

Título del trabajo/ Title of paper

Iluminación LED adaptativa en un túnel urbano. Funcionamiento y primeras conclusiones de explotación. Túnel de la Vila Olímpica.
Conjunto

Autor/es/ Author/s

Roberto Martinez & Francisco Javier Traveria

Empresa/s

Àrea Metropolitana de Barcelona & C. & G. Carandini

Dirección postal/ Postal address

Martinez Garcia, Roberto rmartinezg@amb.cat
xaviertraveria@carandini.com

Teléfono, fax, e-mail de la persona de contacto/

Phone, fax

Roberto Martinez & Francisco Javier Traveria
647709724

Tema:

12

1. Científico y formación es aspectos generales de la iluminación: visión, color, fotometría, luminotecnia.....
2. Luz, salud y bienestar
3. Normativa, Legislación, Calibración y Certificación
4. Iluminación interior
5. Iluminación conectada en interior
6. Sistemas de control y equipos auxiliares
7. Eficiencia energética y empresas de Servicios energéticos
8. Ciudades inteligentes e iluminación conectada en exterior
9. Gestión de fondos y ayudas para el ahorro
10. Otros usos de la luz
11. Novedades tecnológicas
12. Realizaciones prácticas
13. Contaminación luminosa
14. Energías renovables

Resumen texto, con principales resultados: Índice del contexto y una amplia explicación del trabajo a presentar: "Antecedentes y objeto de la ponencia", "Desarrollo y contenido" y "Conclusiones"

Summary of text with principal results: Context index and a broad explanation of the work to be presented: "Background and purpose of the presentation", "Development and content" and "Conclusions"

0-Índice

1. Introducción
2. Ubicación, condiciones contorno, características túnel
3. Iluminación de Boca - Luminaira TMAX
4. Funcionamiento de la iluminación adaptativa
5. Conclusiones de explotación del túnel (4-5)
6. Ahorro energético
7. Análisis de las escenas de diseño (motivación, etc.)

1-Antecedentes y objeto de la ponencia

La ponencia se enmarca en el ámbito de realizaciones de la empresa que implican una evolución en la tecnología de soluciones inteligentes de alumbrado. El objeto principal de la ponencia es exponer una solución de control de la iluminación innovadora y evaluar sus resultados durante más de 1 año y mejoras detectadas tanto en la solución como a nivel normativa.

2-Desarrollo y contenido de la ponencia

La ponencia expone los requerimientos funcionales del proyecto y toda la labor de Investigación y desarrollo llevada a cabo para la consecución de los objetivos de proyecto. En la misma, se exponen las soluciones aplicadas tanto a nivel de producto como de sistema de control y los parámetros clave para la consecución de sus objetivos. Por último, se expone una cuantificación del impacto de la innovación y de la explotación con valores reales.

3-Conclusiones

Las conclusiones hablan tanto de niveles lumínicos, horas de funcionamiento, ocurrencia de las escenas y normas aplicadas. Es importante destacar que con esta experiencia se podría hacer una mejora sustancial en todas las futuras explotaciones.

Iluminación LED adaptativa en un túnel urbano. Funcionamiento y primeras conclusiones de explotación. Túnel de la Vila Olímpica.

Resumen

La iluminación LED de los túneles viarios cubriendo todos los niveles de iluminación requeridos se ha convertido en una realidad en los últimos años. El diseño, cumpliendo los niveles exigidos por la normativa, para el escenario de mayor requerimiento, hacen necesario el estudio de implementación de sistemas de control dinámico del alumbrado, aprovechando las prestaciones de la iluminación LED, particularmente en aquellos túneles donde los valores que definen la iluminación presentan una gran y continua variación en el tiempo, como es el caso de túneles urbanos.

Este ha sido el caso del túnel de la Vila Olímpica, de la Ronda Litoral de Barcelona, donde se ha implementado un sistema de control adaptativo en función de los valores de luminancia de boca y estados del tráfico y del pavimento donde, después de un año de funcionamiento, se valoran ahorros de un 35%-40% respecto de la instalación original en VSAP, teniendo además en cuenta que se han tenido que doblar los niveles lumínicos para adaptarse a las normativas vigentes.

