



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA:

EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN EN LA FASE DE OPERACIÓN DE TUNELES  
BASANDOSE EN LA NORMATIVA TECNICA DE CARRETERAS DE ESPAÑA  
"ORDEN CIRCULAR 36/2015" EN LA CIUDAD DE QUITO

DISERTACIÓN DE GRADO DE:

DIEGO CARVAJAL

QUITO, 2017

## **DEDICATORIA**

Agradezco a mi padres Mauricio Carvajal y Sonia Soria quienes son mi soporte para lograr todas mis metas propuestas, a mi hermano Xavier Carvajal y toda mi familia.

A mis compañeros y profesores con los cuales compartí a lo largo de toda la Carrera.

## **RECONOCIMIENTO**

A Dios

A mi familia por todo su apoyo

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por ser la guía para culminar mi Carrera, en especial a mi tutor y correctores

A la EPMMOP-GOM por la colaboración prestada para la obtención de los TPDA en la ciudad de Quito.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	5
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>CAPITULO 1</b> .....	9
<b>Descripción general del proyecto</b> .....	9
<b>1.1 Planteamiento del problema</b> .....	10
<b>1.2 Justificación</b> .....	10
<b>1.3 Objetivos</b> .....	11
<b>1.4 Alcance</b> .....	12
<b>CAPITULO 2</b> .....	15
<b>Marco teórico, conceptual y metodología</b> .....	15
<b>2.1 Marco Teórico</b> .....	16
<b>2.2 Marco Conceptual</b> .....	26
<b>2.3 Metodología</b> .....	29
<b>CAPITULO 3</b> .....	30
<b>Procesamiento de la Información</b> .....	30
<b>3.1 Resultados obtenidos en campo</b> .....	31
<b>3.1.1 Intensidad de tráfico</b> .....	31
<b>3.1.2 Pendiente</b> .....	33
<b>3.1.3 Distancia de parada (Dp)</b> .....	34
<b>3.1.4 Porcentaje (%) de cielo en el campo de visión</b> .....	35

<b>Cálculo porcentaje de cielo.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Procesamiento de resultados .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.1 Paso inferior Condado.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.3 Túnel de San Juan .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.4 Túnel Guayasamín .....</b>	<b>52</b>
<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>55</b>
<b>Evaluación de la información.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Análisis de resultados.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Evaluación de los resultados bajo la Orden Circular 36/2015 (España).....</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta</b> .....	16
<b>Table 2 Clases de alumbrado de túneles</b> .....	17
<b>Table 3 Valores recomendados de K para diferentes valores de Dp y clases de túnel.</b> .....	19
<b>Table 4 Valores habituales de luminancia media L20 en la zona de acceso.</b> .....	21
<b>Table 5 Luminancia media de la superficie de la calzada de la zona interior</b> .....	23
<b>Table 6 Luminancia media de la superficie de la calzada de la zona interior</b> .....	23
<b>Table 7 Hora punta IH100.</b> .....	33
<b>Table 8 Inclinación de la rasante. Fuente: Elaboración propia</b> .....	33
<b>Table 9 Distancia de parada.</b> .....	34
<b>Table 10 Porcentaje (%) de cielo en el campo de visión.</b> .....	40
<b>Table 11 Longitud y niveles de luminancia – Paso inferior Condado – Ent. Occidental. Fuente:</b> Elaboración propia .....	44
<b>Table 12 Longitud y niveles de luminancia – Paso inferior Condado – Ent. Oriental. Fuente:</b> Elaboración propia .....	44
<b>Table 13 Longitud y niveles de luminancia – Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Sur. Fuente:</b> Elaboración propia .....	48
<b>Table 14 Longitud y niveles de luminancia – Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Norte Fuente:</b> Elaboración propia .....	48
<b>Table 15 Longitud y niveles de luminancia –Túnel de San Juan.</b> .....	51
<b>Table 16 Longitud y niveles de luminancia –Túnel Guayasamín.</b> .....	54
<b>Table 17 Resumen de resultados.</b> .....	56
<b>Table 18 Evaluación de luminancia – Paso inferior Condado – Entrada Occidental. Fuente:</b> Elaboración propia .....	58

**Table 19 Evaluación de luminancia – Paso inferior Condado – Entrada Oriental. Fuente:**

Elaboración propia .....58

**Table 20 Evaluación de luminancia – Avenida Patria y 12 de octubre - Entrada Sur. Fuente:**

Elaboración propia .....60

**Table 21 Evaluación de luminancia – Avenida Patria y 12 de octubre - Entrada Norte. Fuente:**

Elaboración propia .....60

**Table 22 Evaluación de luminancia –Túnel de San Juan. ....61**

**Table 23 Evaluación de luminancia –Túnel Guayasamín. ....62**

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figure 1 Ubicación Túnel San Juan.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 2 Ubicación Túnel Guayasamín .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 3 Ubicación Paso inferior Condado .....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 4 Ubicación Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre .....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 5 Diagramas típicos del coeficiente de fricción en función de la velocidad para pavimento seco y húmedo.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 6 Vista en perspectiva de la entrada de un túnel con el círculo correspondiente al ángulo de visión de 20°. .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 7 Luminancia de la zona de acceso (L20) para situaciones típicas de túneles. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 8 Zona de transición decreciente. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 9 Cálculo de Luminancia .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 10 Angulo de visión cónico 20° .....</b>	<b>35</b>
<b>Figure 11 Círculo de intersección del cono.....</b>	<b>35</b>
<b>Figure 12 Porcentaje de cielo 1.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 13 Porcentaje de cielo 2.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 14 Porcentaje de cielo – Paso inferior Condado – Entrada Occidental.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 15 Porcentaje de cielo – Paso inferior Condado – Entrada Oriental .....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 16 Porcentaje de cielo – Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre – Entrada Sur .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 17 Porcentaje de cielo – Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre – Entrada Norte .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 18 Porcentaje de cielo – Túnel de San Juan.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 19 Porcentaje de cielo – Túnel Guayasamín.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 20 Paso inferior Condado – Entrada Occidental.....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 21 Paso inferior Condado – Entrada Oriental .....</b>	<b>41</b>

<b>Figure 22 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Sur .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 23 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Norte .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 24 Túnel de San Juan.....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 25 Túnel Guayasamín.....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 26 Iluminación Paso inferior Condado .....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 27 Iluminación interior Paso inferior Condado .....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 28 Iluminación Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre .....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 29 Iluminación interior Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre .....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 30 Iluminación Túnel de San Juan .....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 31 Iluminación Túnel Guayasamín .....</b>	<b>62</b>
<b>Figure 32 Luminarias dañadas Paso inferior condado .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure 34 Falta de luminarias en la Boca de Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Entrada Sur .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure 35 Luminancia interior Túnel de San Juan.....</b>	<b>68</b>
<b>Figure 36 Luminancia interior Túnel Guayasamín .....</b>	<b>68</b>

## **CAPITULO 1**

### **Descripción general del proyecto**

## **1.1 Planteamiento del problema**

La correcta iluminación al interior de un túnel nos ayuda a mantener las condiciones preexistentes que tiene la vía de acceso a este local cerrado evitando que los usuarios se vean afectados por la falta de luz lo cual puede generar accidentes al ingreso del túnel “efecto agujero negro” y en el desarrollo del mismo ya que el uso de los faros propios de los autos no es suficiente en muchos casos, por lo tanto se busca realizar una evaluación con ayuda de normas internacionales que nos ayude a prevenir la generación de accidentes en este tipo de construcciones.

## **1.2 Justificación**

Debido a que en Ecuador no existe una norma establecida en la (NEC, 2014) sobre luminaria en túneles existe la posibilidad que no se cumplan ciertos criterios de diseño que son importantes para evitar percances en la fase de operación de los túneles ayudando al correcto desempeño de la actividad humana cuando usan los mismos ya que se debe tener en cuenta que un accidente al interior de un túnel es más perjudicial que uno a cielo abierto.

Una correcta iluminación al interior del túnel ayuda al conductor a identificar objetos u obstáculos con anticipación y así evitar cualquier tipo de incidente. A diferencia de las carreteras los túneles tienen la necesidad de una mayor iluminación durante el día cuando se tiene luz natural que en la noche ya que se tiene como dato que la luz natural entra al túnel como máximo 3 veces la altura o el ancho del mismo.

El costo de iluminar el interior de un túnel puede ser muy alto ya que la luz natural puede llegar a 100.000 lux generando el efecto de agujero negro para lo cual se deben colocar

a la entrada del túnel más luminarias que en muchos de los casos pasan encendidas durante todo el año conociendo que sería la mitad de la vida útil de las lámparas de sodio.

Se pretende realizar una evaluación sobre las luminarias basado en la Orden Circular 36/2015 (España) en los túneles que se encuentran operando en la ciudad de Quito.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo General**

Evaluar la iluminación existente en los túneles de Quito para verificar si cumplen con la Orden Circular 36/2015 (España)

#### **Objetivos específicos**

- Determinar los niveles de luminancia en los diferentes tramos del túnel para verificar si cumplen con la Norma.
- Determinar si los túneles cuentan con un control de luminancia.
- Determinar si los túneles cumplen con las diferentes zonas de transición decreciente.

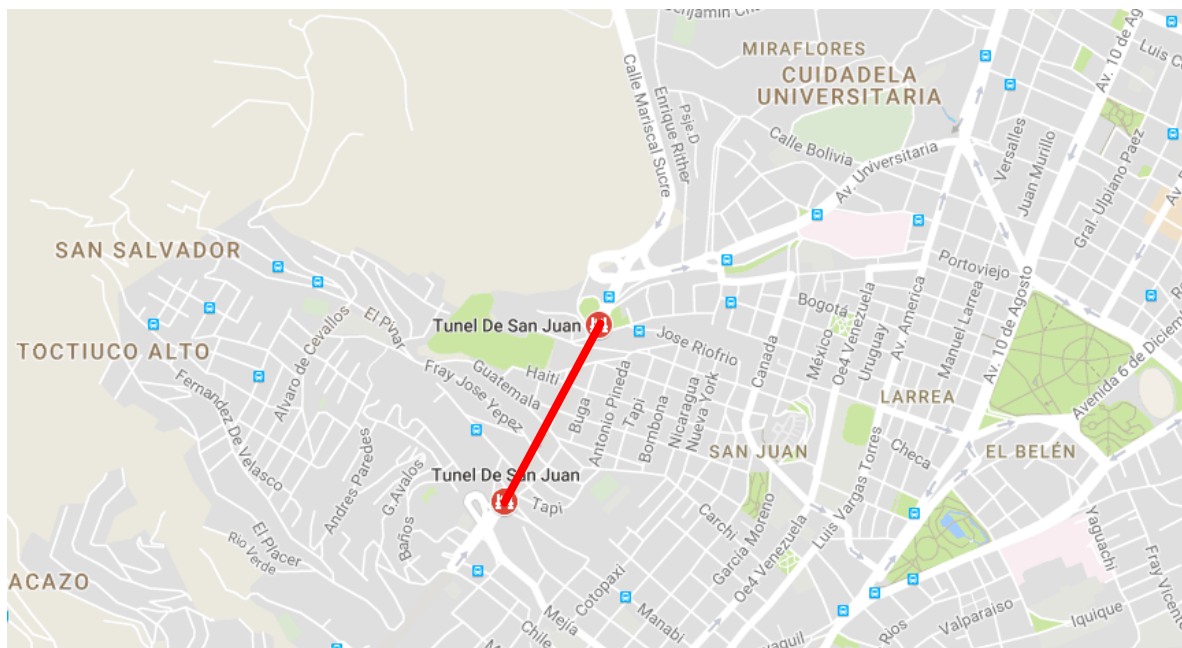
## 1.4 Alcance

Mediante esta investigación se pretende evaluar la iluminación de varios túneles que se encuentran operando en la ciudad de Quito para ver si cumplen con la Orden Circular 36/2015 (España) ya que no existe una norma vigente en nuestro país que regule la correcta iluminación al interior de los túneles y pasos inferiores.

