneles.....	27

1.9.1 Procedimiento para el diseño la iluminación con normativa española y colombiana. ...	27
1.9.2 Procedimiento para el diseño de la luminancia en los accesos a los túneles con normativa de Perú. ....	33
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGIA.</b> .....	<b>37</b>
1.10 Tipo de Investigación.....	37
1.11 Pregunta de investigación .....	37
1.12 Población y muestra .....	37
1.13 Técnicas de recolección de datos y procesamiento de datos. ....	37
1.13.1 Revisión bibliográfica .....	37
1.13.2 Técnicas de recolección de datos para la normativa española y colombiana.....	38
1.13.3 Técnicas de recolección de datos para el manual de diseño de Perú. ....	38
1.13.4 Técnica de utilización del equipo de medición de luminancia.....	39
1.14 Método de análisis y procesamiento de datos.....	39
1.14.1 Método de análisis y procesamiento de datos de la normativa española y colombiana .....	39
1.14.2 Método de análisis y procesamiento de datos del manual de diseño de Perú .....	39
1.15 Materiales.....	40
1.16 Diagrama de flujo de la metodología.....	41
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>42</b>
1.17 Resultados.....	42
1.17.1 Análisis de resultados.....	42
1.17.2 Evaluación de resultados de luminancia .....	45
1.17.3 Evaluación de resultados de la distancia de visibilidad. ....	48
1.17.4 Evaluación de resultados de la presencia del efecto agujero negro. ....	50
1.18 Discusión.....	50
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>52</b>
1.19 Conclusiones. ....	52
1.20 Recomendaciones.....	53
<b>ANEXO</b> .....	<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intensidad de tráfico de la hora punta.....	24
Tabla 2. Coeficiente de fricción según la distancia de parada en pavimento mojado .....	28
Tabla 3. Intensidad de tráfico de la hora punta.....	29
Tabla 4. Clase de alumbrado de túneles .....	29
Tabla 5. Valores recomendados de K para diferentes valores de DP y clases de túnel. ....	30
Tabla 6. Intensidad del tráfico .....	33
Tabla 7. Composición del tráfico .....	34
Tabla 8. Guiado visual.....	34
Tabla 9. Comodidad en la conducción .....	35
Tabla 10. Clase de alumbrado .....	35
Tabla 11. Coeficiente de poder revelador.....	36
Tabla 12. Resumen de la luminancia con normativa española y colombiana .....	42
Tabla 13. Resumen de la luminancia con el manual de diseño de Perú .....	43
Tabla 14. Luminancia presente en los túneles del corredor E-30.....	44
Tabla 15. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Chahuarpata .....	45
Tabla 16. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Agoyán.....	45
Tabla 17. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Río blanco.....	46
Tabla 18. Resumen de los índices de luminancia en el túnel San Jorge.....	46
Tabla 19. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Río verde.....	47
Tabla 20. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Cadenillas .....	47
Tabla 21. Resumen de los índices de luminancia en el túnel Churosinguna.....	48
Tabla 22. Distancia de visibilidad de parada de los túneles del corredor E-30.....	49
Tabla 23. Presencia de agujeros negros en túneles.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Túnel Chahuarpata .....	16
Figura 2. Túnel Agoyán.....	17
Figura 3. Túnel Río Blanco .....	18
Figura 4. Túnel San Jorge.....	19
Figura 5. Túnel Río Verde.....	20
Figura 6. Túnel Cadenillas.....	21
Figura 7. Túnel Churosinguna .....	22
Figura 8. Zonas lumínicas de un túnel.....	24
Figura 9. Señalética de seguridad en el interior de un túnel.....	26
Figura 10. Señalética de evacuación en el interior de un túnel .....	26
Figura 11. Relación entre la distancia de parada y el campo de visual del conductor antes de ingresar al túnel. ....	31
Figura 12. Cálculo del porcentaje de cielo por el método L20.....	31
Figura 13. Valores habituales de luminancia media L20 en la zona de acceso.....	32
Figura 14 Luxómetro KETHVOZ .....	40
Figura 15 Diagrama de la metodología .....	41

## **RESUMEN**

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el diseño de iluminación en los túneles existentes en la vía que une las ciudades de Baños y Puyo, aplicando las normativas vigentes en España, Colombia y Perú. Durante la investigación, se detectó la necesidad de evaluar los accesos a los túneles y su distancia de visibilidad de parada, debido a la aparente falta de iluminación en los accesos, lo que produce una percepción de agujero negro desde el exterior. Además, se identificó que la implementación de señalizaciones de seguridad y evacuación podría mejorar la eficiencia de los accesos a los túneles, garantizando una mejor orientación y evacuación en caso de emergencia. Después de realizar visitas técnicas y recopilar los datos necesarios para los cálculos, se determinó que los niveles de iluminación en los accesos a los túneles superan los valores medios establecidos, lo que indica que la falta de luz no es la causa de la sensación de agujero negro al aproximarse a los túneles. Aunque se consideró que la distancia de visibilidad es aceptable en términos de seguridad, la implementación de señalizaciones permitiría mejorar el aspecto de la funcionalidad.

**Palabras claves:** Túneles, iluminación, iberoamericana, umbral, E-30, seguridad, visibilidad

## ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the lighting design in the existing tunnels on the E-30 road, applying the current regulations in Spain, Colombia, and Peru. During the investigation, the need to evaluate the tunnel entrances and stopping sight distance was detected due to the apparent lack of lighting in the entrances, which produces a perception of a black hole from the outside. Additionally, it was identified that the implementation of safety and evacuation signage could improve the efficiency of tunnel entrances, ensuring better orientation and evacuation in case of emergency. After conducting technical visits and collecting the necessary data for calculations, it was determined that the lighting levels in the tunnel entrances exceed the established average values, indicating that the lack of light is not the cause of the black hole sensation when approaching the tunnels. Although the stopping sight distance was considered acceptable in terms of safety, the implementation of signage would improve the functionality aspect.

**Keywords:** Tunnels, lighting, Ibero-American regulations, threshold, safety, visibility.



Reviewed by:

Lcdo. Jhon Inca Guerrero.

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604136572

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCION.**

El sistema de iluminación de túneles es de vital importancia ya que de este depende la seguridad al ingreso, en el interior y a la salida del túnel en materia de visibilidad; a su vez, la iluminación depende de un estudio, diseño y una construcción adecuada, para que facilite al ojo humano a visualizar de mejor manera cualquier obstáculo presente al ingreso de la boca del túnel.

Debido a que Ecuador no tiene una normativa propia para el diseño y ejecución de túneles, muchas veces se adoptan manuales de diseño extranjeras para ejecutar los proyectos. En la ciudad de Baños la cual es punto turístico y cultural de la provincia de Tungurahua cuenta con 7 túneles que comunican a la ciudad de Baños y el Puyo, es una de las vías principales que comunican al oriente con la sierra ecuatoriana.

Con relación al tema, la vía en cuestión presenta una característica significativa que se destaca por la inclusión de un número importante de túneles. Sin embargo, esta particularidad ha generado cuestionamientos que requieren de una atención detallada como: ¿Las luminarias instaladas brindan la seguridad y confort necesario para los usuarios?, ¿La intensidad luminosa es la adecuada?, ¿Es necesario implementar luminarias de seguridad y de evacuación?

Se decide abordar esta problemática, participando de una investigación con nuevas alternativas que ayuden a mejorar la calidad de iluminación de los túneles y evitar el efecto de agujero negro, mediante un estudio y análisis de normas vigentes que se han empleado en otros países y así poder comparar con las utilizadas en el Ecuador.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Dentro de los parámetros de diseño de un túnel se toman medidas de seguridad tanto al ingreso, en el transcurso y al final, pero existen criterios mal empleados con respecto a la iluminación debido a que no se tiene una normativa ecuatoriana en la cual basarse, por lo que conlleva a una mala práctica y elección de luminarias con una capacidad de iluminación diferente a las recomendadas que se deben colocar y así garantizar que el usuario se sienta seguro y que no se produzcan accidentes en el ingreso al túnel por el efecto agujero negro, por esta razón se toman diferentes

normativas iberoamericanas como es la de España, Colombia y Perú para evaluar dichos factores y aplicarlos en los túneles del corredor E-30.