Del funcionamiento global del sistema de alumbrado del túnel se pueden ya extraer unas primeras conclusiones de explotación, que deriven en procesos de retroalimentación para la mejora de la instalación y su operación/explotación. Se analizan aspectos como los niveles máximos reales de iluminación de boca respecto de los valores de diseño, los porcentajes de ocurrencia de las diferentes escenas implementadas en el algoritmo de control de alumbrado y las particularidades y discrepancias entre los diferentes sentidos de tráfico del túnel en cuando a las variables de los sensores y sus causas, concluyendo en algunos puntos de reflexión a fin de mejorar la instalación.

1. Contexto y requerimientos del proyecto

Durante los años 2019 y 2020 se realizó la instalación y puesta en marcha de una nueva solución de alumbrado LED adaptativo en el túnel de la Vila Olímpica en las Rondas de Barcelona. Esta intervención, se realizó en el marco de la estrategia de optimización de los sistemas de iluminación de estas y modernización de las instalaciones.

Para comprender la magnitud de la intervención, es relevante constatar que el túnel está ubicado en el cinturón litoral de la ciudad, conectando instalaciones tan relevantes como el Puerto de Barcelona con el aeropuerto y albergando el tráfico de personas y mercancías hacia todos los puntos de la península.

La intensidad media diaria del túnel es de más de cien mil vehículos al día, siendo uno de los ejes de circulación más importantes de la ciudad. El túnel presenta una longitud de más de 800 metros con una velocidad de circulación de diseño de 80 km/h.

El alumbrado del interior del túnel (permanente) se había sustituido de forma preliminar a la intervención llevada a cabo el pasado año. A efectos de ahorro energético, es importante constatar que el túnel estaba iluminado con más de 700 luminarias de Vapor de Sodio de Alta Presión, un valor que el proyecto de iluminación LED redujo a la mitad.



Ilustración 1. Pruebas de iluminación LED en una de las bocas del túnel (2015).

Además, para Carandini el túnel de la Vila Olímpica es un enclave especial, puesto que el mismo albergó las pruebas en campo de diseño de la luminaria LED T-MAX, una luminaria diseñada específicamente para túneles que sigue estando a la vanguardia de la técnica.

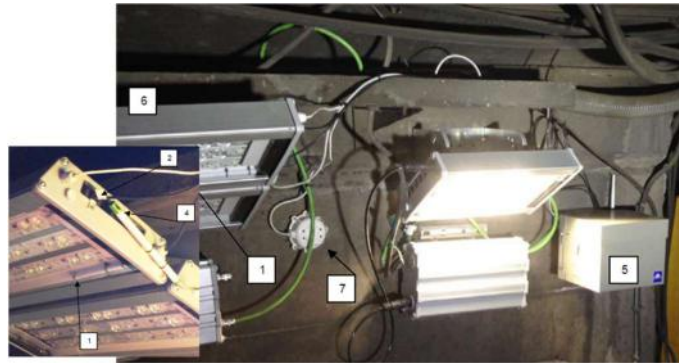


Ilustración 2. Luminarias con monitorización de la temperatura durante las pruebas de la luminaria en campo.

2. Alcance y requerimientos funcionales

El sistema de iluminación adaptativa Controlux Túnel regula la iluminación de las instalaciones mediante la comunicación por onda portadora, haciendo que la instalación de luminarias, ejecutada toda en horas nocturnas para evitar congestiones de tráfico durante el día, fuera menos compleja que con otras metodologías de comunicación. La complicidad con los equipos de instalación fue crucial para evitar dificultades en fases posteriores de proyecto.

El sistema, más allá de apagar y encender la iluminación de refuerzo a diario, así como regular todas las luminarias mediante la señal del luminancímetro, también incluía el ajuste de la iluminación del túnel a otro tipo de señales como son la intensidad del tráfico horario (IMH) o el estado del pavimento (seco/mojado).



Ilustración 3. Luminancímetro inteligente para túneles.

Para captar las señales, se implementó unos fotómetros de última generación que además de captar la luminancia de boca (L20), un valor primordial para el ajuste de la iluminación de la boca del túnel a los requeridos en cada momento también es capaz de captar la densidad del tráfico y el estado de la calzada mediante tecnologías de vídeo:

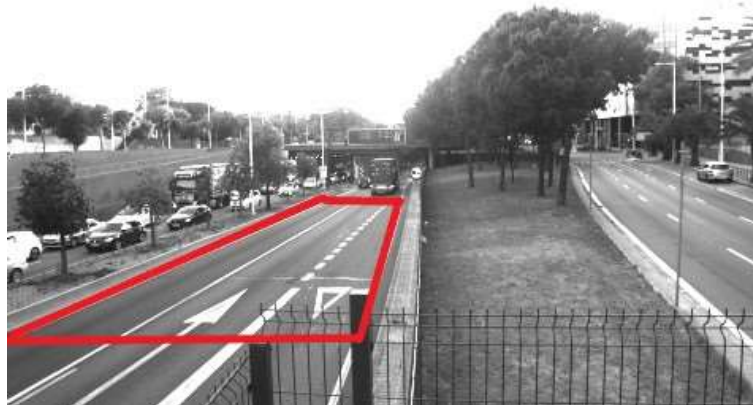
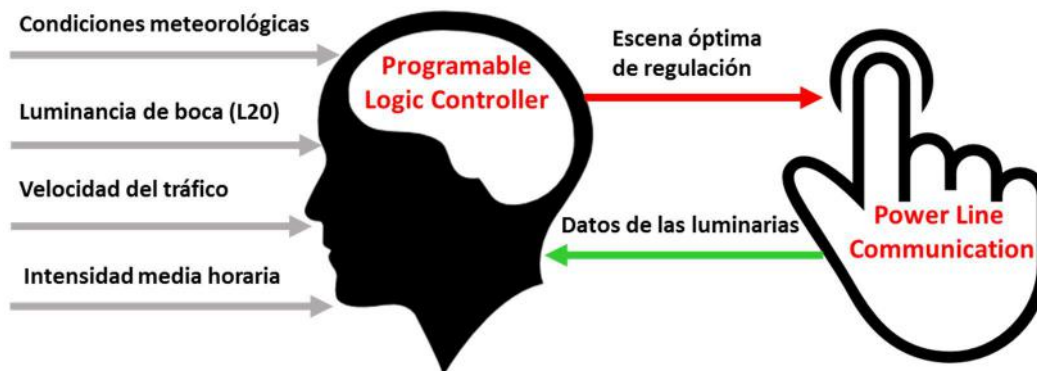


Ilustración 4. Malla de medición de la densidad del tráfico y estado del pavimento.



Todo ello, con una función de histéresis que garantiza el funcionamiento estable del sistema de control sin variaciones de iluminación que perturben el paso de los usuarios por el túnel.

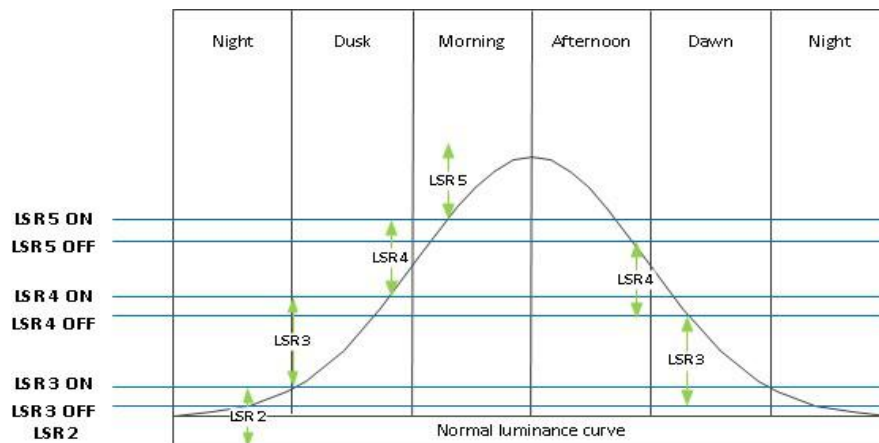


Ilustración 5. Diagrama explicativo de la activación/desactivación de escenas del sistema Controlux Tunnel.

La solución adoptada se basa en proveer las condiciones de iluminación óptimas para el paso de los usuarios sin perjuicio de la seguridad en la instalación, por ello, la estabilidad del sistema y el diseño de este considerando el “fallo a una posición segura” fueron claves para la implantación del sistema.

Además, el sistema optimiza el mantenimiento de las instalaciones, reportando los parámetros eléctricos de cada luminaria, así como monitorizando aquellas que se encuentran en fallo.

3. Ejecución del proyecto

Dada la relevancia de la infraestructura en la canalización del tráfico de la ciudad, los cortes de tráfico asociados a la instalación de componentes y puesta en marcha tuvieron que realizarse en horas nocturnas. Ello añadió complejidad al conjunto del proyecto, haciendo que la asistencia a la instalación de componentes, así como la preparación de la puesta en marcha fueran cruciales.