Los túneles y pasos inferiores a ser evaluados en la ciudad de Quito son:

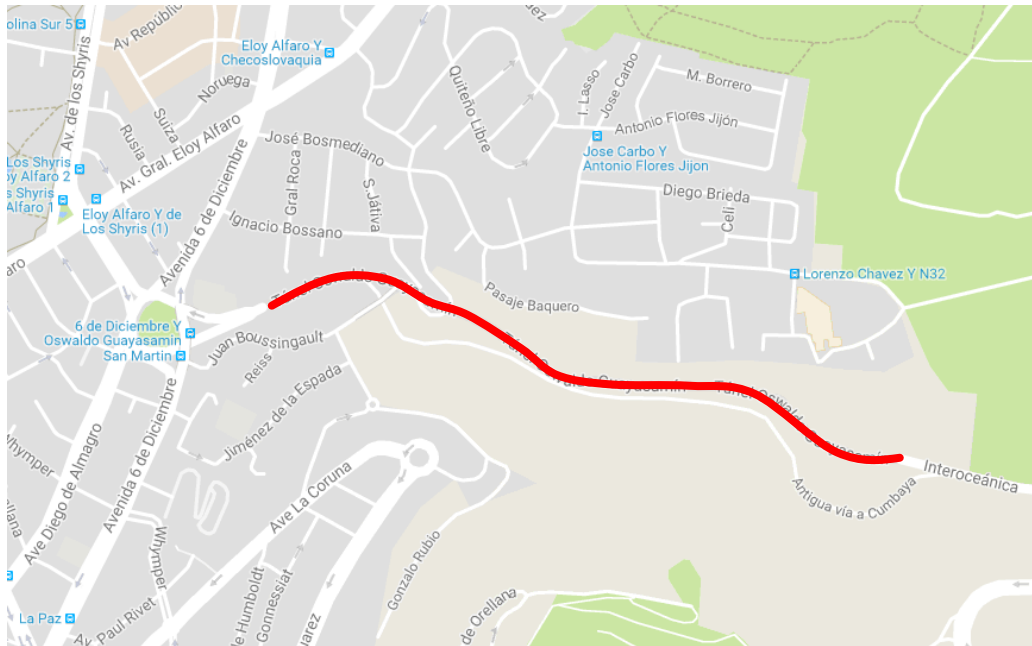
	Longitud (m)
<b>Túnel de San Juan</b>	700.0
<b>Túnel Guayasamín</b>	1304.0
<b>Paso inferior Condado</b>	170.0
<b>Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre</b>	100.0

- **Túnel de San Juan**



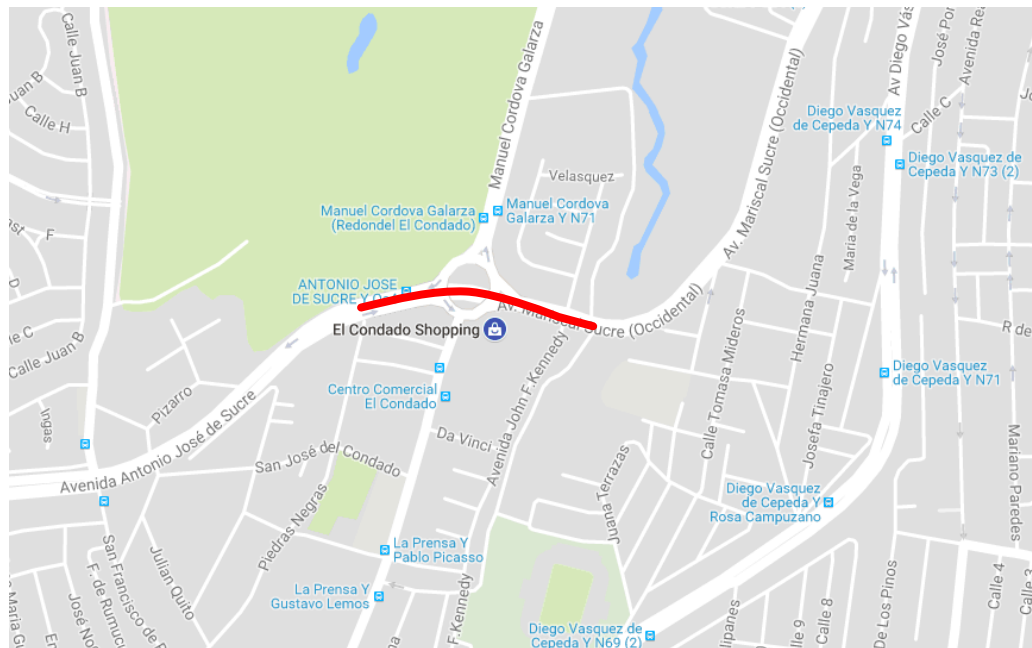
**Figure 1 Ubicación Túnel San Juan**

- **Túnel Guayasamín**



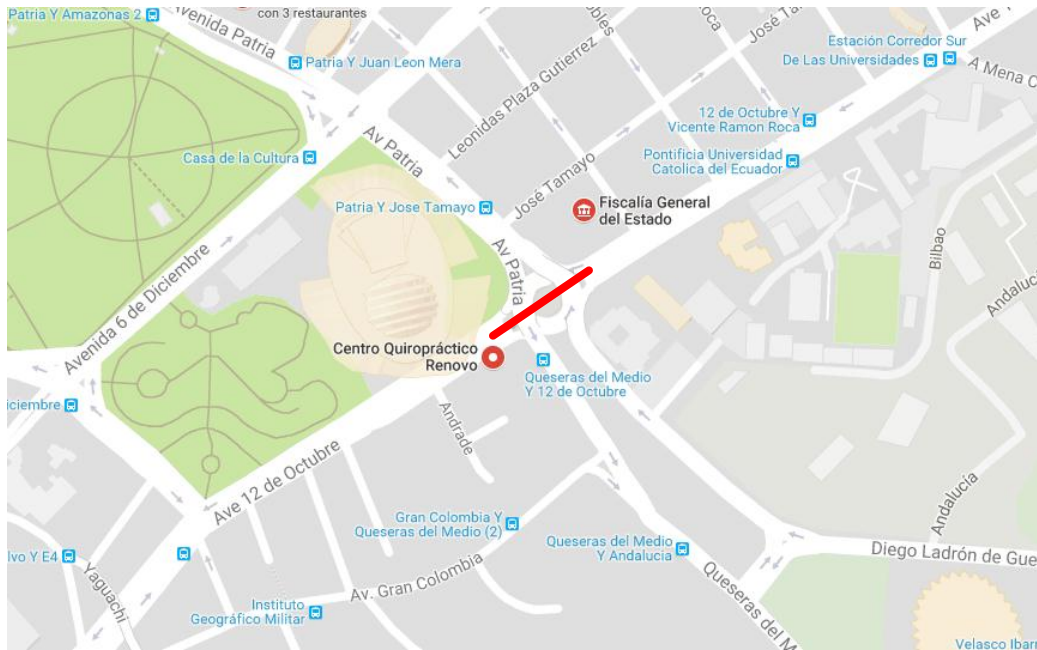
**Figure 2 Ubicación Túnel Guayasamín**

- **Paso inferior Condado**



**Figure 3 Ubicación Paso inferior Condado**

- Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre



**Figure 4 Ubicación Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre**

## **CAPITULO 2**

### **Marco teórico, conceptual y metodología**

## 2.1 Marco Teórico

### Clasificación de túneles

La clasificación se va a realizar de acuerdo las características físicas y de uso:

- Intensidad de tráfico.
- Tipo y composición del tráfico.

Existen 3 niveles de intensidad y la hora punta es la IH100.

Para obtener la IH100 se debe tomar en cuenta el tráfico que se registra en la hora 100 cuando se ordena decrecientemente las intensidades tomadas en las 8760 horas del año.

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

**Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

- **A:** Solo tráfico motorizado.
- **M:** Tráfico mixto incluyendo bicicletas.