## **1.2 Justificación**

La presente investigación tiene como finalidad, la medición de los índices de iluminación bajo las normativas Iberoamericanas con la finalidad de determinar las distancias de visibilidad en los accesos de los túneles en la vía principal de Baños – Puyo (E30), donde se identifican los diferentes valores de iluminación presentes en la zona del umbral de accesos de los siete túneles presentes en el corredor E-30. La correcta iluminación e implementación de luminarias de seguridad y evacuación logrará evitar el efecto de agujero negro, fallos eléctricos y cumpliéndose los requisitos mínimos de iluminación en túneles.

El beneficio del presente estudio será para los usuarios que viajan a la región amazónica y a sus principales destinos turísticos del país, debido que este estudio se convertirá en una guía de referencia para establecer los valores óptimos de luminancia en futuras obras civiles (túneles).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

- Determinar el índice de iluminación aplicando normativa Iberoamericana para determinar distancia de visibilidad en accesos a túneles del corredor vial E-30.

### **1.3.2 Específicos**

- Calcular los niveles de iluminación de la zona del umbral mediante el método L20, y el método ponderado.
- Comparar si las luces de los túneles cumplen los requerimientos de las normativas iberoamericanas.
- Identificar los túneles que presentan el efecto de agujero negro.

## 1.4 Alcance

Con la ayuda de un luxómetro se toman las mediciones en los accesos a los túneles del corredor E-30 posteriormente se compara los rangos de iluminación actuales presentes en las luminarias con los rangos propuestos por las normativas de España, Colombia y Perú. Así mismo se evidencia la presencia de iluminación de seguridad y de evacuación los cuales deben estar colocados según (NEVI 12, 2013) (Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador, 2013).

Los túneles que van a ser puestos en análisis de estudio son:

### a) Túnel Chahuarpata



**Figura 1.**Túnel Chahuarpata

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** junto al centro de actividades recreativas de la casa de campo Agoyán.

**Sentido de circulación:** Sentido Este - Oeste

**Longitud:** 436 m

**Número de carriles:** 1

**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.3989155, -78.3610976

**Salida:** -1.3982711, -78.3650134

## b) Túnel Agoyán



**Figura 2.** Túnel Agoyán

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** junto al centro de actividades recreativas de la casa de campo Agoyán.

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 232 m

**Número de carriles:** 1

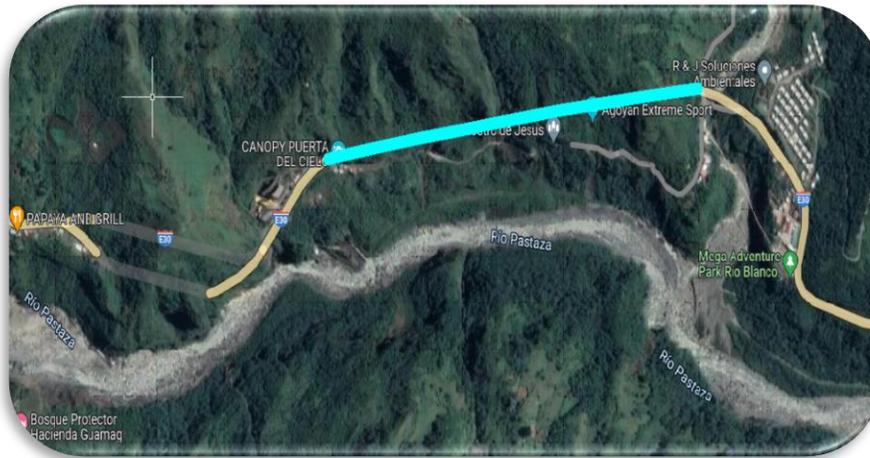
**Altura de la boca de entrada:** 4.30 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.3990734, -78.3641426

**Salida:** -1.3996277, -78.3619735

c) **Túnel Río Blanco**



**Figura 3.** Túnel Río Blanco

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** a 100 m de la casa de máquinas de la hidroeléctrica Agoyán.

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 232 m

**Número de carriles:** 2

**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.3970702, -78.3595616

**Salida:** -1.396476, -78.3509672

d) **Túnel San Jorge**



**Figura 4.** Túnel San Jorge

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** junto al paradero San Pedro

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 294 m

**Número de carriles:** 2

**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.4029959, -78.3241781

**Salida:** -1.4033474, -78.3216353

e) **Túnel Río Verde**



**Figura 5.** Túnel Río Verde

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** iniciando la ciudad de Rio verde

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 509 m

**Número de carriles:** 2

**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.4028355, -78.3055755

**Salida:** -1.4011737, -78.3012176

f) **Túnel Cadenillas**



**Figura 6.** Túnel Cadenillas

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** A 200 m de la hostería Rio verde

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 678 m

**Número de carriles:** 2

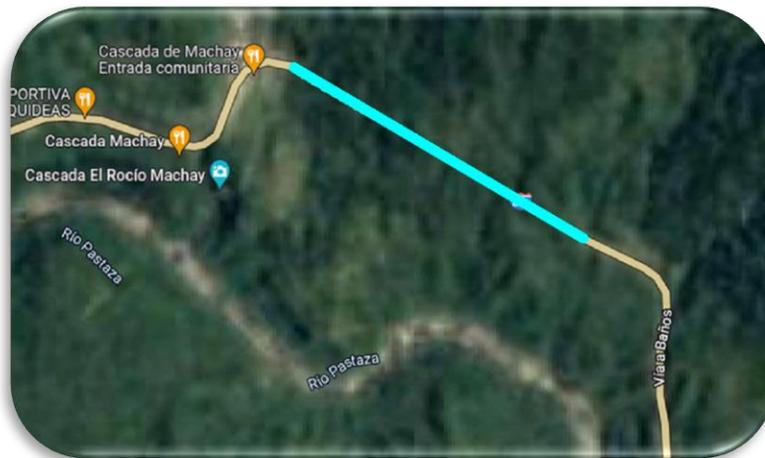
**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.40041, -78.29909

**Salida:** -1.3995003, -78.2931978

### g) Túnel Churosinguna



**Figura 7.** Túnel Churosinguna

**Fuente:** Google Earth 2023

**Ubicación o referencia:** A 100 m del puente Machay

**Sentido de circulación:** Sentido Oeste - Este

**Longitud:** 858 m

**Número de carriles:** 2

**Altura de la boca de entrada:** 4.80 m

**Coordenadas GPS:** Latitud, Longitud

**Entrada:** -1.4004662, -78.2810316

**Salida:** -1.4045039, -78.2714736

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **1.5 Túnel**

Según la Secretaría de comunicaciones y transportes, 2016 los túneles carreteros son de gran importancia en la intercomunicación de carreteras, dando mayor fluidez al tráfico de automotores, por lo que dichos túneles deben tener la máxima seguridad en su funcionamiento.

La principal necesidad de la construcción de un túnel es la continua conexión entre dos puntos que supera obstáculos como montañas, ríos o zonas construidas. Actualmente en las ciudades de Latinoamérica se construyen túneles para vehículos debido a una falta de planificación en el tránsito y la implementación de líneas de metro, aunque cabe destacar que también se emplean para peatones, obras hidráulicas y la minería.

### **1.6 Clasificación de los túneles.**

Se pueden clasificar los túneles según el tipo, el material y por su intensidad de tráfico. Estas características cumplen la importancia de una adecuada planificación y diseño.