Ilustración 6. Iluminación del túnel, durante una de las noches en las que se realizó mediciones lumínicas.

El proyecto se ejecutó en varias fases, entre las que destacan la instalación de luminarias y elementos de control, así como la puesta en marcha de las instalaciones, ajuste de las mismas a los parámetros de proyecto, mediciones lumínicas y la validación de la integración en el SCADA de las instalaciones.

En las sesiones de mediciones lumínicas, se validó que se cumplían los requerimientos lumínicos para cada escena mediante la realización de mallas de medición en varias zonas del túnel y a varios niveles de regulación de la iluminación.

Para minimizar el impacto de la sesión de mediciones lumínicas, se movilizó gran parte de los efectivos del equipo de proyectos de Carandini, realizando mediciones en paralelo una vez las mallas de medidas estaban dispuestas:



Ilustración 7. El equipo de mediciones lumínicas trabajando para la elaboración de una malla de medición de los niveles lumínicos de la instalación.

4. Resultados obtenidos

Desde hace más de un año, hay otro túnel brillando acorde a las necesidades de los usuarios que transitan por el interior del mismo de forma continua. Todo ello, se ha realizado en unos tiempos difíciles y horas nocturnas.

La solución lumínica implementada, consta de una potencia instalada que es el 70% de la que había con la solución de VSAP original, teniendo siempre en cuenta que se han doblado los niveles lumínicos por exigencia de la adaptación normativa. Además, la solución LED provee un incremento de los niveles lumínicos en todas las zonas del túnel ya que el proyecto se ha hecho adaptando la iluminación del túnel a la normativa vigente, más exigente que la original.

En cuanto al uso de energía de la instalación, la solución de control Controlux Tunnel de Carandini ha desplegado más de 25 escenas lumínicas que permiten la adaptación de las condiciones de iluminación del túnel a la luminancia de boca (L20) así como a la densidad del tráfico (alto/medio) y el estado del pavimento (seco/mojado). El ahorro conseguido mediante la solución de control es entorno al 35-40 % respecto a la implementación de sistemas de apagado alternativo de luminarias (3 niveles de regulación por circuitos eléctricos). Todo ello, pone de manifiesto el grado de eficiencia de los sistemas actuales de regulación de instalaciones para túneles, permitiendo la adaptación de estas a las condiciones requeridas en cada momento sin perjuicio de la seguridad del tráfico ni los niveles de uniformidad en la misma.



Ilustración 8. Iluminación diurna durante una de las noches de puesta en marcha de la instalación.

5. Conclusiones de explotación

Después de un año de explotación de la instalación se ha procedido a analizar el comportamiento y casuísticas del sistema de control adaptativo del alumbrado en función de las variables de entrada al mismo y la correlación con los niveles (escenas) de iluminación que el sistema aplica. Se han estudiado los diferentes aspectos:

1. Análisis de valores lumínicos reales respecto de valores de diseño y conclusiones al respecto.

Los valores de diseño de la iluminación del túnel y el valor L20 en particular se establecieron en este caso conforme a la normativa UNE-CR 14380:2007 IN, donde en su Anexo XX establece el procedimiento de cálculo para estudiar el valor de la iluminación en la zona umbral del túnel y el desarrollo posterior de la curva lumínica. Estos valores fueron, para cada uno de los sentidos del túnel de Vila Olímpica:

- Sentido Besos (NE): 3.615 cd/m²
- Sentido Llobregat (SO): 4.227 cd/m².

Los valores máximos mensuales registrados de luminancia para cada uno de los sentidos son los siguientes:

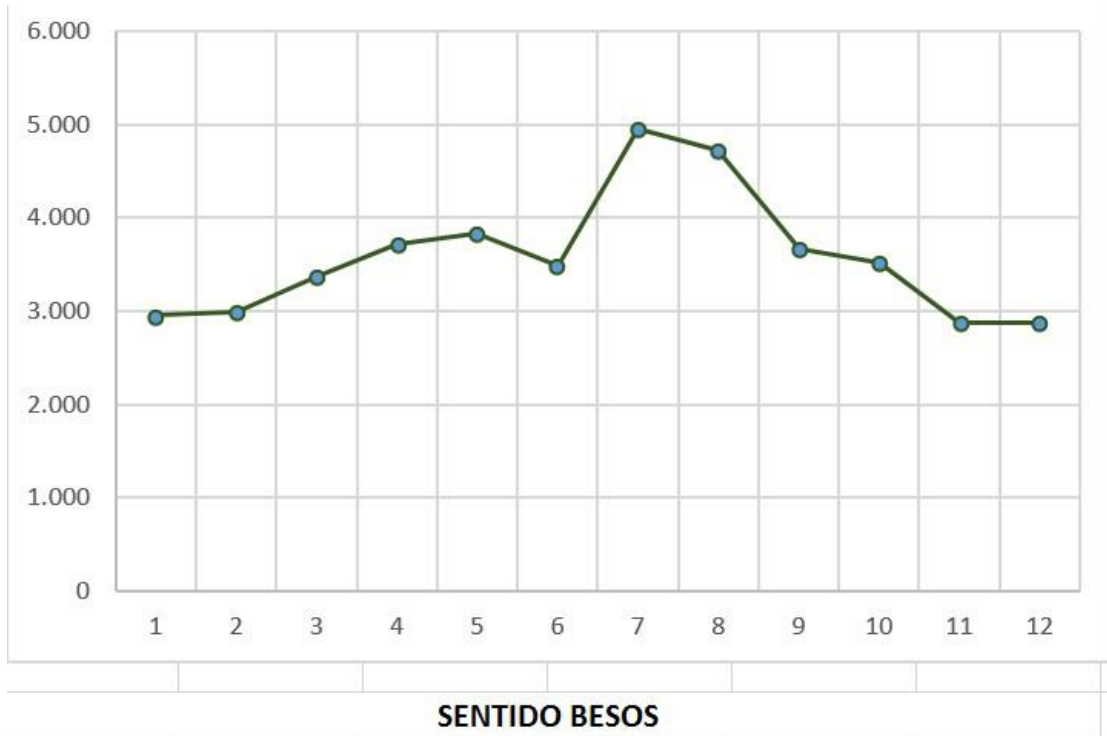
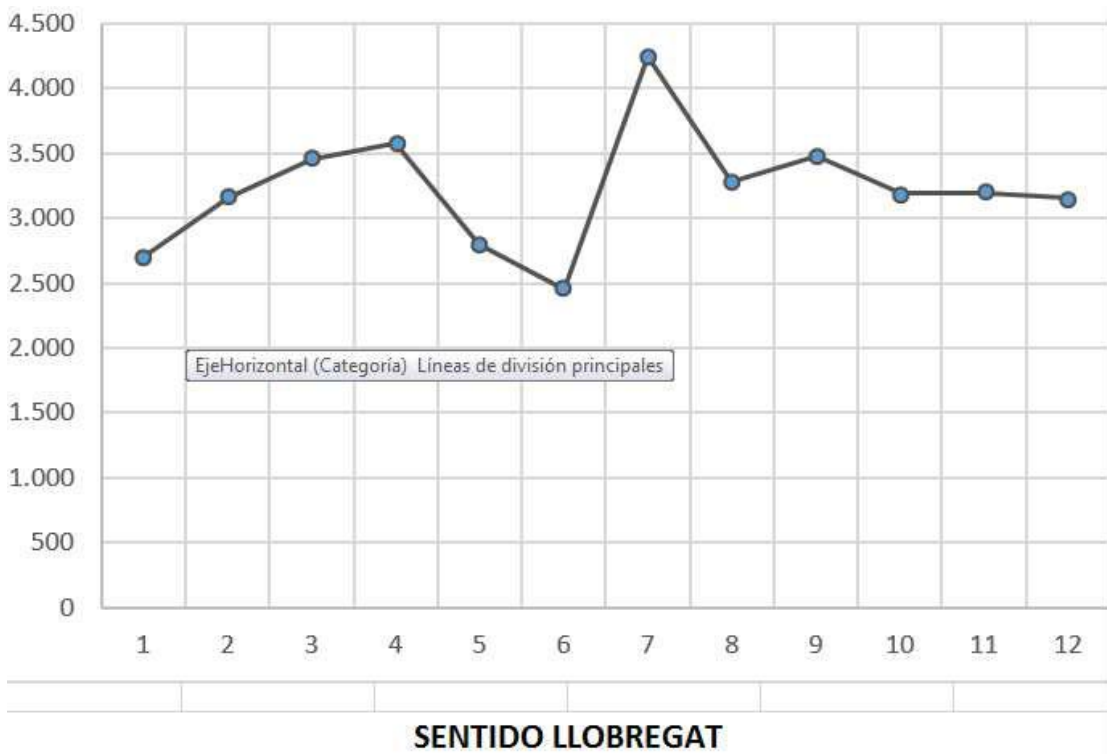


Ilustración 9. Valor máximo mensual de la luminancia medida de boca de túnel. Sentido Besos.