Intensidad de tráfico	Alta		Media		Baja	
Tipo de tráfico	M	A	M	A	M	A
Clase de túnel	4	3	3	2	2	1 (guiado)

**Table 2 Clases de alumbrado de túneles**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

### **Determinación de la distancia de parada**

Se calcula mediante la siguiente fórmula tomando en cuenta los valores de velocidad, pendiente de la rasante y coeficiente de fricción pavimento-neumático, se toma los valores de parada en pavimento húmedo en las zonas de umbral y los valores de pavimento seco para el resto.

$$D_p = u * t_0 + \frac{u^2}{2 * g * (f \pm s)}$$

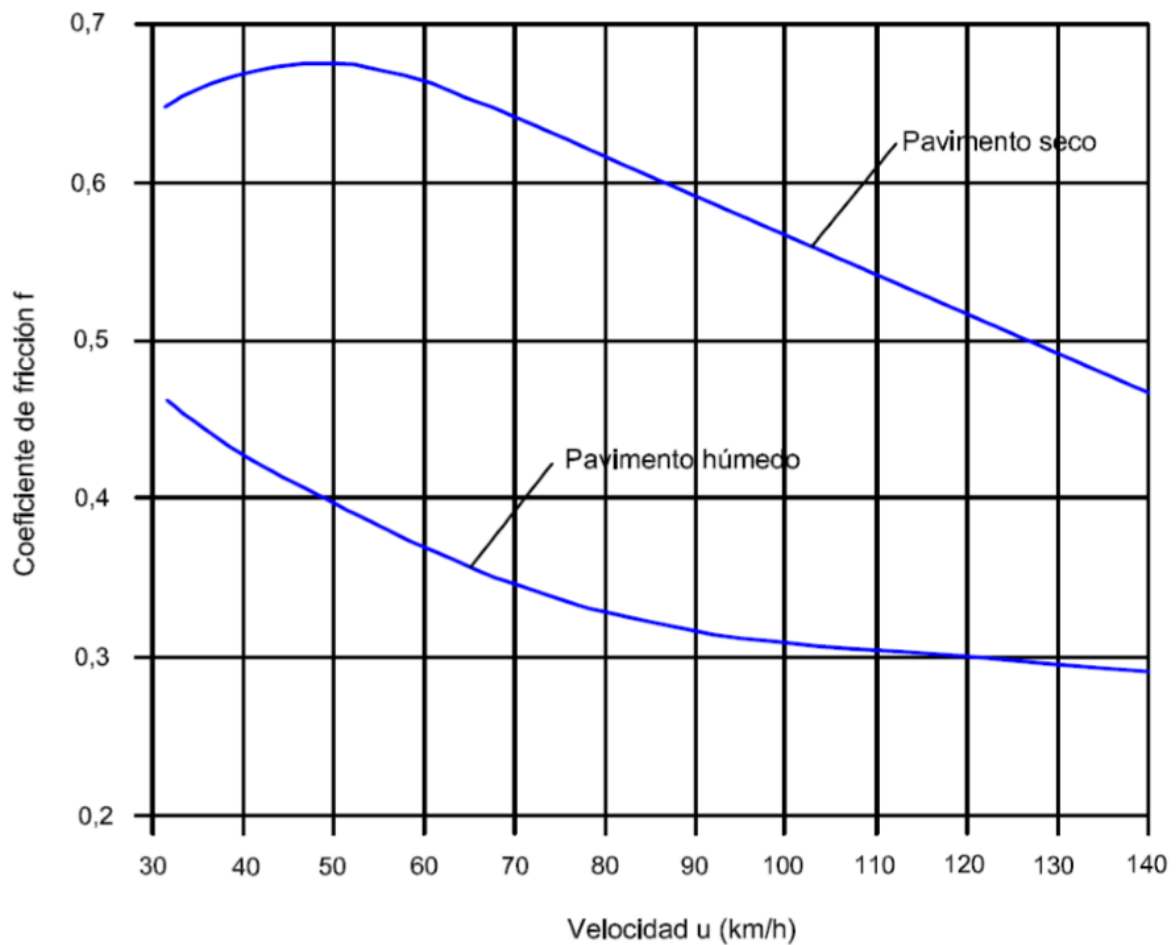
u = Velocidad de diseño (m/s)

t<sub>0</sub> = Tiempo de reacción (seg)

g = Gravedad

f = Coeficiente de fricción

s = Pendiente de la rasante



**Figure 5 Diagramas típicos del coeficiente de fricción en función de la velocidad para pavimento seco y húmedo.**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

Los factores más importantes al momento de realizar el diseño de la iluminación son la intensidad y la velocidad ya que si estos son altos la distancia de parada aumenta y se tiene más probabilidad de tener un accidente al interior del túnel por lo cual se debe aumentar el nivel de iluminación.

## Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$

El coeficiente  $K$  es el poder revelador y se obtiene de la siguiente relación:

$$k = \frac{L_{th}}{L_{20}}$$

Clase de túnel	Distancia de parada $D_p^*$ (m)		
	$\leq 60$	100	$\geq 160$
4	0,05	0,06	0,1
3	0,04	0,05	0,07
2	0,03	0,04	0,05
1	No hay requisitos (solamente orientación del alumbrado)		

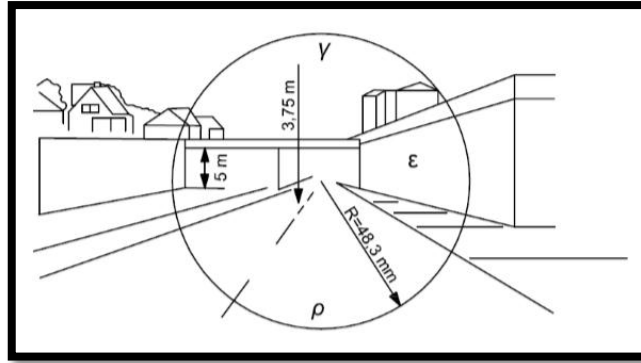
**Table 3 Valores recomendados de  $K$  para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel.**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

## Determinación de la luminancia de la zona de acceso $L_{20}$

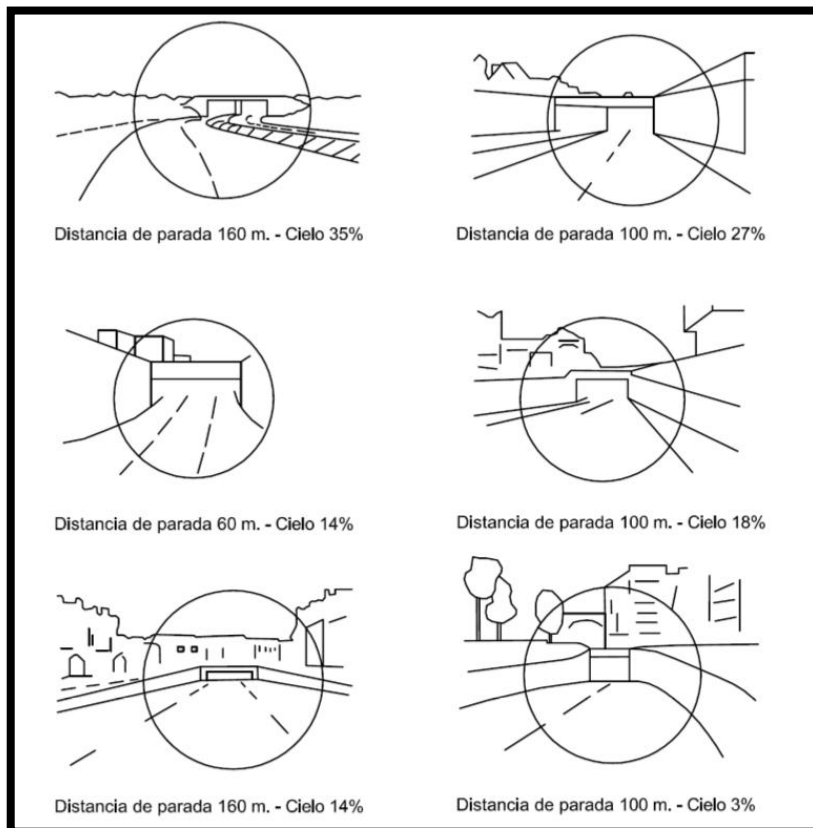
Se usa un método aproximado basado en estudios empíricos realizados por la Norma CIE88:2004

Desde el punto de referencia se debe realizar una fotografía de la entrada del túnel orientada en el eje de la línea de visión hacia un punto central ubicado a una altura referente a la cuarta parte de la boca del túnel.



**Figure 6** Vista en perspectiva de la entrada de un túnel con el círculo correspondiente al ángulo de visión de 20°.

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)



**Figure 7** Luminancia de la zona de acceso ( $L_{20}$ ) para situaciones típicas de túneles.

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

Para la determinación del de la luminancia en la zona de acceso  $L_{20}$  se debe tener en cuenta el porcentaje de cielo (%) en el campo de visión cónico de  $20^\circ$  y la Distancia de Parada para poder obtener el dato de la Tabla 5.

Con los parámetros evaluados se concluirá si los túneles que se encuentran operando en la ciudad de Quito cumplen con los niveles de luminancia recomendados en la Orden Circular 36/2015 (España).

Luminancia media $L_{20}$ en el campo de visión cónico de $20^\circ$ , en $cd/m^2$ .																
	Porcentaje de cielo en el campo de visión cónico de $20^\circ$															
	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)

**Table 4 Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso.**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

## Determinación de la longitud y niveles de luminancia en la zona de transición

La zona de transición continua después de la zona de umbral, para avanzar de un nivel a otro dentro de la zona de transición se tiene permitido una relación máxima de 3:1 mientras que al pasar de la zona de transición hacia la zona interior se permite una relación máxima de 1,5:1.

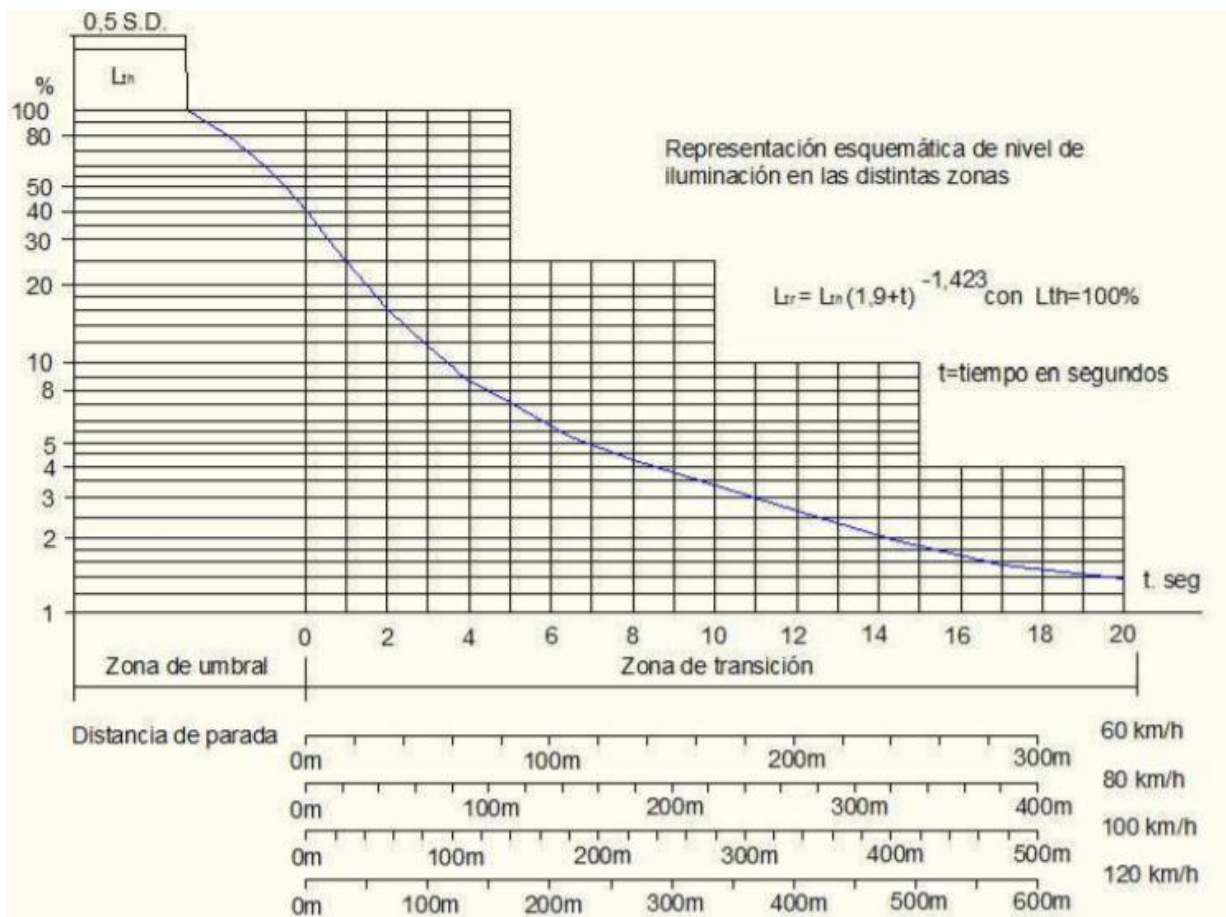


Figure 8 Zona de transición decreciente.