- Según el tipo:
  - Túneles rurales
  - Túneles urbanos
  
- Según el material:
  - Excavado en roca
  - Excavado en suelo
  - Artificiales

- Según su intensidad de tráfico:

**Tabla 1.** Intensidad de tráfico de la hora punta

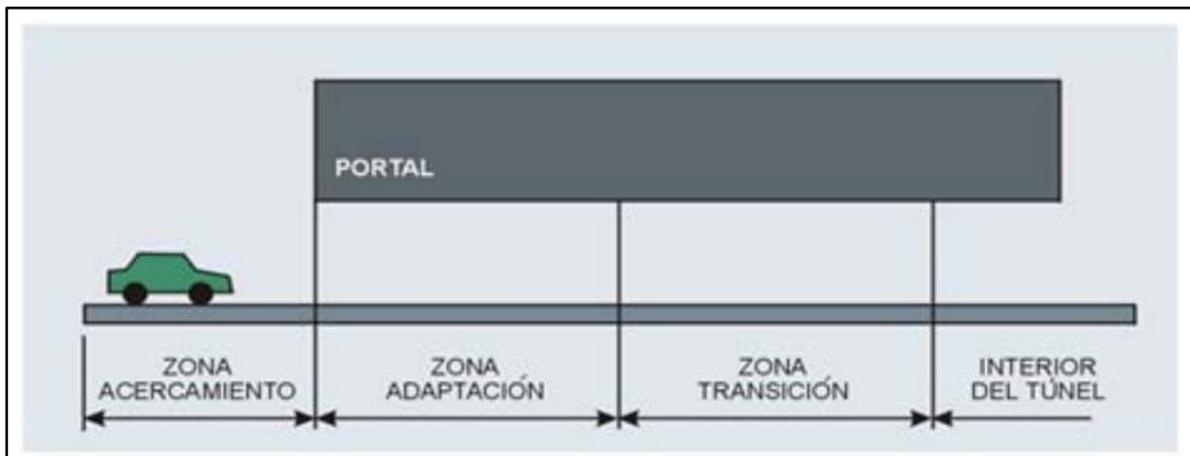
Intensidad de tráfico	Tráfico unidireccional (vehículo/hora * carril)	Tráfico bidireccional (vehículo/hora * carril)
Alta	>1.500	>700
Media	500 - 1500	200- 700
Baja	<500	<200

Fuente: CIE 88:2004

### 1.7 Alumbrado y tipos de iluminación del túnel.

El manual de carreteras de Perú difiere entre la iluminación diurna que es la más crítica ya que los niveles de iluminación en el exterior son más altos que los niveles del interior del túnel, teniendo que pasar el ojo humano por un proceso de adaptación, mientras que en la noche basta con suministrar niveles de iluminación iguales a los externos. (Ministerio de transportes y comunicaciones de Perú, 2016)

Para entender de mejor manera el efecto que produce esta adaptación se identifican las zonas de alumbrado que contiene un túnel.



**Figura 8.** Zonas lumínicas de un túnel

Fuente: RETILAP

Para esta investigación se analizó la zona de adaptación o zona de umbral que es la primera parte del túnel y en la que durante el día demanda un alto nivel de iluminación, la longitud de cada zona

depende de la velocidad de diseño del túnel, aunque en la normativa recalca que la longitud total de la zona del umbral debe ser al menos igual a la distancia de visibilidad de parada.

En el caso de un túnel unidireccional, se contempla una única zona de umbral, siendo esta la única zona de acceso al túnel. En cambio, si el túnel es bidireccional, se considera como zona de umbral tanto su entrada como su salida. (Dirección general de industria energía y minas de la comunidad de Madrid, 2015)

## **1.8 Tipos de iluminación en los túneles**

El propósito principal del alumbrado de los túneles es garantizar que los usuarios puedan aproximarse, atravesar y salir del túnel sin complicación durante el día y la noche. El alumbrado debe proporcionar información suficiente sobre el recorrido del túnel en todo momento con el propósito de asegurar una circulación sin riesgos para los usuarios.

### **1.8.1 Iluminación permanente**

Esta iluminación permanente se proporciona de tal modo que permita a los conductores tener una visibilidad homogénea y adecuada en el día y la noche para las zonas de acceso, umbral, transición, interior y salida. Se debe incluir los criterios de luminancia para cada zona del túnel, con una velocidad de circulación de acuerdo con las características particulares del mismo. (Ministerio de minas y energía de Colombia, 2010)

### **1.8.2 Iluminación de seguridad**

Para proporcionar una visibilidad mínima para los conductores en el evento de una falla o corte del suministro de energía eléctrica, se establece una iluminación de seguridad que permite realizar la evacuación del túnel con el uso de los vehículos. (Ministerio de minas y energía de Colombia, 2010)



**Figura 9.** Señalética de seguridad en el interior de un túnel

Fuente: Interempresas, 2020

### 1.8.3 Iluminación de evacuación

La razón por la que se necesita dicha iluminación es para guiar a las personas que caminan en caso de una evacuación ordenada, debido a una emergencia o un incidente. (Instituto Nacional de Vías, 2021) La iluminación de evacuación debe estar preferiblemente a la altura del andén, o una altura no mayor a 1,5 m y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m<sup>2</sup>



**Figura 10.** Señalética de evacuación en el interior de un túnel

Fuente: Interempresas, 2020

## 1.9 Diseños de iluminación para túneles

### 1.9.1 Procedimiento para el diseño la iluminación con normativa española y colombiana.

Partiendo de la premisa que  $L_{th}$  es la luminancia al inicio de la zona umbral y se relaciona con  $L_{20}$  a través del coeficiente de poder revelador  $K$ , para encontrar los índices de iluminación que deben tener los túneles.

#### 2.5.1.1. *Cálculo de la pendiente.*

La pendiente es la diferencia de cota inicial y final entre la longitud, esta indica la inclinación de la calzada o vía a la que fue diseñada. Para el cálculo se puede utilizar la siguiente fórmula.

$$s = \frac{\text{Diferencia de Cotas}}{\text{Distancia horizontal}} * 100\%$$

#### 2.5.1.2. *Distancia de visibilidad de parada*

La distancia de visibilidad de parada en un túnel es una medida fundamental que se refiere a la distancia máxima que un conductor es capaz de percibir con claridad al mirar hacia adelante mientras se desplaza por el interior del túnel. La eficiencia y la seguridad son dos parámetros esenciales que se ven afectados por la distancia de visibilidad. Es importante destacar que la distancia de visibilidad de parada permite a los conductores detectar obstáculos o peligros en la carretera con suficiente anticipación y disminuyendo así el riesgo de accidentes.

#### 2.5.1.3. *Cálculo de la distancia de visibilidad de parada.*

Se puede definir como la distancia recorrida por el vehículo desde la acción de frenado hasta detenerse el vehículo totalmente. Para las zonas de los accesos a los túneles la distancia de parada se debe calcular para pavimentos mojados o húmedos (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007)

$$Dp = 0.694 * (Vo) + \frac{(Vo)^2}{254 * (fl \pm s)}$$

**Dónde:**

**Vo:** Velocidad de diseño (m/seg)

**Fl:** Coeficiente de fricción longitudinal

s: Pendiente de la vía

El coeficiente de fricción se determina mediante pruebas de frenado partiendo de una velocidad de diseño o inicial y la pendiente (s). La tabla 2 muestra los valores de (F<sub>l</sub>) utilizados para fines de proyectos que se estimen como conservadores, ya que se toman las peores habilidades en el manejo, las condiciones normales de las llantas y pavimento mojado (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007)

**Tabla 2.** Coeficiente de fricción según la distancia de parada en pavimento mojado

Velocidad de proyecto (Km/h)	Percepción – reacción		Coeficiente de fricción longitudinal F <sub>l</sub>	Distancia de frenado D <sub>f</sub> (m)	Distancia de parada D <sub>p</sub> (m)	
	Tiempo T <sub>pr</sub> (seg)	Distancia D <sub>pr</sub> (m)			Calculada	Proyecto
30	2.50	20.8	0.400	8.9	29.7	30
40	2.50	27.8	0.380	16.6	44.4	45
50	2.50	34.7	0.360	27.3	62	60
60	2.50	41.6	0.340	41.7	83.3	85
70	2.50	48.6	0.325	59.4	108	110
80	2.50	55.5	0.310	81.3	136.8	135
90	2.50	62.5	0.305	104.6	167.1	165
100	2.50	69.4	0.300	131.2	200.6	200
110	2.50	76.3	0.295	161.5	237.8	240
120	2.50	83.3	0.290	195.5	278.8	280

Fuente: Rafael Cal y Mayor Reyes

#### 2.5.1.4. Intensidad del tráfico.

Se utiliza la clasificación según la intensidad del tráfico y si la vía es de tipo unidireccional o bidireccional para poder identificar a qué nivel corresponde el túnel como indican los parámetros de la norma (International Commission on Illumination., 2004)

**Tabla 3.** Intensidad de tráfico de la hora punta

<b>Intensidad del tráfico</b>	<b>Tráfico unidireccional (vehículos/hora*carril)</b>	<b>Tráfico unidireccional (vehículos/hora*carril)</b>
Alta	> 1.500	> 700
Media	500 - 1500	200 - 700
Baja	< 500	< 200

Fuente: CIE 88:2004

2.5.1.5. *Clase de alumbrado del túnel.*

Determinado el nivel (Alta, Media, Baja) y además identificando qué tipo de vehículos motorizados transcurren, sirve de guía para identificar la clase de túnel.