Donde el valor de diseño es de 3.615 cd/m²



*Ilustración 10. Valor máximo mensual de la luminancia medida de boca de túnel.
Sentido Llobregat.*

Donde el valor de diseño es de 4.227 cd/m².

Por otro lado, el funcionamiento anual por escenas de la iluminación según los diferentes parámetros se explica según la siguiente tabla:

L20 MEDIDA	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
SECO/MEDIO	969,91	931,62	736,55	528,93	331,11	156,40	349,53	4.004,05
SECO/ALTO	590,45	664,23	571,20	465,13	367,90	106,36	87,47	2.852,74
MOJADO/MEDIO	39,88	67,58	156,24	169,11	192,76	61,93	55,61	743,11
MOJADO/ALTO	49,72	62,76	352,40	265,71	246,43	37,79	63,84	1.078,65
TOTAL DIURNO	8.678,55							
NOCTURNO	8.326,88							
NOCTURNO REDUCIDO	512,80							
TOTAL NOCTURNO	8.839,68							
ERROR	1,77							
TOTAL	17.520,00							

(Los valores son los totales agregados de funcionamiento de los dos sentidos de tráfico)

Siendo los valores de funcionamiento en porcentajes respecto del total los siguientes:

L20 MEDIDA	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
SECO/MEDIO	5,54%	5,32%	4,20%	3,02%	1,89%	0,89%	2,00%	22,85%
SECO/ALTO	3,37%	3,79%	3,26%	2,65%	2,10%	0,61%	0,50%	16,28%
MOJADO/MEDIO	0,23%	0,39%	0,89%	0,97%	1,10%	0,35%	0,32%	4,24%
MOJADO/ALTO	0,28%	0,36%	2,01%	1,52%	1,41%	0,22%	0,36%	6,16%
TOTAL DIURNO	49,54%							
NOCTURNO	47,53%							
NOCTURNO REDUCIDO	2,93%							
TOTAL NOCTURNO	50,45%							
ERROR	0,01%							
TOTAL	100,00%							

El valor de diseño según la norma, establecido para un nivel de luminancia de L20, con un pavimento en estado mojado y la intensidad de tráfico más alta es el que se corresponde con el valor en rojo, de lo cual se desprende que

diseñamos los niveles de iluminación para una escena que se produce un total del 0,28% del año.

Por todo ello, podemos establecer algunas conclusiones con respecto a este apartado:

a.- Los valores del diseño normativo de la norma aplicada no son alejados de los valores medidos reales en el caso particular del túnel, si que presenta una varianza importante durante el año, dándose el caso que, durante los meses de verano, estos se encuentra incluso por encima del valor de diseño, ahora bien la ocurrencia del escenario de diseño es menor a un 0,3% del año (escenario arco-iris), así como la distribución anual de las diferentes situaciones de valores de entrada al sistema de control es distribuido lo cual hace concluir la bondad de la implementación de sistemas de control adaptativo en la iluminación LED de los túneles.

b.- Una buena práctica en el diseño de la renovación de túneles existentes, puede ser el disponer previamente y durante un periodo de tiempo (mínimo 6 meses) de un luminancímetro temporal instalado en boca de túnel con objeto de medir valores reales que contraponer a los cálculos normativos, antes de realizar el diseño de la nueva iluminación del túnel.

2. Análisis de las horas de funcionamiento de escenas y conclusiones al respecto

Utilizando más los datos de explotación del sistema de control instalado en el túnel, con respecto a la cantidad de escenas aplicadas en el año, se establecen las siguientes, por cada uno de los sentidos de tráfico del túnel:

SENTIDO LLOBREGAT

L20 MEDIDA	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
SECO/MEDIO	4050	4498	3742	2687	2225	1604	2537	21343
SECO/ALTO	4864	5727	4949	2592	1943	943	959	21977
MOJADO/MEDIO	425	960	2062	1133	809	522	594	6505
MOJADO/ALTO	595	1290	5273	1432	539	231	499	9859
TOTAL DIURNO	59684							
NOCTURNO	817							
NOCTURNO REDUCIDO	344							
TOTAL NOCTURNO	1161							
ERROR	13							
TOTAL	60858							

Lo cual establece un cambio de escena (es decir un recalcado de la iluminación a aplicar por parte del algoritmo de control) de un promedio aproximado de cada 4,3 minutos durante el día.