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2015)

## **Iluminación zona interior**

Después de la zona de transición se encuentra la zona interior la cual por lo general es la zona más larga del túnel y su iluminación viene dada por la siguiente tabla:

Clase de túnel	Distancia de parada $D_P^*$ (m)		
	$\leq 60$	100	$\geq 160$
4	3	6	10
3	2	4	6
2	1,5	2	4
1	**	0,5	1,5

**Table 5 Luminancia media de la superficie de la calzada de la zona interior**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

## **Iluminación zona de salida**

La zona de salida se encuentra al final de túnel y su iluminación es igual a la zona interior del túnel salvo en algunas excepciones donde se tienen obstáculos después de salir.

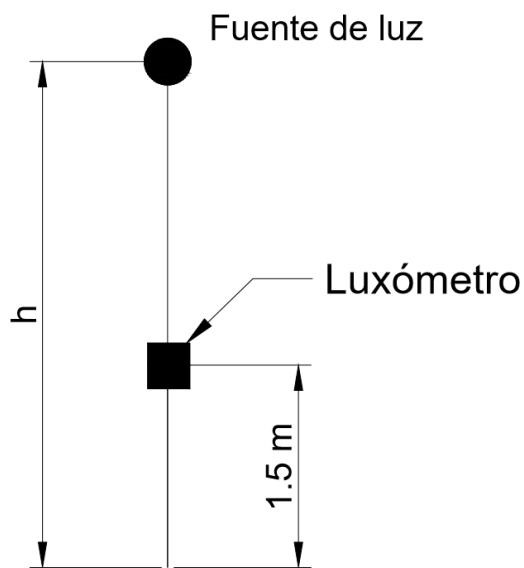
Clase de túnel	Distancia de parada $D_P^*$ (m)		
	$\leq 60$	100	$\geq 160$
4	3	6	10
3	2	4	6
2	1,5	2	4
1	**	0,5	1,5

**Table 6 Luminancia media de la superficie de la calzada de la zona interior**

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2015)

## Cálculo de luminancia

Para el cálculo de luminancia ( $\frac{cd}{m^2}$ ) en los diferentes tramos del túnel se debe medir los valores de iluminancia (Lux) con ayuda de un luxómetro ubicado a 1.5 metros sobre el plano de incidencia.



**Figure 9 Cálculo de Luminancia**

**Fuente:** Elaboración propia

Los valores de luminancia son calculados con la siguiente formula:

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

$$\text{Distancia} = h - 1.5 \text{ metros}$$

## **Control de luminancia en túneles**

El control de luminancia al interior del túnel debe ser constante y depende de la situación climatológica externa en la zona de acceso la cual controla el porcentaje de luminancia en la zona umbral. (LCA Consultoria de infraestructuras, 2012)

Para su control existen dos opciones:

- Colocar un luminancímetro con un campo de visión de 20° en el ingreso a la boca del túnel unidireccional.
- Colocar un luminancímetro con un campo de visión de 20° en cada ingreso a la boca del túnel si es bidireccional.

Mediante este control continuo las luminarias deberían auto regularse mediante un circuito automático con la luz natural externa en todos los tramos al interior del túnel.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **Alumbrado de base o permanente**

“Fracción del alumbrado del túnel que se encuentra en funcionamiento permanentemente.”

(Ministerio de Fomento, 2015)

### **Clase de túnel**

“Clase que se le asigna a un túnel de acuerdo con una clasificación basada en la intensidad, tipo y composición del tráfico que circula por él y su guiado visual.” (Ministerio de Fomento, 2015)

### **Coefficiente de poder revelador (k)**

“Relación entre la luminancia en la zona de umbral  $L_{th}$  y la luminancia en la zona de acceso.”

(Ministerio de Fomento, 2015)

### **Efecto agujero negro**

“Sensación mediante el cual la entrada del túnel se presenta como un agujero negro para el conductor, en cuyo interior no puede distinguir ningún objeto. Se produce debido a que la luminancia ambiental en el exterior durante el día es mucho mayor que en la entrada.”

(Ministerio de Fomento, 2015)

**Distancia de parada (Dp)**

“Distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención.” (Ministerio de Fomento, 2015)

**Efecto flicker**

“Sensación de parpadeo molesta e incómoda producida por las variaciones periódicas de la luminancia en el interior del túnel.” (Ministerio de Fomento, 2015)

**Efecto muro**

“Sensación de estrechez que percibe el conductor cuando circula a través del túnel debido al color oscuro de las paredes y que hace que se aleje de éstas.” (Ministerio de Fomento, 2015)

**Intensidad luminosa (I)**

“Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional. Se expresa en cd (candela).” (Ministerio de Fomento, 2015)

**Portal**

“Parte de la construcción del túnel que corresponde al comienzo o al final de la parte cubierta del túnel o, cuando se usan pantallas solares, al comienzo o al final de éstas.” (Ministerio de Fomento, 2015)

### **Luminancia de la zona de acceso ( $L_{20}$ )**

“Luminancia media contenida en un campo cónico de visión, que subtiende un ángulo de  $20^\circ$  ( $2 \times 10^\circ$ ) con el vértice en la posición del ojo de un conductor que se aproxima y orientado a la boca del túnel a un punto situado a una altura de  $\frac{1}{4}$  de la boca del túnel. La  $L_{20}$  es percibida desde un punto situado a una distancia igual a la distancia de parada a partir del portal del túnel en el centro del carril o línea de tráfico pertinente.” (Ministerio de Fomento, 2015)

### **Luminancia en la zona interior ( $L_{in}$ )**

“La luminancia interior  $L_{in}$  en un lugar específico de dicha zona del túnel, es la luminancia media de la superficie de calzada en ese lugar. Se expresa en  $cd/m^2$ .” (Ministerio de Fomento, 2015)

### **Luminancia en la zona de umbral ( $L_{th}$ )**

“La luminancia en la zona de umbral  $L_{th}$  en un lugar específico de dicha zona del túnel, es la luminancia media de la superficie de la calzada en ese lugar. Se expresa en  $cd/m^2$ .” (Ministerio de Fomento, 2015)

## **2.3 Metodología**

Con la finalidad de investigar sobre un tema poco conocido la metodología a ser utilizada es la exploratoria.

### **Técnicas bibliográficas y de campo**

Para la recolección de datos en campo son importantes los instrumentos de medición los cuales nos dan valores de las luminancias de las distintas zonas alrededor del túnel las cuales van a ser procesadas y posteriormente evaluadas con los parámetros internacionales descritos en la Orden Circular 36/2015 (España).

### **Muestra**

Se desea realizar una evaluación de los túneles y pasos inferiores en la ciudad de Quito que posiblemente presenten iluminación deficiente:

- Paso inferior Condado
- Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre
- Túnel de San Juan
- Túnel Guayasamín

## **CAPITULO 3**

### **Procesamiento de la Información**

### 3.1 Resultados obtenidos en campo

#### 3.1.1 Intensidad de tráfico

IH100	Paso inferior Condado		Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre		Túnel de San Juan	Túnel Guayasamín
	Occi. – Orient.	Orient. - Occi.	S - N	N - S		
1	1989	1651	488	467	2076	1755
2	1884	1600	477	440	2050	1715
3	1870	1591	471	439	2025	1684
4	1849	1573	469	437	2011	1675
5	1848	1566	466	432	1992	1663
6	1822	1557	458	432	1985	1657
7	1822	1545	456	431	1981	1656
8	1794	1530	454	431	1976	1649
9	1790	1494	450	430	1974	1642
10	1789	1491	450	428	1973	1622
11	1788	1486	449	428	1971	1614
12	1784	1481	448	427	1971	1613
13	1774	1478	447	426	1964	1606
14	1767	1478	447	423	1957	1597
15	1763	1474	447	423	1957	1589
16	1756	1468	446	422	1957	1585
17	1754	1465	445	421	1955	1583
18	1750	1462	445	421	1952	1582
19	1741	1455	444	421	1948	1582
20	1737	1453	442	420	1945	1579
21	1736	1451	441	419	1944	1576
22	1728	1450	440	419	1936	1573
23	1727	1449	440	418	1926	1566
24	1722	1443	439	417	1919	1565
25	1720	1442	439	417	1918	1565
26	1717	1442	439	417	1917	1556
27	1710	1441	439	417	1906	1555
28	1710	1441	438	416	1905	1550
29	1707	1441	438	416	1904	1549
30	1706	1440	437	416	1897	1548
31	1705	1439	437	415	1895	1548
32	1703	1438	437	415	1890	1546
33	1701	1434	437	415	1889	1546
34	1697	1431	437	415	1884	1543