**Tabla 4.** Clase de alumbrado de túneles

<b>Intensidad de Tráfico</b>	<b>Tipo de tráfico</b>	<b>Clase de túnel</b>
Alta	M	4
	A	3
Media	M	3
	A	2
Baja	M	2
	A	1

Fuente: CIE 88:2004

A: Solo tráfico motorizado

M: Tráfico mixto incluyendo bicicletas

2.5.1.6. *Coefficiente de poder revelador*

Factor k, así recibe el nombre el coeficiente de poder revelador que depende de la distancia de parada (Dp) y de la clase de túnel, la fórmula se expresa de esta manera:

$$K = \frac{Lth}{L20}$$

Para los datos se utilizó los valores recomendados de k, según los diferentes valores de distancia de parada y en el caso de valores intermedios se deberá interpolar.

**Tabla 5.** Valores recomendados de K para diferentes valores de DP y clases de túnel.

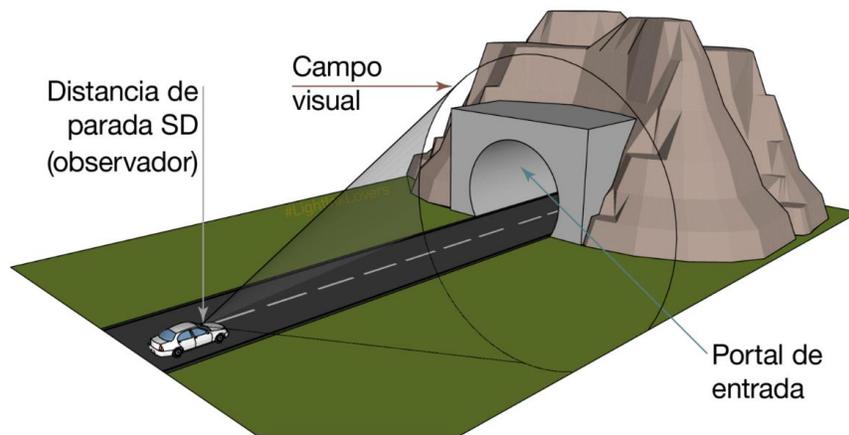
Clase de túnel	Distancia de parada Dp (m)		
	<=60	100	>=160
4	0.05	0.06	0.01
3	0.04	0.05	0.07
2	0.03	0.04	0.05
1	No hay requisitos		

Fuente: CIE 88:2004

#### 2.5.1.7. *Porcentaje de cielo*

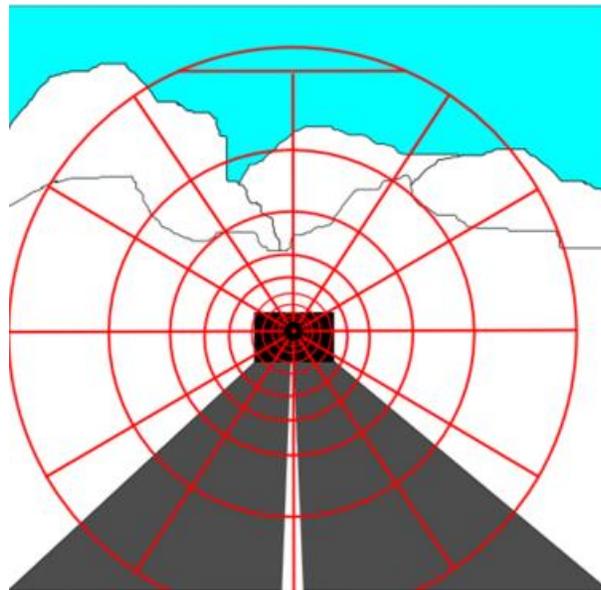
En el campo de visión del túnel, a una distancia igual a la distancia de visibilidad de parada, se captura una fotografía a una altura de 1.20 m de la boca del túnel y con ayuda de una distancia conocida como puede ser la altura o el ancho del túnel se escala en el AutoCAD para obtener el área del cielo. Finalmente se identificó el porcentaje de cielo con la fórmula:

$$\% \text{ cielo} = \frac{\text{área del cielo} * 100\%}{\text{área del cono } m^2}$$



**Figura 11.** Relación entre la distancia de parada y el campo de visual del conductor antes de ingresar al túnel.

Fuente: <https://lexicalightink.com/tuneles-con-velocidades-de-transito-reducidas/>



**Figura 12.** Cálculo del porcentaje de cielo por el método L20

Fuente: (Emilio Izquierdo Raigán, 2013)

#### 2.5.1.8. Luminancia L20 en el campo de visión cónico de 20° cd/m<sup>2</sup>

- *Método Aproximado*

Es el nivel de iluminación recomendado de la zona del umbral que se establece en función de la luminancia de la zona de acceso durante el día, este procedimiento es tomado de la norma CIE 88-

2004 en el que recomienda aplicar el cono de observación con el plano vertical del portal sobre una fotografía de la boca del túnel.

Los valores que indica la figura 11 son valores basados en estudios empíricos y aplicados a la mayoría de las condiciones de los túneles comunes.

Luminancia media $L_{20}$ en el campo de visión cónico de 20°, en $cd/m^2$ .																
	Porcentaje de cielo en el campo de visión cónico de 20°															
	35%				25%				10%				0%			
	Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve		Normal		Nieve	
	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto
Situación de claridad en campo de visión	1)		1)		1)		1)		2)		3)		2)		3)	
Distancia de parada*60 m	4)		4)		4.000	5.000	4.000	5.000	2.500	3.500	3.000	3.500	1.500	3.000	1.500	4.000
Distancia de parada* 100-160 m	4.000	6.000	4.000	6.000	4.000	6.000	4.000	6.000	3.000	5.000	3.000	5.000	2.500	4.500	2.500	5.000

NOTAS

1) Efecto fundamentalmente dependiente de la orientación del túnel.  
 - Bajo: En el hemisferio norte-entrada sur.  
 - Alto: En el hemisferio norte-entrada norte.  
 - Para entradas por el este y el oeste, debería elegirse un valor medio entre "bajo" y "alto".

2) Efecto fundamentalmente dependiente de la claridad de los alrededores.  
 - Bajo: Reflectancias de alrededores bajas.  
 - Alto: Reflectancias de alrededores altas.

3) Efecto fundamentalmente dependiente de la orientación del túnel.  
 - Bajo: Entrada norte.  
 - Alto: Entrada sur.  
 - Deberían interpolarse valores medios entre valores altos y bajos.

4) Para una distancia de parada de 60 m., no se han encontrado en la práctica porcentajes de cielo del 35%.

5) "Boca norte" significa desplazándose hacia el sur (en el hemisferio norte).

\*Calculada para pavimento húmedo (según apartado 2.1.1)

**Figura 13.** Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso.

**Fuente:** CIE 88:2004

Las investigaciones realizadas indican que puede utilizarse  $L_{20}$  para la mayor parte de las situaciones prácticas del estado de adaptación del sistema visual de los conductores que se aproximen al túnel (International Commission on Illumination., 2004), por tal razón se utilizó el método aproximado en el cual obtuve valores de  $L_{20}$  en  $cd/m^2$  en función del porcentaje de cielo y de la distancia de parada.

### 2.5.1.9. Luminancia de umbral $L_{th}$

Consiste en hacer cumplir la relación  $L_{th} = k * L_{20}$  para obtener la luminancia en la zona del umbral, obteniendo valores de  $cd/m^2$  que posteriormente se comparan con los obtenidos mediante un luxómetro a una distancia determinada de 1 m.

### 2.5.1.10. Luminancias presentes actualmente

Con las medidas del luxómetro evidencie los diferentes valores de iluminancia en la zona del umbral que es igual a la distancia de parada y posteriormente convertidos a  $cd/m^2$  para comparar con los valores recomendados del umbral  $L_{th}$  del paso anterior.

Fijando un punto de referencia en la boca del túnel y ubicado a una altura de 1 m o a 1/4 parte de la altura del túnel como recomienda la normativa.

$$Lux = \frac{Candela}{Distancia^2}$$

## 1.9.2 Procedimiento para el diseño de la luminancia en los accesos a los túneles con normativa de Perú.

El manual de diseño de túneles en Perú establece un proceso para determinar la luminancia en la zona de umbral. Clasifica el túnel según la intensidad, composición del tráfico, la guía visual y la comodidad de la conducción. Cada uno de estos factores se asigna un factor de ponderación que se utiliza para calcular la clase de iluminación del túnel. Con esta información, se puede determinar la cantidad adecuada de luz necesaria para garantizar un ambiente seguro y cómodo para los conductores.