SENTIDO BESOS

L20 MEDIDA	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
SECO/MEDIO	2579	3146	3057	2503	1480	405	193	13363
SECO/ALTO	1791	2483	2652	2585	1617	361	149	11638
MOJADO/MEDIO	178	294	704	1278	1103	201	28	3786
MOJADO/ALTO	45	104	495	1526	1413	247	60	3890
TOTAL DIURNO	32677							
NOCTURNO	745							
NOCTURNO REDUCIDO	341							
TOTAL NOCTURNO	1086							
ERROR	10							
TOTAL	33773							

Lo cual establece un cambio de escena (es decir un recalcu de la iluminación a aplicar por parte del algoritmo de control) de un promedio aproximado de casi 8 minutos durante el día.

Analizada la varianza se observa que el número total de escenas aplicadas durante un año en un sentido (sentido Llobregat) es un 80% superior al otro (Sentido Besos). Se debe a:

- 93% más de cambios debidos a detección de estado de pavimento.

Revisando el funcionamiento del luminancímetro integrado, el mismo realiza una operación de tratamiento de imagen sobre la observación extrayendo una región de la superficie de la carretera (de manera predeterminada, es aproximadamente la región utilizada para la medición del tráfico, pero esto es configurable) y alimenta los píxeles de la imagen a un clasificador de aprendizaje automático, después de un paso de normalización. El clasificador genera una decisión binaria: húmedo o seco.

Como la región de estudio se encuentra superpuesta con la zona de tráfico, ésta tiene una gran varianza de la imagen que se produce debido al paso de vehículos, especialmente en situaciones de tráfico denso y lento, dificultando el aprendizaje del sistema para detectar adecuadamente los diferentes estados: SECO, HUMEDO.

Como se mencionó anteriormente, es posible reconfigurar la zona/región de medición, diferenciando la sección a observar de la de la sección que observar el tránsito, enfocando regiones con menor tránsito, por ejemplo, la región del arcén.

- 83% más de cambios debido a detección de estados de tráfico.

Analizando los datos de tránsito, se detecta una diferencia entre ambos sentidos de circulación en cuanto al mayor porcentaje de retenciones por día en el sentido Llobregat (singularidad propia de las Rondas como vía de alta capacidad que opera habitualmente en sus límites de servicio) que en el

sentido Besos. El tratamiento en bruto de los datos de tránsito a bajos periodos de intervalo deriva en esta varianza que se transforma en interpretación de los diferentes estados de tránsito: ALTO, MEDIO, BAJO de la normativa lumínica

3. Análisis de las horas de funcionamiento de escenas y conclusiones al respecto

De lo analizado anteriormente en el presente capítulo, se puede desprender los siguientes aspectos:

- Los valores de diseño de luminancia umbral se han comprobado que se ubican siempre por encima de los valores máximos que se van produciendo durante el año, exceptuando los meses de verano en uno de los sentidos. No obstante, el tiempo de ocurrencia durante el año de la escena de diseño (MAXIMA LUMINANCIA, PAVIMENTO HUMEDO Y TRÁFICO ALTO) se sitúa en un 0,3% del total. Todo ello nos lleva a reflexionar sobre los valores de diseño del túnel y si son estos ya adecuados son adecuados o bien se encuentran sobredimensionados.
- Conviene implementar medidas para el tratamiento de los datos en bruto de los sensores que detectan los diferentes parámetros antes de entrar en el algoritmo de decisión de los niveles lumínicos, implementando, por ejemplo, medias móviles en los datos de medición de tránsito.
- Conviene diferenciar las zonas de detección de tránsito de las zonas de detección de estados de pavimento en los luminancímetros integrados.
- Conviene implementar redundancias en los sistemas de detección de los diferentes parámetros con objeto de comprobar y contrastar la bondad de los valores medidos y detectar desvíos y alarmas en el valor.

Roberto Martinez Garcia
Ingeniero Industrial
Coordinación General de Infraestructuras
Área Metropolitana de Barcelona

Francisco Javier Traveria Molero
Ingeniero Industrial
Technical & Innovation Director
C Y G CARANDINI, S.A.U.