35	1697	1428	437	415	1882	1541
36	1693	1425	437	415	1881	1539
37	1687	1424	437	414	1879	1534
38	1684	1422	436	414	1878	1534
39	1682	1421	436	414	1876	1534
40	1682	1421	435	414	1870	1530
41	1680	1418	435	414	1870	1524
42	1678	1418	435	414	1868	1520
43	1678	1417	435	414	1866	1519
44	1677	1417	434	413	1865	1516
45	1674	1415	434	412	1863	1516
46	1673	1415	434	412	1862	1515
47	1673	1415	433	412	1862	1514
48	1672	1414	433	411	1861	1514
49	1671	1411	433	411	1858	1506
50	1670	1411	433	411	1857	1506
51	1670	1411	433	410	1857	1503
52	1670	1410	432	410	1855	1503
53	1669	1409	432	410	1855	1501
54	1669	1408	432	410	1854	1499
55	1665	1408	431	410	1852	1498
56	1665	1407	431	410	1852	1497
57	1662	1406	431	410	1852	1496
58	1662	1405	431	409	1851	1495
59	1661	1404	431	409	1847	1494
60	1658	1404	431	409	1844	1494
61	1657	1403	431	409	1843	1494
62	1657	1402	431	409	1840	1493
63	1656	1400	430	409	1839	1492
64	1655	1400	430	409	1838	1492
65	1653	1399	430	408	1837	1492
66	1653	1399	430	408	1837	1491
67	1653	1397	430	408	1836	1489
68	1652	1395	430	408	1835	1487
69	1652	1395	429	408	1831	1485
70	1652	1394	429	408	1830	1485
71	1651	1393	429	408	1826	1485
72	1648	1393	428	407	1825	1485
73	1647	1390	428	407	1823	1484
74	1646	1390	428	407	1823	1484
75	1643	1389	427	407	1820	1483
76	1640	1388	427	407	1819	1483
77	1640	1387	427	406	1819	1482
78	1640	1387	427	406	1819	1481
79	1639	1386	427	406	1818	1481
80	1637	1386	427	406	1818	1480

<b>81</b>	1635	1383	427	406	1817	1479
<b>82</b>	1634	1381	427	406	1816	1478
<b>83</b>	1633	1380	427	406	1816	1478
<b>84</b>	1633	1380	427	406	1815	1478
<b>85</b>	1631	1379	427	406	1814	1475
<b>86</b>	1631	1378	426	405	1813	1472
<b>87</b>	1631	1378	426	405	1812	1470
<b>88</b>	1631	1378	426	405	1810	1470
<b>89</b>	1630	1377	426	405	1809	1469
<b>90</b>	1630	1377	426	405	1807	1468
<b>91</b>	1626	1377	426	405	1807	1467
<b>92</b>	1626	1377	425	404	1806	1465
<b>93</b>	1626	1375	425	404	1804	1462
<b>94</b>	1626	1374	425	404	1803	1462
<b>95</b>	1625	1374	425	403	1803	1461
<b>96</b>	1624	1374	425	403	1803	1461
<b>97</b>	1624	1373	425	403	1802	1461
<b>98</b>	1622	1372	425	403	1801	1459
<b>99</b>	1621	1372	425	403	1800	1458
<b>100</b>	<b>1619</b>	<b>1372</b>	<b>424</b>	<b>403</b>	<b>1800</b>	<b>1458</b>

**Table 7 Hora punta IH100.**

**Fuente: (EPMOP, 2017)**

### 3.1.2 Pendiente

		<b>Pendiente</b>
<b>Paso inferior Condado</b>	Occi. – Orient.	-0.041
	Orient. - Occi.	0.000
<b>Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre</b>	Sur – Norte	-0.0065
	Norte - Sur	-0.0075
<b>Túnel de San Juan</b>		+0.0135
<b>Túnel Guayasamín</b>		-0.0455

**Table 8 Inclinación de la rasante. Fuente: Elaboración propia**

### 3.1.3 Distancia de parada (Dp)

**Tiempo de reacción (to) = 2 seg** (Tramos iluminados)

**Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>**

**Velocidad de diseño = 50 km/h** (Zona Urbana)

La velocidad de diseño se rige en la Ley de tránsito para el Distrito Metropolitano de Quito con un límite máximo de 50 km/h para la Zona Urbana.

		Velocidad	Velocidad	Coeficiente	
		diseño (u)	diseño (u)	fricción (f)	
		km/h	m/s	seco	húmedo
<b>Paso inferior Condado</b>	Ent. Occi.	50	14	0,675	0,400
	Ent. Orient	50	14	0,675	0,400
<b>Paso inf. Av. Patria y 12 de octubre</b>	Ent. Sur	50	14	0,675	0,400
	Ent. Norte	50	14	0,675	0,400
<b>Túnel de San Juan</b>		50	14	0,675	0,400
<b>Túnel Guayasamin</b>		50	14	0,675	0,400

		Pendiente (s)	Distancia de parada (Dp)	
			seco	húmedo
<b>Paso inferior Condado</b>	Ent. Occi.	-0,0410	43	55
	Ent. Ori.	0,0000	42	52
<b>Paso inf. Av. Patria y 12 de octubre</b>	Ent. Sur	-0,0065	42	53
	Ent. Norte	-0,0075	43	53
<b>Túnel de San Juan</b>		0,0135	42	52
<b>Túnel Guayasamin</b>		-0,0455	43	56

**Table 9 Distancia de parada.**

**Fuente:** Elaboración propia

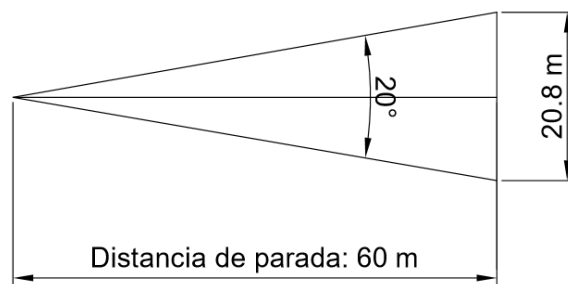
### 3.1.4 Porcentaje (%) de cielo en el campo de visión

La distancia de parada a ser tomada es de 60 metros para determinar la luminancia de la zona de acceso  $L_{20}$ .

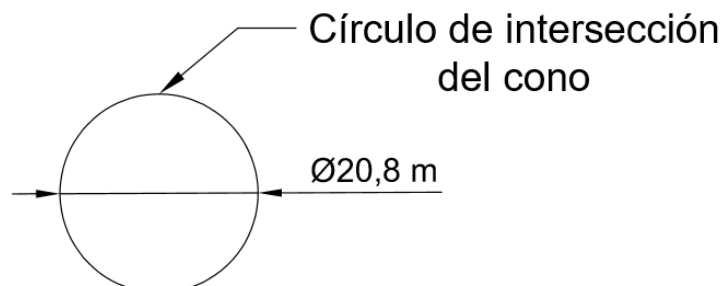
#### Cálculo del círculo de intersección del cono

**Distancia de parada (Dp) = 60 m**

**Angulo de visión = 20°**



**Figure 10 Angulo de visión cónico 20°**



**Figure 11 Círculo de intersección del cono**

## Cálculo porcentaje de cielo

$$X = \frac{\text{Área porcentaje de cielo} * 100\%}{340 \text{ m}^2}$$

Área círculo de intersección del cono = 340 m<sup>2</sup>

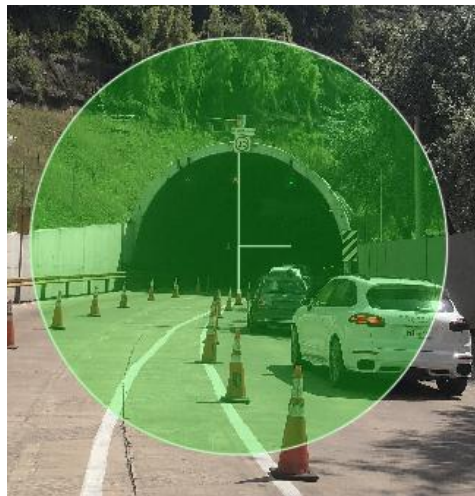


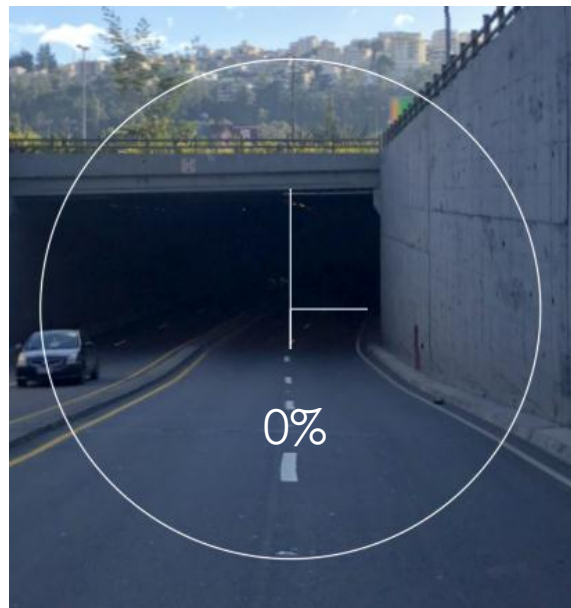
Figure 12 Porcentaje de cielo 1

Área porcentaje de cielo



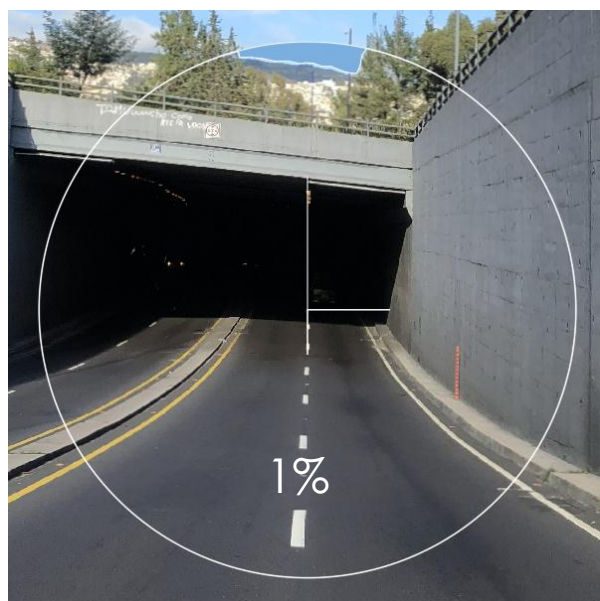
Figure 13 Porcentaje de cielo 2

**Paso inferior Condado – Entrada Occidental**



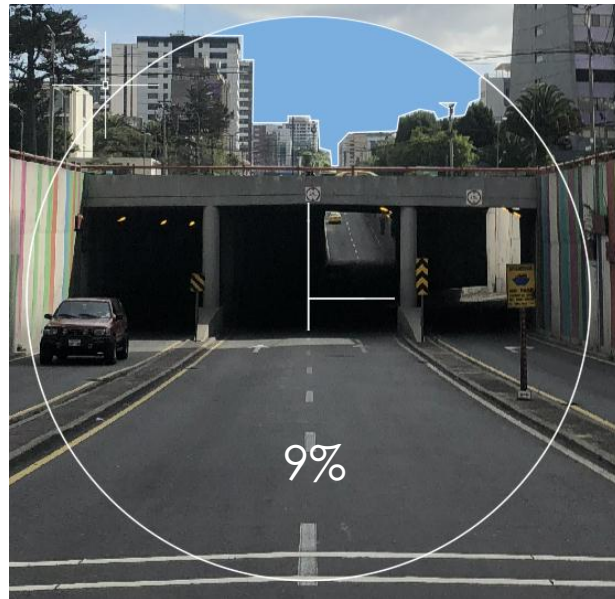
**Figure 14 Porcentaje de cielo – Paso inferior Condado – Entrada Occidental**