### 2.5.2.1. Intensidad del tráfico

La intensidad del tráfico se mide en términos de vehículos por hora y carril, se utiliza para determinar el factor de ponderación correspondiente a la tabla 6. Este valor se utiliza luego en el cálculo de la clase de iluminación adecuada para el túnel.

**Tabla 6.** Intensidad del tráfico

Intensidad de tráfico (vehículos/hora por carril)		Factor de ponderación
Unidireccional	Bidireccional	
<60	<30	0
60-100	30-60	1
100-180	60-100	2
180-350	100-180	3
350-650	180-350	4
650-1200	350-650	5
>1200	650-1200	6
	>1200	7

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones de Perú, 2016)

### 2.5.2.2. *Composición del tráfico*

El diseño de la iluminación en los túneles debe ajustarse a la composición del tráfico, requiriendo niveles más altos de luz en la calzada y las paredes en condiciones desafiantes o peligrosas. Estos aspectos se reflejan en la tabla 7, con un factor de ponderación para ser considerados en el cálculo de la clase de iluminación adecuada para el túnel.

**Tabla 7.** Composición del tráfico

<b>Composición del tráfico</b>	<b>Factor de ponderación</b>
Tráfico motorizado	0
Tráfico motorizado (Porcentaje de camiones >15%)	1
Tráfico mixto	2

**Fuente:** Manual de carreteras, túneles y muros de Perú

### 2.5.2.3. *Guiado visual*

La información que recibe un conductor durante su viaje en el túnel debe ser adecuada y suficiente, lográndose a través de paredes claras y techo oscuro. El guiado visual es crucial en momentos de aproximación al túnel o cuando la entrada es baja. La tabla 8, recoge el factor de ponderación en función del guiado visual:

**Tabla 8.** Guiado visual

<b>Guiado visual</b>	<b>Factor de ponderación</b>
Guiado visual bueno	0
Guiado visual pobre	2

**Fuente:** Manual de carreteras, túneles y muros de Perú

El alumbrado deberá favorecer el guiado visual del túnel, mejorando la visibilidad de la calzada y de la señalización vertical y horizontal.

### 2.5.2.4. *Comodidad en la conducción*

La comodidad al conducir debe ser considerada en la elección de la iluminación para proporcionar una información completa y reducir la complejidad visual. La tabla 9, muestra los factores de ponderación en relación con la comodidad de conducción.

**Tabla 9.** Comodidad en la conducción

<b>Comodidad en la conducción</b>	<b>Factor de ponderación</b>
Se requiere una baja comodidad	0
Se requiere una comodidad media	2
Se requiere una comodidad elevada	4

Fuente: Manual de carreteras, túneles y muros de Perú

2.5.2.5. *Clase de alumbrado*

La sumatoria de los valores ponderados debe estar entre los rangos que a continuación se muestra en la tabla 10, teniendo este valor su respectiva ponderación y que equivale a la clase de alumbrado correspondiente:

**Tabla 10.** Clase de alumbrado

<b>Suma de factores de ponderación</b>	<b>Factor de ponderación</b>
0-3	1
4 - 5	2
6 - 7	3
8 - 9	4
10 - 11	5
12 - 13	6
14 - 15	7

Fuente: Manual de carreteras, túneles y muros de Perú

2.5.2.6. *Determinación del factor K*

Una vez definidos el sistema de alumbrado, la distancia de seguridad y la clase de alumbrado, debo determinar el valor del parámetro K recomendado que relaciona la luminancia de la zona umbral y la zona de acceso para que la entrada al túnel del conductor sea segura desde el punto de vista visual. Valores de  $k \cdot 10^3$  para la zona umbral.

**Tabla 11.** Coeficiente de poder revelador

Sistema de alumbrado	Contraflujo			Simétrico		
	Distancia de parada			Distancia de parada		
Clase de alumbrado	60m	100m	160m	60m	100m	160m
1	10	15	30	10	20	35
2	15	20	40	20	25	40
3	20	30	45	25	35	45
4	25	35	50	30	40	50
5	30	40	55	35	50	65
6	35	45	60	40	55	80
7	40	50	70	50	60	100

Fuente: Manual de carreteras, túneles y muros de Perú

Se utilizó los valores calculados para determinar la luminancia L20 de las normativas de Colombia y España, que van a hacer multiplicadas por nuestro valor encontrado de K y así determinar los valores medios de luminancia según los lineamientos del manual de diseño de Perú.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **1.10 Tipo de Investigación**

La investigación es del tipo exploratorio, ya que se trata de un estudio concreto que ha sido poco profundizado. Este primer acercamiento permite abrir una brecha sobre esta temática y encontrar patrones y factores comunes entre las normativas aplicadas en otros países.

### **1.11 Pregunta de investigación**

¿Comparando los índices de iluminación presentes en los accesos a los túneles E-30 con los propuestos por las normativas iberoamericanas estaría en los niveles adecuados o se pueden mejorar los niveles y calidad del alumbrado?

### **1.12 Población y muestra**

Debido a la naturaleza experimental de la investigación se tomaron como objetivos de estudio a los 7 túneles de la vía E-30, cubriendo la totalidad de los túneles que se encuentran en la vía de Baños con dirección al Puyo ya que considero de vital importancia prevenir el efecto de agujero negro en los accesos y determinar la distancia de parada en caso de aparecer un peligro inesperado.

### **1.13 Técnicas de recolección de datos y procesamiento de datos.**

#### **1.13.1 Revisión bibliográfica**

Se realizó una amplia búsqueda de información en artículos científicos en la biblioteca digital scopus, artículos científicos, normativas internacionales como la española, colombiana, peruana y tesis relacionadas con el tema de investigación, posteriormente se elaboró una matriz para juntar toda la información y realizar una depuración con el objetivo de identificar las fuentes más relevantes.

Como parte del proceso de depuración, se evaluó la veracidad de las fuentes y se verificó si eran confiables y actualizadas. También se revisó la formación o experiencia de los autores en el tema. Posteriormente, se analizó y comparó la información recopilada en la matriz final para obtener una visión general de los diferentes enfoques y parámetros de diseño utilizados en la iluminación de túneles.

### **1.13.2 Técnicas de recolección de datos para la normativa española y colombiana**

En un primer acercamiento a los túneles se observó que cuentan con alguna información necesaria en las señaléticas como el nombre, longitud y la altura de la boca del túnel, la ayuda de una ficha técnica (Ver anexo 1) va a hacer necesaria para ir apuntando los datos que proporcionan las señaléticas y los datos que se deben tomar por cuenta propia.

Para la localización de las cotas a las que se encuentran los accesos es necesario la ayuda de una aplicación georreferencial como es la UTM geomap, esta sirve para delimitar las coordenadas, las mismas que se contrastan con las coordenadas del Google Earth. Para determinar la intensidad del tráfico se realizó un conteo manual durante un fin de semana donde son los días más concurridos y se tomó el número de vehículos por hora por carril con mayor flujo vehicular. En una nueva visita técnica debo marcar las distancias de parada y tomar una fotografía orientadas hacia el centro de la boca del túnel y a una altura de 1 m.

Con un luxómetro se tomó las mediciones de intensidad de luz cada 20 m cubriendo la distancia del umbral, la distancia de parada es igual a la distancia de la zona del umbral calculada para cada túnel. (Comité europeo de normalización & UNE - CR 14380, 2007) (Secretaría de estado de infraestructuras, 2015)

### **1.13.3 Técnicas de recolección de datos para el manual de diseño de Perú.**

Partiendo de la visita que se realizó para el conteo vehicular en donde se encontró la intensidad del tráfico durante un fin de semana, se registró la composición del tráfico ya que un aspecto importante es limitar si los túneles permiten el acceso o no de bicicletas. En la ficha técnica (Ver anexo 2), demarque si existe o no las señaléticas antes, dentro y a la salida del túnel ya que esta será ponderada posteriormente.

Para la comodidad en la conducción y el guiado visual realice varios viajes por los túneles y revise toda información del campo visual que percibe el conductor, la dificultad de circulación y los contrastes.

#### **1.13.4 Técnica de utilización del equipo de medición de luminancia**

Se realizaron tres mediciones a una distancia de 20 metros cada una, se identificó los puntos sobre la calzada definiéndolos con pintura fluorescente y se verificó que el luxómetro estuviera a un metro de altura desde la calzada. Posteriormente, se encendió el equipo y se dejó unos segundos hasta que el sensor se estabilizara y capturar las mediciones marcadas en el luxómetro.

### **1.14 Método de análisis y procesamiento de datos**

#### **1.14.1 Método de análisis y procesamiento de datos de la normativa española y colombiana**

Partiendo del cálculo de la pendiente con la ayuda de la diferencia de cotas y longitud del túnel, se identifica si es ascendente (positivo) o descendente (negativo). En el cálculo de la distancia de parada se utiliza el límite de velocidad del túnel, el coeficiente de fricción para pavimento húmedo y la pendiente anteriormente calculada.

Según la intensidad vehicular se categorizó al túnel según la tabla 3 y la composición del tráfico en: (A) tráfico motorizado (m) tráfico que incluye bicicletas. Identificado todos estos aspectos se determinó la clase de túnel categorizándose como indica la tabla 4, esto permite que pueda identificar en la tabla 5 el valor correspondiente de K (coeficiente de poder revelador) que corresponda según la clase de túnel y la distancia de parada calculada.

Con la ayuda del AutoCAD se insertaron las fotografías tomadas en campo de las bocas del túnel y se dimensionan a una escala con una distancia conocida, así pude encontrar el porcentaje de cielo y aplicar el método L20. El paso final es calcular la luminancia del umbral.

$$L_{th} = k * L_{20}$$

#### **1.14.2 Método de análisis y procesamiento de datos del manual de diseño de Perú**

Con los datos tomados en campo se procede a ponderar la intensidad del tráfico, la composición del tráfico, guiado visual y la comodidad de conducción, según las tablas 6,7,8 y 9. Para la clase de alumbrado se realiza una sumatoria de todas los ítems ponderados y el valor obtenido debe estar entre los rangos que indica la tabla 10.

Para determinar el valor de k se utiliza la distancia de parada calculada con el método anterior e interpolar los valores según la tabla 11, Por último, se escoge el valor obtenido de L20 del método anterior y se multiplica por k para obtener por medio de este manual el valor de la luminancia en la zona del umbral.

## 1.15 Materiales

### luxómetro.

Un luxómetro es un instrumento de medición que se utiliza para medir el nivel de iluminación en un área determinada. Este dispositivo utiliza un sensor fotosensible para medir la intensidad de la luz en lux y puede usarse para determinar si un espacio está correctamente iluminado. (Ver figura 14)



**Figura 14** Luxómetro KETHVOZ

**Fuente:** Inca, 2023

### 1.16 Diagrama de flujo de la metodología.

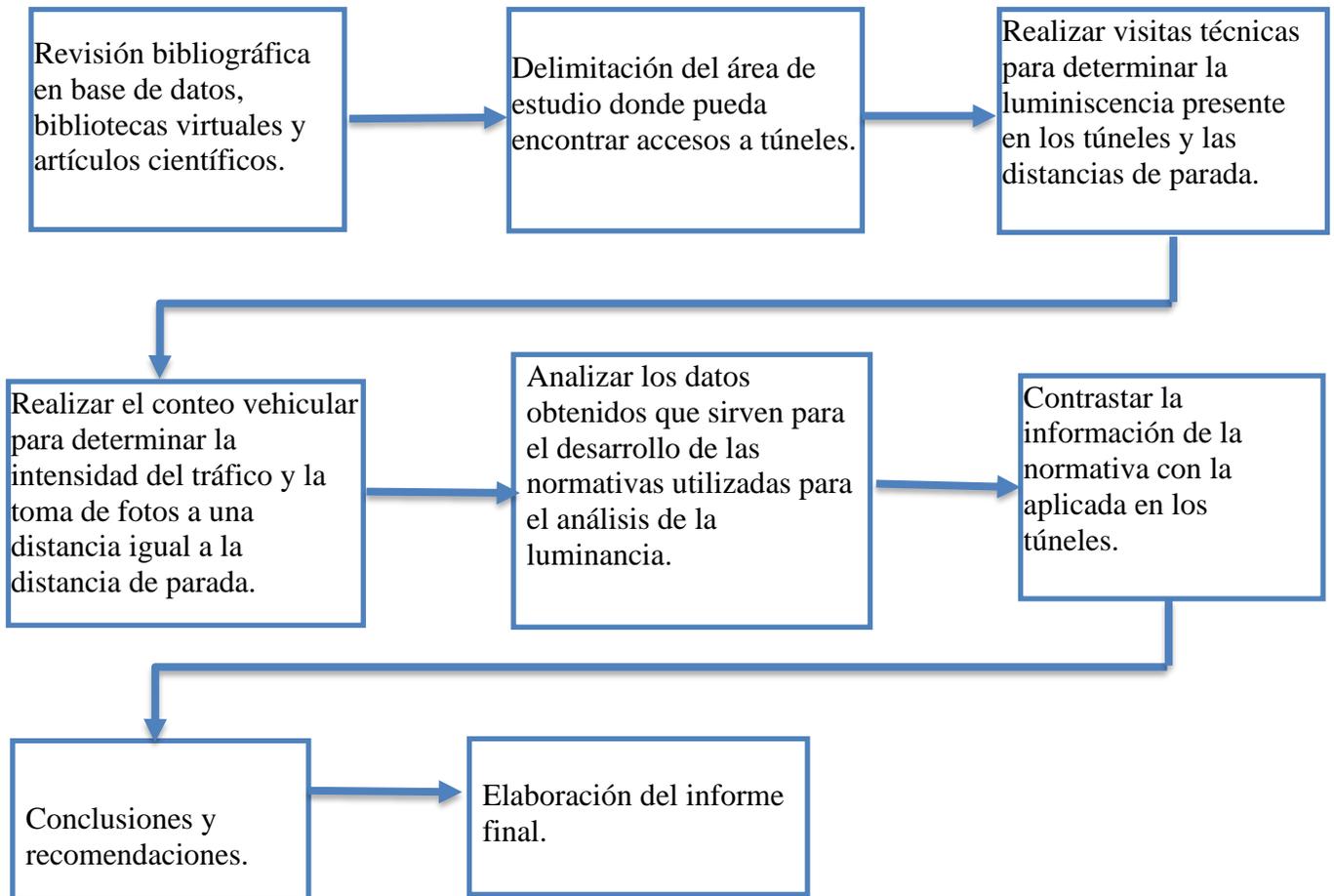


Figura 15 Diagrama de la metodología

Fuente: Inca, 2023

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.17 Resultados

#### 1.17.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1.1. Alumbrado para túneles con norma de España y Colombia.

Tanto la normativa colombiana como la española siguen los lineamientos de alumbrado y diseño de túneles según la norma International Commission on Illumination, 2004, con estas indicaciones los resultados obtenidos para la iluminación en la zona del umbral (Lth) es la siguiente:

**Tabla 12.** Resumen de la luminancia con normativa española y colombiana

	<b>Chahuarpata</b>	<b>Agoyán</b>	<b>Río blanco</b>	<b>San Jorge</b>	<b>Río verde</b>	<b>Cadenillas</b>	<b>Churosinguna</b>
<b>Sentido</b>	Este - Oeste	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este
<b>Pendiente (%)</b>	11.009%	-17.670%	-3.085%	6.802%	-3.339%	5.162%	-0.233%
<b>Distancia de parada (m)</b>	73.136	128.432	87.485	76.376	87.866	77.831	83.613
<b>Intensidad del tráfico (vehículo/hora*carril)</b>	Baja	Baja	Media	Media	Media	Media	Media
<b>Composición del tráfico</b>	M	M	M	M	M	M	M
<b>Clase de alumbrado</b>	2	2	3	3	3	3	3
<b>Poder revelador K</b>	0.03325	0.044738	0.046875	0.044094	0.046967	0.044458	0.045903
<b>Porcentaje de cielo (%)</b>	2.95%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

<b>Método L20 (cd/m2)</b>	3000	4500	3000	3000	3000	3000	3000
<b>Lth (cd/m2)</b>	<b>99.8</b>	<b>201.3</b>	<b>140.6</b>	<b>132.3</b>	<b>140.9</b>	<b>133.3</b>	<b>137.7</b>