**Paso inferior Condado – Entrada Oriental**



**Figure 15 Porcentaje de cielo – Paso inferior Condado – Entrada Oriental**

**Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Sur**



**Figure 16 Porcentaje de cielo – Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre – Entrada Sur**

**Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Norte**



**Figure 17 Porcentaje de cielo – Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre – Entrada Norte**

## Túnel de San Juan



Figure 18 Porcentaje de cielo – Túnel de San Juan

## Túnel Guayasamín

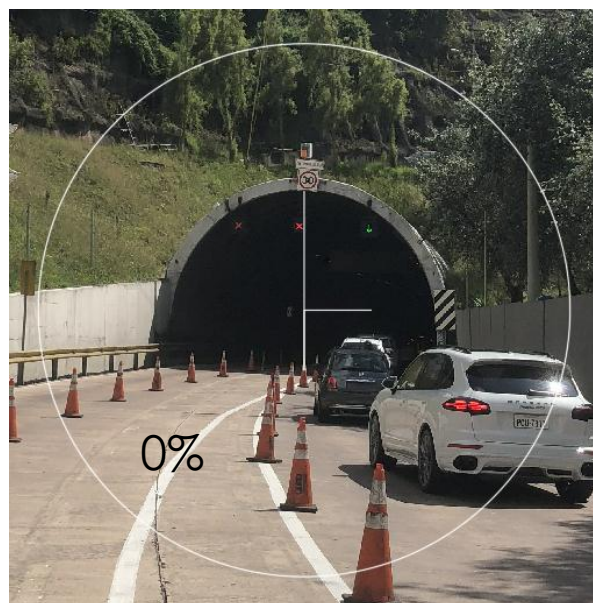


Figure 19 Porcentaje de cielo – Túnel Guayasamín

### Porcentaje de cielo en el campo de visión de 20°

		Porcentaje de cielo (%)
<b>Paso inferior Condado</b>	Ent. Occi.	0
	Ent. Ori.	1
<b>Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre</b>	Ent. Sur	9
	Ent. Norte	5
<b>Túnel de San Juan</b>		0
<b>Túnel Guayasamín</b>		0

**Table 10 Porcentaje (%) de cielo en el campo de visión.**

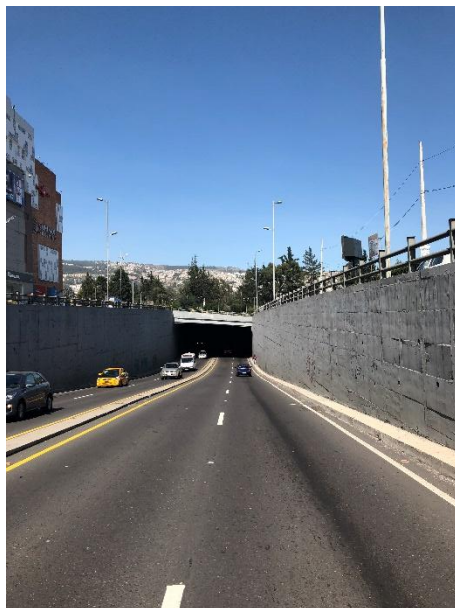
**Fuente:** Elaboración propia

## 3.2 Procesamiento de resultados

### 3.2.1 Paso inferior Condado



**Figure 20 Paso inferior Condado – Entrada Occidental**



**Figure 21 Paso inferior Condado – Entrada Oriental**

## Intensidad de tráfico

Número de carriles = 2

Trafico Bidireccional	Vehículos/hora	Vehículos/hora*carril	Intensidad de tráfico
Entrada Occidental	1619	810	Alta
Entrada Oriental	1372	686	Media

Fuente: Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta

## Clases de alumbrado de túneles

A: Solo tráfico motorizado.

Intensidad de tráfico	Clase de túnel
Alta	3
Media	2

Fuente: Table 2 Clases de alumbrado de túneles

## Distancia de parada

Pendiente de la rasante	Velocidad (Km/h)	Distancia de parada (m)	
		seco	húmedo
Entrada Occidental	-0.041	43	55
Entrada Oriental	0.000	42	52

Fuente: Table 3 Distancia de parada

## Determinación de los valores de K

Clase de túnel	Distancia de parada (m)	Distancia de parada (m)		Valor de K
		Entrada Occidental	Entrada Oriental	
3	seco	43	42	0.04
2	húmedo	55	52	0.03

Fuente: Table 4 Valores de K para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel

### Determinación de la luminancia de la zona de acceso $L_{20}$

Los valores de luminancia media  $L_{20}$  en el campo de visión cónico de  $20^\circ$  se obtienen con una distancia de parada de 60 metros

Porcentaje de cielo - Entrada Occidental = 0 %

Porcentaje de cielo - Entrada Oriental = 1 %

Normal ( $\frac{cd}{m^2}$ )	Porcentaje % de cielo en el campo de visión	
	Entrada Occidental	Entrada Oriental
	0%	0% - 10%
Bajo	1500	2500
Alto	3000	3500

Fuente: Table 5 Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso

### Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$

Para trabajar dentro del campo conservador se utilizará una **luminancia Alta**

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

	k	$L_{20}$ ( $\frac{cd}{m^2}$ )	$L_{th}$ ( $\frac{cd}{m^2}$ )
Entrada Occidental	0.04	3000	120
Entrada Oriental	0.03	3500	105

## Determinación de la longitud y niveles de luminancia

**Longitud** = 169 metros

Túnel corto < 200 metros

Para túneles cortos se recomienda mantener el mismo Lth en toda la longitud del túnel

<b>Paso inferior Condado - Ent. Occidental</b>		
<b>Dp húmedo</b>	55	m
<b>Lth</b>	120	cd/m <sup>2</sup>
<b>V</b>	14	m/s
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>
<b>Tramo total</b>	<b>170</b>	<b>120</b>

**Table 11 Longitud y niveles de luminancia – Paso inferior Condado – Ent. Occidental.**

Fuente: Elaboración propia

<b>Paso inferior Condado - Ent. Oriental</b>		
<b>Dp húmedo</b>	52	m
<b>Lth</b>	105	cd/m <sup>2</sup>
<b>V</b>	14	m/s
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>
<b>Tramo total</b>	<b>170</b>	<b>105</b>

**Table 12 Longitud y niveles de luminancia – Paso inferior Condado – Ent. Oriental.**

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre



**Figure 22 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Sur**



**Figure 23 Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Norte**

### Intensidad de tráfico.

Número de carriles = 2

Trafico Bidireccional	Vehículos/hora	Vehículos/hora*carril	Intensidad de tráfico
Entrada Norte	403	202	Media
Entrada Sur	424	212	Media

Fuente: Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta

### Clases de alumbrado de túneles

A: Solo tráfico motorizado.

Intensidad de tráfico	Clase de túnel
Media	2

Fuente: Table 2 Clases de alumbrado de túneles

### Distancia de parada

Pendiente de la rasante	Velocidad (Km/h)	Distancia de parada (m)		
		f seco	f húmedo	
Entrada Sur	-0.0065	50	42	53
Entrada Norte	-0.0075	50	43	53

Fuente: Table 3 Distancia de parada

### Determinación de los valores de K

Clase de túnel		Distancia de parada (m)		Valor de K
		Entrada Sur	Entrada Norte	
2	seco	42	43	0.03
	húmedo	53	53	0.03

Fuente: Table 4 Valores de K para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel

### Determinación de la luminancia de la zona de acceso $L_{20}$

Los valores de luminancia media  $L_{20}$  en el campo de visión cónico de  $20^\circ$  se obtienen con una distancia de parada de 60 metros

**Porcentaje de cielo - Entrada Sur = 9 %**

**Porcentaje de cielo - Entrada Norte = 5 %**

Normal ( $\frac{cd}{m^2}$ )	Porcentaje % de cielo en el campo de visión	
	Entrada Sur	Entrada Norte
	<b>0% - 10%</b>	<b>0% - 10%</b>
Bajo	<b>2500</b>	<b>2500</b>
Alto	<b>3500</b>	<b>3500</b>

**Fuente:** Table 5 Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso

### Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$

Para trabajar dentro del campo conservador se utilizará una **luminancia Alta**

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

	k	$L_{20}$ ( $\frac{cd}{m^2}$ )	$L_{th}$ ( $\frac{cd}{m^2}$ )
Entrada Sur	0.03	3500	<b>105</b>
Entrada Norte	0.03	3500	<b>105</b>

## Determinación de la longitud y niveles de luminancia

**Longitud** = 100 metros

Túnel corto < 200 metros

Para túneles cortos se recomienda mantener el mismo Lth en toda la longitud del túnel

<b>Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Sur</b>		
<b>Dp húmedo</b>	53	m
<b>Lth</b>	105	cd/m <sup>2</sup>
<b>V</b>	14	m/s
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>
<b>Tramo total</b>	<b>100</b>	<b>105</b>

**Table 13 Longitud y niveles de luminancia – Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Sur.**

**Fuente:** Elaboración propia

<b>Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Norte</b>		
<b>Dp húmedo</b>	53	m
<b>Lth</b>	105	cd/m <sup>2</sup>
<b>V</b>	14	m/s
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>
<b>Tramo total</b>	<b>100</b>	<b>105</b>

**Table 14 Longitud y niveles de luminancia – Av. Patria y 12 de octubre - Ent. Norte**

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3 Túnel de San Juan



Figure 24 Túnel de San Juan

#### Intensidad de tráfico

Número de carriles = 2

Traf. Unidi. (Vehículos/hora)	Traf. Unidi. (Vehículos/hora*carril)	Intensidad de tráfico
1800	900	Media

Fuente: Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta

#### Clases de alumbrado de túneles

A: Solo tráfico motorizado.