Fuente: Inca, 2023

#### 4.1.1.2. Alumbrado para túneles con manual de diseño de Perú.

Para el manual de carreteras de Perú, los resultados de iluminación en la zona del umbral (Lth) según sus criterios de ponderación para el diseño y aplicación del método de luminancia media L20 fueron:

**Tabla 13.** Resumen de la luminancia con el manual de diseño de Perú

	<b>Chahuarpata</b>	<b>Agoyán</b>	<b>Río blanco</b>	<b>San Jorge</b>	<b>Río verde</b>	<b>Cadenillas</b>	<b>Churosinguna</b>
<b>Sentido</b>	Este - Oeste	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este	Oeste - Este
<b>Intensidad del tráfico (vehículo/hora*carril)</b>	3	3	4	4	4	4	4
<b>Composición del tráfico</b>	2	2	2	2	0	0	1
<b>Guiado visual</b>	2	2	2	2	2	2	2
<b>Comodidad en la conducción</b>	2	2	2	2	4	4	4
<b>Clase de alumbrado</b>	4	4	5	5	5	5	5
<b>Poder revelador K</b>	0.033284	0.0514	0.045307	0.041141	0.04545	0.041686	0.043855
<b>Método L20 (cd/m2)</b>	3000	4500	3000	3000	3000	3000	3000
<b>Lth (cd/m2)</b>	<b>99.8</b>	<b>231.3</b>	<b>135.9</b>	<b>123.42</b>	<b>136.3</b>	<b>125</b>	<b>131.5</b>

Fuente: Inca, 2023

4.1.1.3. *Luminancias presentes actualmente en los umbrales de los túneles del corredor E-30*

Los valores medidos con el luxómetro están en unidades de lux por lo que se transformó a candelas sobre metro cuadrado, para una mejor interpretación de los datos.

**Tabla 14.** Luminancia presente en los túneles del corredor E-30

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tramo 1 (20 m)</b>	<b>Tramo 2 (40 m)</b>	<b>Tramo 3 (60 m)</b>
01	Chahuarpata	692	585	505
02	Agoyán	821	718	643
03	Río Blanco	475	410	324
04	San Jorge	791	472	64.3
05	Río Verde	660	514	43.4
06	Cadenillas	716	526	46.5
07	Churosinguna	625	528	293.3

Fuente: Inca, 2023

### 1.17.2 Evaluación de resultados de luminancia

#### Luminancia del umbral Lth del túnel Chahuarpata.

**Tabla 15.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Chahuarpata

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	99.8	99.8	99.8	692	Sí
Tramo 2	40	99.8	99.8	99.8	585	Sí
Tramo 3	60	99.8	99.8	99.8	505	Sí

Fuente: Inca, 2023

#### Luminancia del umbral Lth del túnel Agoyán.

**Tabla 16.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Agoyán

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	201.3	201.3	231.3	821	Sí
Tramo 2	40	201.3	201.3	231.3	718	Sí
Tramo 3	60	201.3	201.3	231.3	643	Sí

Fuente: Inca, 2023

**Luminancia del umbral Lth del túnel Río blanco.**

**Tabla 17.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Río blanco

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	140.6	140.6.	135.9	475	Sí
Tramo 2	40	140.6	140.6.	135.9	410	Sí
Tramo 3	60	140.6	140.6.	135.9	324	Sí

Fuente: Inca, 2023

**Luminancia del umbral Lth del túnel San Jorge.**

**Tabla 18.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel San Jorge

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	132.3	132.3	123.4	791	Sí
Tramo 2	40	132.3	132.3	123.4	472	Sí
Tramo 3	60	132.3	132.3	123.4	64.3	No

Fuente: Inca, 2023

### Luminancia del umbral Lth del túnel Río verde.

**Tabla 19.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Río verde

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	140.9	140.9	136.3	660	Sí
Tramo 2	40	140.9	140.9	136.3	514	Sí
Tramo 3	60	140.9	140.9	136.3	43.4	No

Fuente: Inca, 2023

### Luminancia del umbral Lth del túnel Cadenillas.

**Tabla 20.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Cadenillas

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Luminancia media (España)</b>	<b>Luminancia media (Colombia)</b>	<b>Luminancia media (Perú)</b>	<b>Luminancia actual cd/m2</b>	<b>Cumple Sí / No</b>
Tramo 1	20	133.3	133.3	125	716	Sí
Tramo 2	40	133.3	133.3	125	526	Sí
Tramo 3	60	133.3	133.3	125	46.5	No

Fuente: Inca, 2023

## Luminancia del umbral Lth del túnel Churosinguna.

**Tabla 21.** Resumen de los índices de luminancia en el túnel Churosinguna

Tramo	Longitud (m)	Luminancia media (España)	Luminancia media (Colombia)	Luminancia media (Perú)	Luminancia actual cd/m2	Cumple Sí / No
Tramo 1	20	137.7	137.7	131.5	625	Sí
Tramo 2	40	137.7	137.7	131.5	528	Sí
Tramo 3	60	137.7	137.7	131.5	293.3	Sí

Fuente: Inca, 2023

### 1.17.3 Evaluación de resultados de la distancia de visibilidad.

#### Distancia de visibilidad de parada en los túneles del corredor E-30.

En el caso particular de los túneles del corredor E-30, se ha implementado una mayor distancia de visibilidad de parada para brindar mayor seguridad y confort en los accesos. Sin embargo, es fundamental que los conductores también tengan una buena percepción de la velocidad, información y la distancia en el interior del túnel para garantizar una mayor seguridad en todo momento.

**Tabla 22.** Distancia de visibilidad de parada de los túneles del corredor E-30

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Distancia de parada (m)</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Seguridad</b>
01	Chahuarpata	73.136	Alta	Media
02	Agoyán	128.432	Alta	Media
03	Río Blanco	87.485	Alta	Media
04	San Jorge	76.376	Alta	Media
05	Río Verde	87.866	Alta	Media
06	Cadenillas	77.831	Alta	Media
07	Churosinguna	83.613	Alta	Media

Fuente: Inca, 2023

#### 1.17.4 Evaluación de resultados de la presencia del efecto agujero negro.

En todos los siete túneles del corredor E-30 se verifica la presencia del efecto agujero negro en las bocas de entra, esta evidencia aclara que el efecto no es producido por la falta de luz.

**Tabla 23.** Presencia de agujeros negros en túneles

Túnel	Presencia de Agujero Negro
Chahuarpata	Sí
Agoyán	Sí
Río blanco	Sí
San Jorge	Sí
Río verde	Sí
Cadenillas	Sí
Churosinguna	Sí

Fuente: Inca, 2023

#### 1.18 Discusión.

Es importante abordar algunos aspectos fundamentales respecto a la luminancia y la distancia de visibilidad de parada en la zona del umbral, relacionados con este tema de investigación.

Los valores obtenidos por el luxómetro dentro del túnel son mayores comparados a los de otras investigaciones como por ejemplo la de (Villagómez Daniel, 2018) el cual se encuentra con luminancias defectuosas, apagadas o deterioradas, por tanto, no llegan a los valores medios de luminancia calculados por el método L20 que sugiere la norma CIE 88:2004.

La distancia de visibilidad en los túneles del corredor E-30 es óptima en términos de seguridad, debido a que los niveles de luminancia son altos, lo que permite una mayor visibilidad de los obstáculos o peligros presentes en el túnel, lo que a su vez permite a los usuarios reaccionar con anticipación. En cuanto a la eficiencia, los niveles de confort son aceptables, pero pueden mejorarse aún más mediante la implementación de iluminación de seguridad y evacuación, tal como se propone en esta investigación.

Es necesario destacar que la seguridad en los túneles del corredor E-30 podría mejorarse aún más mediante la implementación de medidas adicionales, como señalización clara y efectiva dentro del túnel para informar a los conductores sobre la velocidad permitida y otros aspectos relevantes.

La clara evidencia de la no presencia de luminarias de seguridad y evacuación durante el trayecto dentro del túnel son primordiales para salvaguardar vidas y deben ser colocadas de manera urgente junto con las señaléticas complementarias como: la proximidad a un túnel, circular con las luces bajas y prohibido rebasar en el caso de los túneles bidireccionales.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

### 1.19 Conclusiones.

Los túneles Chahuarpata, Agoyán, Río Blanco y Churosinguna han demostrado una adecuada visibilidad en todos sus tramos de zona de umbral, gracias a que sus niveles de luminancia son superiores a los valores calculados. En cambio, los túneles San Jorge, Río Verde y Cadenillas presentan una luminancia adecuada en los primeros dos tramos, pero en el último tramo los valores obtenidos son inferiores a los calculados. No obstante, se puede afirmar que los resultados obtenidos cumplen con los niveles de comodidad requeridos por los usuarios

La distancia de visibilidad de parada en los túneles es un aspecto clave que afecta tanto la eficiencia como la seguridad en la carretera. La implementación de medidas adicionales, como la señalización adecuada y una buena percepción de la velocidad y la distancia, puede mejorar significativamente la seguridad en los túneles y garantizar un tránsito seguro y eficiente para los conductores.

Durante la evaluación de la presencia del efecto agujero negro en los accesos, se observó que todos los túneles evaluados presentaron este efecto. Sin embargo, no se debió a una disminución de la luminosidad, ya que los valores medidos por el luxómetro mostraron niveles superiores a los valores medios recomendados de las normativas. Por lo tanto, se puede concluir que el efecto agujero negro en los túneles analizados no se debe a causas relacionadas con la falta de luz, sino que pueden estar relacionados con otros factores, como la geometría del túnel, la falta de superficies reflectantes o de colores claros en las paredes del túnel.

Se deben tomar medidas urgentes en la colocación de la iluminación de seguridad y de evacuación ya que ninguno los tiene instalados. La iluminación de seguridad se debe colocar a lo largo de toda la longitud del túnel, con una separación máxima de 50 metros y un nivel mínimo de luminancia de 10 lux. Por otro lado, la iluminación de evacuación debe ubicarse a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo y con un nivel mínimo de luminancia de 2 lux. La aplicación adecuada de estas luminarias garantiza una iluminación efectiva en situaciones críticas y facilita la visibilidad de los usuarios en el proceso de evacuación.

## 1.20 Recomendaciones.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones específicas para la evaluación de la luminancia en los túneles:

- Realizar las mediciones en diferentes momentos del día y en diferentes condiciones climáticas para obtener una imagen más completa de la variación de la luminancia en el túnel.
- Para evitar el efecto agujero negro en la entrada del túnel, existen diversas estrategias y soluciones que se pueden implementar. Una de ellas es utilizar un recubrimiento de colores claros en la entrada del túnel, lo cual permite reflejar más luz hacia el interior del túnel y reducir la sensación de oscuridad en la entrada. Además, se puede considerar la construcción de portales previos al túnel, los cuales permiten un cambio gradual de la luz exterior a la interior del túnel, reduciendo así la sensación de agujero negro en la entrada.
- Para garantizar la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos en la evaluación de la luminancia en los túneles, se recomienda aplicar varios métodos de medición. Además de los métodos utilizados inicialmente, se pueden aplicar otros métodos de medición de luminancia, como el método de luminancia de velo utilizado en Holanda o el método de espacio y adaptación utilizado en Francia. La aplicación de diferentes métodos de medición ayuda a contrastar la información obtenida y permite obtener resultados más precisos y confiables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cal y Mayor Reyes Spíndola, Rafael., & Cárdenas Grisales, James. (2007). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones* (8va ed.). México distrito federal - México: Alfaomega.
- Carvajal Diego. (2017). *Evaluación de iluminación en la fase de operación de túneles basándose en la normativa técnica de carreteras de España “orden circular 36/2015” en la ciudad de Quito*. Quito - Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Retrieved from <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2970217>
- Comité europeo de normalización, & UNE - CR 14380. (2007). *Aplicación de iluminación y alumbrado de túneles* (AENOR, pp. 1–62). Madrid - España.
- Dirección general de industria energía y minas de la comunidad de Madrid. (2015). *Guía de iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas* (pp. 1–344). Madrid - España. Retrieved from [www.madrid.org](http://www.madrid.org)
- Emilio Izquierdo Raigán. (2013, September 26). *Diseño de una instalación eficiente de iluminación en un túnel*. Sevilla - España: Escuela superior de Ingenieros de Sevilla.
- Instituto Nacional de Vías. (2021). *Manual para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de túneles de carretera para Colombia* (2021st ed., pp. 1–456). Bogotá - Colombia.
- International Commission on Illumination. (2004). *Guide for the lighting of road tunnels and underpasses*. Viena - Austria: Commission internationale de l'éclairage.
- Ministerio de minas y energía de Colombia. (2010). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público* (pp. 1–227). Bogotá - Colombia.
- Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 - Volumen 5 MTOP*. Quito - Ecuador.
- Ministerio de transportes y comunicaciones de Perú. (2016). *Manual de carreteras: túneles, muros y obras complementarias*. (2016th ed., pp. 1–443). Lima - Perú. Retrieved from [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)
- NEVI 12. (2013). *Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador subsecretaría de infraestructura del transporte volumen N°2 - libro B norma para estudios y diseño vial*. (pp. 1–644). Quito - Ecuador.

Secretaría de comunicaciones y transportes. (2016). Manual de diseño y construcción de túneles de carretera. Capítulo 15 Iluminación. (pp. 1–32). México distrito federal - México.

Secretaría de estado de infraestructuras, transporte y vivienda. (2015). *Orden circular 36-2015 España*. Madrid - España.

Soto Pedro. (2004). *Construcción de túneles*. Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.

Villagómez Daniel. (2018, January). *Evaluación de iluminación en los túneles: Cerro Santa Ana, El Carmen, San Eduardo de la ciudad de Guayaquil, basándose en la Normativa Técnica de Carreteras de España “Orden Circular 36/2015”*. Quito - Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Retrieved from <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2970292>

## ANEXO

Anexo 1. Ficha Técnica del método con normativa española y colombiana.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**FICHA TÉCNICA DE LOS TUNELES DE LA VIA E-30**

Código	Nombre	Cota entrada (m.s.n.m)	Cota salida (m.s.n.m)	Carril	Sentido	Velocidad de diseño (Km/h)	Intensidad v/h*c	Longitud (m)	Altura de la boca del túnel	Ancho boca del túnel
01	Chahuarpata	1608	1656	Unidireccional	Este - Oeste	60	280	436	5.50	5
02	Agoyán	1652	1611	Unidireccional	Oeste - Este	60	241	232	4.80	5
03	Río Blanco	1617	1646	Bidireccional	Oeste - Este	60	257	940	4.30	9
04	San Jorge	1558	1578	Bidireccional	Oeste - Este	60	257	294	6.05	9.10
05	Río Verde	1558	1541	Bidireccional	Oeste - Este	60	257	509	6.10	9.17
06	Cadenillas	1526	1561	Bidireccional	Oeste - Este	60	257	678	6.30	9.10
07	Churosinguna	1542	1540	Bidireccional	Oeste - Este	60	257	858	6.20	9.10

Anexo 2. Ficha Técnica del manual de diseño de túneles y carreteras de Perú.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**FICHA TÉCNICA DE LOS TUNELES DE LA VIA E-30**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Intensidad tráfico</b>	<b>Carril</b>	<b>Tráfico</b>	<b>Guiado visual</b>	<b>comodidad en la conducción</b>	<b>Señalética antes del Túnel</b>	<b>Señalética de emergencia</b>	<b>Señalética de evacuación</b>
01	Chahuarpata	280	Unidireccional	Mixto	Pobre	Media	Sí	No	No
02	Agoyán	280	Unidireccional	Mixto	Pobre	Media	Sí	No	No
03	Río Blanco	257	Bidireccional	Mixto	Pobre	Media	Sí	No	No
04	San Jorge	257	Bidireccional	Mixto	Pobre	Media	Sí	No	No
05	Río Verde	257	Bidireccional	Motorizado	Pobre	Elevada	Sí	No	No
06	Cadenillas	257	Bidireccional	Motorizado	Pobre	Elevada	Sí	No	No
07	Churosinguna	257	Bidireccional	>15% de camiones	Pobre	Elevada	Sí	No	No

### Anexo 3. Medidas con el Luxómetro

#### Túnel Chahuarpata



#### Túnel Agoyán



Túnel Río blanco



Túnel San Jorge



Túnel Río verde



Túnel Cadenillas



## Túnel Churosinguna



## Anexo 4. Mediciones dentro del túnel Agoyán