Intensidad de tráfico	Clase de túnel
Media	2

Fuente: Table 2 Clases de alumbrado de túneles

### Distancia de parada

Inclinación de la rasante	Velocidad (Km/h)	Distancia de parada (m)	
		f seco	f húmedo
0.0135	50	42	52

**Fuente:** Table 3 Distancia de parada

### Determinación de los valores de K

Clase de túnel	Distancia de parada (m)		Valor de K
	seco	húmedo	
2	42	52	0.03
	húmedo	52	0.03

**Fuente:** Table 4 Valores de K para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel

### Determinación de la luminancia de la zona de acceso $L_{20}$

Los valores de luminancia media  $L_{20}$  en el campo de visión cónico de  $20^\circ$  se obtienen con una distancia de parada de 60 metros

**Porcentaje de cielo = 0 %**

% de cielo en el campo de visión	Normal $\left(\frac{cd}{m^2}\right)$	
	Bajo	Alto
0%	1500	3000

**Fuente:** Table 5 Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso

### Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$

Para trabajar dentro del campo conservador se utilizará una **luminancia Alta**

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

k	$L_{20} \left( \frac{cd}{m^2} \right)$	$L_{th} \left( \frac{cd}{m^2} \right)$
0.03	3000	90

### Determinación de la longitud y niveles de luminancia

Túnel de San Juan		
<b>Dp humedo</b>	52	m
<b>Lth</b>	90	cd/m2
<b>V</b>	14	m/s
<b>t</b>	0	seg
<b>t</b>	1	seg
<b>t</b>	4	seg
<b>t</b>	10	seg
<b>t</b>	20	seg
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m2</b>
<b>Tramo Umbral 1</b>	26	90
<b>Tramo Umbral 2</b>	26	66
<b>Tramo transición 1</b>	14	42
<b>Tramo transición 2</b>	42	26
<b>Tramo transición 3</b>	84	10
<b>Tramo transición 4</b>	140	4
<b>Tramo interior</b>	200	2
<b>Tramo de salida</b>	168	2

Table 15 Longitud y niveles de luminancia –Túnel de San Juan.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Túnel Guayasamín



Figure 25 Túnel Guayasamín

#### Intensidad de tráfico

Número de carriles = 1

Trafico bidireccional (Vehículos/hora*carril)	Intensidad de tráfico
1458	Alta

Fuente: Table 1 Intensidad de tráfico de la hora punta

#### Clases de alumbrado de túneles

A: Solo tráfico motorizado.

Intensidad de tráfico	Clase de túnel
Alta	3

Fuente: Table 2 Clases de alumbrado de túneles

### Distancia de parada

Inclinación de la rasante	Velocidad (Km/h)	Distancia de parada (m)	
		f seco	f húmedo
-0.0455	50	43	56

**Fuente:** Table 3 Distancia de parada

### Determinación de los valores de K

Clase de túnel	Distancia de parada (m)		Valor de K
	seco	húmedo	
3	43	56	0.04
	43	56	0.04

**Fuente:** Table 4 Valores de K para diferentes valores de  $D_p$  y clases de túnel

### Determinación de la luminancia de la zona de acceso $L_{20}$

Los valores de luminancia media  $L_{20}$  en el campo de visión cónico de  $20^\circ$  se obtienen con una distancia de parada de 60 metros

**Porcentaje de cielo = 0 %**

% de cielo en el campo de visión	Normal $\left(\frac{cd}{m^2}\right)$	
	Bajo	Alto
0%	1500	3000

**Fuente:** Table 5 Valores habituales de luminancia media  $L_{20}$  en la zona de acceso

### Determinación de la luminancia de umbral $L_{th}$

Para trabajar dentro del campo conservador se utilizará una **luminancia Alta**

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

k	$L_{20} \left( \frac{cd}{m^2} \right)$	$L_{th} \left( \frac{cd}{m^2} \right)$
0.04	3000	120

### Determinación de la longitud y niveles de luminancia

<b>Túnel Guayasamín</b>		
<b>Dp húmedo</b>	56	m
<b>Lth</b>	120	cd/m <sup>2</sup>
<b>V</b>	14	m/s
<b>t</b>	0	seg
<b>t</b>	1	seg
<b>t</b>	4	seg
<b>t</b>	10	seg
<b>t</b>	20	seg
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Nivel luminancia</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>
<b>Tramo Umbral 1</b>	28	120
<b>Tramo Umbral 2</b>	28	81
<b>Tramo transición 1</b>	14	42
<b>Tramo transición 2</b>	42	26
<b>Tramo transición 3</b>	84	10
<b>Tramo transición 4</b>	140	4
<b>Tramo interior</b>	200	2
<b>Tramo de salida</b>	768	2

Table 16 Longitud y niveles de luminancia –Túnel Guayasamín.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO 4**

### **Evaluación de la información**

#### 4.1 Análisis de resultados

	Paso inferior Condado		Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre		Túnel San Juan	Túnel Guayasamín	
	Ent. Occi.	Ent. Orient.	Ent. Sur	Ent. Norte			
<b>Intensidad de tráfico</b>	Alta	Media	Media	Media	Media	Alta	
<b>Clase de túnel</b>	3	2	2	2	2	3	
<b>Velocidad de diseño</b>	50 km/h						
<b>Distancia de parada (m)</b>	<b>seco</b>	43	42	42	43	42	43
	<b>húmedo</b>	55	52	53	53	52	56
<b>Valores de K</b>	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	
<b>Porcentaje de cielo (%)</b>	0	1	9	5	0	0	
<b>Valores de luminancia media <math>L_{20}</math> (<math>\frac{cd}{m^2}</math>)</b>	3000	3500	3500	3500	3000	3000	
<b>Valores de luminancia de umbral <math>L_{th}</math> (<math>\frac{cd}{m^2}</math>) recomendados</b>	120	105	105	105	90	120	

Table 17 Resumen de resultados.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Evaluación de los resultados bajo la Orden Circular 36/2015 (España)

### Paso inferior Condado

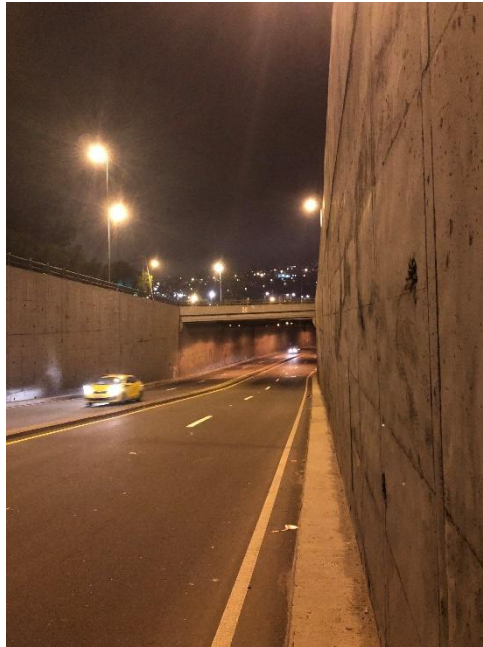


Figure 26 Iluminación Paso inferior Condado

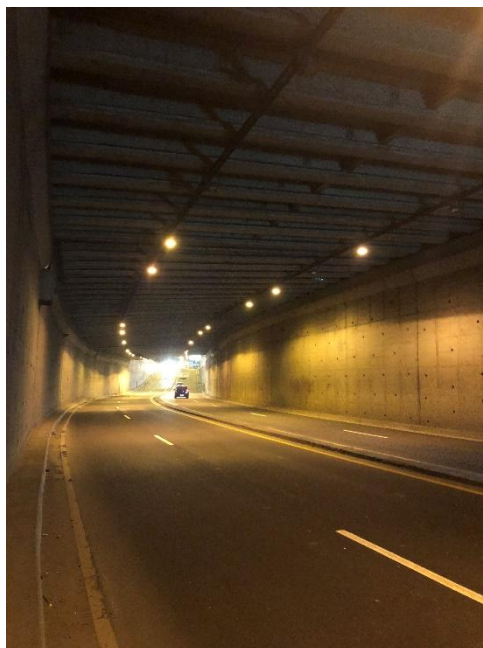


Figure 27 Iluminación interior Paso inferior Condado

<b>h luminaria</b>	5,5	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

<b>Paso inferior Condado - Entrada Occidental</b>					
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Luminancia recomendada</b>	<b>Iluminancia medida en campo</b>	<b>Luminancia en campo</b>	<b>Cumple</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m2</b>	<b>Lux</b>	<b>cd/m2</b>	
<b>Tramo 1</b>	42.5	120	28,40	454	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 2</b>	42.5	120	0,18	3	<input type="checkbox"/>
<b>Tramo 3</b>	42.5	120	6,19	99	<input type="checkbox"/>
<b>Tramo 4</b>	42.5	120	9,78	156	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 18 Evaluación de luminancia – Paso inferior Condado – Entrada Occidental.**

**Fuente:** Elaboración propia

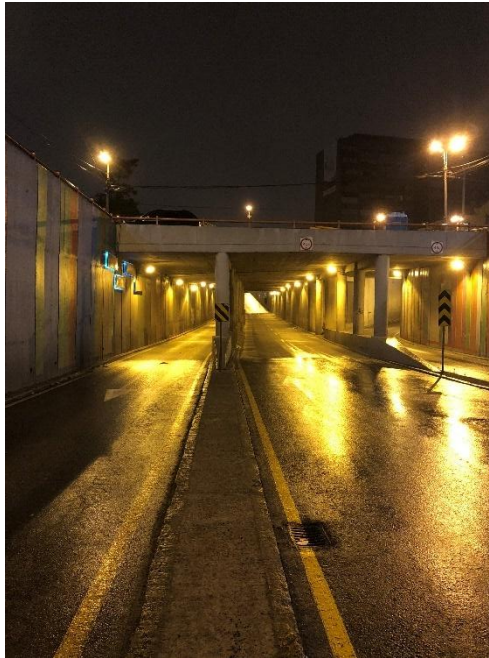
<b>h luminaria</b>	5,5	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

<b>Paso inferior Condado - Entrada Oriental</b>					
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Luminancia recomendada</b>	<b>Iluminancia medida en campo</b>	<b>Luminancia en campo</b>	<b>Cumple</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m2</b>	<b>Lux</b>	<b>cd/m2</b>	
<b>Tramo 1</b>	42.5	105	12,23	196	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 2</b>	42.5	105	21,40	342	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 3</b>	42.5	105	10,42	167	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 4</b>	42.5	105	14,30	229	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 19 Evaluación de luminancia – Paso inferior Condado – Entrada Oriental.**

**Fuente:** Elaboración propia

**Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre**



**Figure 28 Iluminación Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre**



**Figure 29 Iluminación interior Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre**

<b>h luminaria</b>	5,0	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

<b>Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Entrada Sur</b>					
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Luminancia recomendada</b>	<b>Iluminancia medida en campo</b>	<b>Luminancia en campo</b>	<b>Cumple</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m2</b>	<b>Lux</b>	<b>cd/m2</b>	
<b>Tramo 1</b>	25.0	105	8,10	99	<input type="checkbox"/>
<b>Tramo 2</b>	25.0	105	10,77	132	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 3</b>	25.0	105	11,87	145	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 4</b>	25.0	105	11,21	137	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 20 Evaluación de luminancia – Avenida Patria y 12 de octubre - Entrada Sur.**

**Fuente:** Elaboración propia

<b>h luminaria</b>	5,0	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

<b>Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Entrada Norte</b>					
<b>Tramo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Luminancia recomendada</b>	<b>Iluminancia medida en campo</b>	<b>Luminancia en campo</b>	<b>Cumple</b>
	<b>m</b>	<b>cd/m2</b>	<b>Lux</b>	<b>cd/m2</b>	
<b>Tramo 1</b>	25.0	105	34,60	424	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 2</b>	25.0	105	32,40	397	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 3</b>	25.0	105	18,56	227	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Tramo 4</b>	25.0	105	25,20	309	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 21 Evaluación de luminancia – Avenida Patria y 12 de octubre - Entrada Norte.**

**Fuente:** Elaboración propia

## Túnel de San Juan

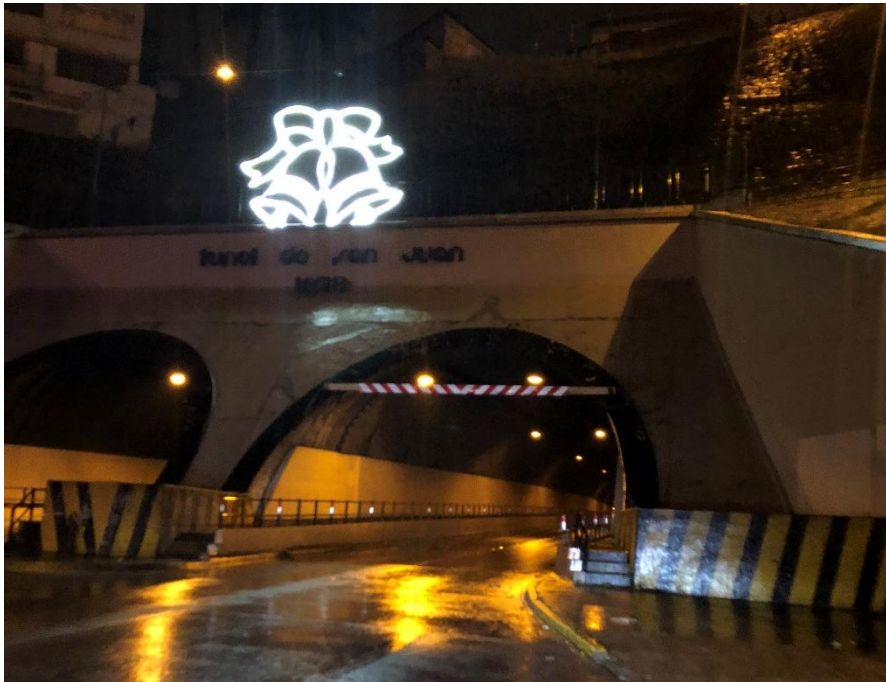


Figure 30 Iluminación Túnel de San Juan

<b>h luminaria</b>	5.5	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

Túnel de San Juan					
Tramo	Longi.	Luminancia recomendada	Iluminancia medida en campo	Luminancia en campo	Cumple
	m	cd/m2	Lux	cd/m2	
Tramo Umbral 1	26	90	7,20	146	☑
Tramo Umbral 2	26	66	5,70	115	☑
Tra. transición 1	14	42	4,68	95	☑
Tra. transición 2	42	26	3,00	61	☑
Tra. transición 3	84	10	4,86	98	☑
Tra. transición 4	140	4	2,46	50	☑
Tramo interior	200	2	3,24	66	☑
Tramo de salida	168	2	2,34	47	☑

Table 22 Evaluación de luminancia –Túnel de San Juan.

Fuente: Elaboración propia

## Túnel Guayasamín



Figure 31 Iluminación Túnel Guayasamín

<b>h luminaria</b>	6,0	m
<b>h equipo</b>	1,5	m

Túnel Guayasamín					
Tramo	Longi.	Luminancia recomendada	Iluminancia medida en campo	Luminancia en campo	Cumple
	m	cd/m <sup>2</sup>	Lux	cd/m <sup>2</sup>	
Tramo Umbral 1	28	120	72,80	1474	☑
Tramo Umbral 2	28	81	68,20	1381	☑
Tra. transición 1	14	42	53,00	1073	☑
Tra. transición 2	42	26	41,40	838	☑
Tra. transición 3	84	10	34,20	693	☑
Tra. transición 4	140	4	32,90	666	☑
Tramo interior	200	2	24,90	504	☑
Tramo de salida	768	2	14,83	300	☑

Table 23 Evaluación de luminancia –Túnel Guayasamín.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO 5**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

## Conclusiones

Realizada la evaluación de la iluminación existente en los túneles de Quito bajo la Orden Circular 36/2015 (España) se concluye lo siguiente:

- El Paso inferior Condado – Entrada Occidental no cumple con la luminancia recomendada en los **Tramos 2 y 3** porque las luminarias se encuentran dañadas.
- El Paso inferior Condado – Entrada Oriental cumple con la luminancia recomendada en todos los tramos a lo largo del túnel.
- El Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Sur no cumple con la luminancia recomendada en el **Tramo 1** por la falta de luminarias.
- El Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Norte cumple con la luminancia recomendada en todos los tramos a lo largo del túnel
- El Túnel de San Juan cumple con la luminancia recomendada en todos los tramos a lo largo del túnel
- El Túnel Guayasamín cumple con la luminancia recomendada en todos los tramos a lo largo del túnel

Se concluye que ninguno de los túneles evaluados en Quito tiene un control de luminancia automático en las bocas de ingreso por lo cual no se toma en cuenta las condiciones externas para la auto regulación de luminancia en cada tramo al interior de los túneles.

Realizada la evaluación de las diferentes zonas de transición decreciente para todos los tramos se concluye lo siguiente:

- El Paso inferior Condado – Entrada Occidental cumple con las zonas de transición recomendadas exceptuando los **Tramos 2 y 3** porque las luminarias se encuentran dañadas.
- El Paso inferior Condado – Entrada Oriental cumple con las zonas de transición recomendadas en todos los tramos a lo largo del túnel.
- El Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Sur cumple con las zonas transición recomendadas exceptuando el **Tramo 1** por la falta de luminarias.
- El Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre – Entrada Norte cumple con las zonas de transición recomendadas en todos los tramos a lo largo del túnel
- El Túnel de San Juan no cumple con las zonas de transición recomendadas en todos los tramos a lo largo del túnel.
- El Túnel Guayasamín cumple con las zonas de transición recomendadas en todos los tramos a lo largo del túnel.

## Recomendaciones

- Se recomienda usar un equipo certificado para la medición de luminancia en túneles, en nuestro caso se usó un equipo nuevo el cual se encuentra calibrado por un lapso aproximado de un año.
- Se recomienda respetar las leyes de tránsito ya que en una zona urbana la velocidad tiene un límite máximo de 50 km/h y un aumento de la misma incrementa la Distancia de parada ( $D_p$ ) que a su vez incrementa notablemente los niveles de luminancia en la zona umbral formándose un “Agujero Negro” el cual puede ocasionar accidentes al interior del túnel.

### Paso inferior Condado

- Se recomienda mantener el mismo  $L_{th}$  a lo largo de todo el recorrido al tratarse de un paso inferior con una longitud menor a 200 metros.
- Se recomienda cambiar las luminarias dañadas y realizar mantenimiento preventivo para evitar que las luminarias se dañen con el tiempo lo cual crea la falta de luminancia en el **Tramo 2 y 3**.



**Figure 32 Luminarias dañadas Paso inferior condado**

### **Paso inferior Avenida Patria y 12 de octubre**

- Se recomienda mantener el mismo  $L_{th}$  a lo largo de todo el recorrido al tratarse de un paso inferior con una longitud menor a 200 metros.
- Se recomienda implementar luminarias en el **Tramo 1** de la Entrada Sur-Norte ya que la falta de luminancia en este tramo genera un “Agujero Negro” en la boca del túnel



**Figure 33 Falta de luminarias en la Boca de Paso inferior Av. Patria y 12 de octubre - Entrada Sur**

## **Túnel de San Juan**

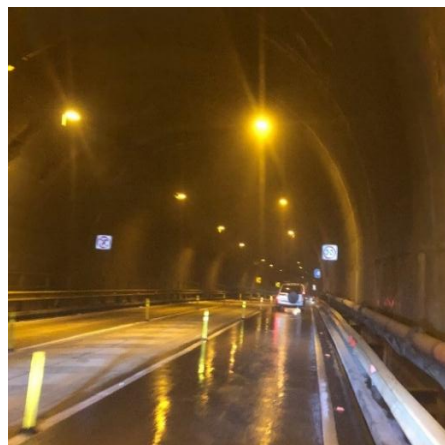
- Se recomienda generar una luminancia decreciente ya que en ciertos tramos la luminancia es mayor al tramo anterior y esto aumenta el costo de mantenimiento.



**Figure 34 Luminancia interior Túnel de San Juan**

## **Túnel Guayasamín**

- Se recomienda mantener la luminancia ya que cumple con todos los parámetros establecidos por la Norma.



**Figure 35 Luminancia interior Túnel Guayasamín**

## **BIBLIOGRAFÍA**

EPMMOP. (24 de Mayo de 2017). *EPMMOP*. Obtenido de [www.epmmop.gob.ec](http://www.epmmop.gob.ec):

<http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/proyectos/obra-publica-prolongacion-simon-bolivar>

LCA Consultoria de infraestructuras. (2012). *Recomendaciones para la iluminacion de tuneles*. Obtenido de <http://elrincondepitagoras.es/>:

[http://elrincondepitagoras.es/PAGINAS%20DEFINITIVAS/documentos/Borrador%20Definitivo%20Recomendaciones%20t%C3%BAneles%2007\\_06\\_12.pdf](http://elrincondepitagoras.es/PAGINAS%20DEFINITIVAS/documentos/Borrador%20Definitivo%20Recomendaciones%20t%C3%BAneles%2007_06_12.pdf)

Ministerio de Fomento. (2015). *Orden circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 11 de Enero de 2018

NEC. (2014). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION* .

## **ANEXOS**



**Anexo 1 Medición de la inclinación de la rasante**



Anexo 2 Luxómetro



**Anexo 3 Medición de iluminancia**