

Título del trabajo/ Title of paper

Sistemas de evaluación dinámica de luminancia e iluminancia en túneles. Caso práctico: Túnel de l'Olleria de la autovía A-7.

Autor/es/ Author/s

Aquilino Molinero Martínez (AMAC Europa)
Alberto Senén Perales García (AMAC Europa)
Guillermo Llopis Serrano (Demarcación de Carreteras del Estado en la Comunidad Valenciana del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana - Mitma. España).

Empresa/s Company/s

AMAC Europa SL y Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Dirección principal/ Mail address

AMAC Europa SL
Parque Tecnológico de Boecillo parcela 209
47151 Boecillo Valladolid

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

Phone, fax number and e-mail address of the contact person

Tif: 983-02 41 00
Móvil: 651 55 65 45
e-mail: amoliner@amaceuropa.es; info@amaceuropa.es

Tema:

12. *Realizaciones prácticas.*

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

**Sistemas de evaluación dinámica de luminancia e iluminancia en túneles.
Caso práctico: Túnel de l'Ollería de la autovía A-7**

0-Resumen/Abstract

0.1.- Resumen en español:

Una eficiente iluminación en túneles supone una valiosa apuesta desde el punto de vista económico y de la seguridad vial. El avance de las tecnologías ha permitido sustituir las evaluaciones manuales (puntuales) de la iluminación de túneles por evaluaciones dinámicas (continuas) realizadas por los sistemas de alto rendimiento, capaces de evaluar luminancia e iluminancia a la velocidad de la vía y sin interrumpir el tráfico, según determinan las normativas y recomendaciones correspondientes.

Un sistema de alto rendimiento podrá medir luminancia e iluminancia de manera dinámica si y solo si cumple con las normativas y recomendaciones nacionales e internacionales como la *UNE-EN-13201-4: "Métodos de medida de las prestaciones fotométricas"* y el Technical report CIE-194:2011: "*On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting*".

En esta comunicación se muestran los resultados reales de un caso concreto de evaluación dinámica de la iluminación (luminancia) del Túnel de Ollería (compuesto por dos tubos unidireccionales y ubicado en la autovía A-7, en la provincia de Valencia, y con cinco niveles de iluminación) y posterior comparativa con los valores teóricos según normativa aplicable (*Orden Circular 36/2015 del Ministerio de Fomento de España*). La obtención de medidas continuas procedentes de esta evaluación dinámica, ha permitido la identificación precisa de los tramos específicos de cada tubo en los que es necesaria una actuación optimizada sobre la iluminación para adecuarse a la normativa (en lugar de actuar a lo largo de toda la longitud del túnel): cambios de regulación de la intensidad de las luminarias, aplicación de pinturas porcelánicas,...; siendo verificadas estas actuaciones en una segunda evaluación dinámica.

El interés de esta comunicación en el XLIX Simposium Nacional de Alumbrado radica en la innovación técnica y la aplicabilidad y transferibilidad de los resultados a aquellos túneles que necesitan una adecuación a la normativa aplicable para una eficiente iluminación.

0.2.- Resumen en inglés:

An efficient lighting in tunnels means a very valuable bet from the economical point of view and from the road safety too. The advance in the technologies has allowed the substitution of the manual evaluations (occasional ones) of the lighting in tunnels by the dynamic evaluations (permanent or continuous ones) carried out by high performance systems, capable of evaluating luminance and illuminance at the speed of the road without interrupting the traffic, as established by the appropriate regulations and recommendations.

A high-performance system will be able to measure luminance and illuminance in a dynamic way, only if it complies with national and international regulations and recommendations such as EN-13201-4: "Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance" and in the Technical Report CIE-194:2011: "On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting".

In this notice/report, one can see the actual results obtained from a specific dynamic evaluation case in the lighting (luminance) of the Ollería Tunnel (composed of 2 one-way tubes and located in the A-7 motorway, in Valencia province, and with five lighting levels) and the subsequent comparison with the technical values according to the applicable regulation (Order-Circular 36/2015 by the Spanish Ministry of Development (Public Works and Transportation). The obtention of continuous measurements arising from this dynamic evaluation, allowed the accurate

identification of the specific road segments from each tube or tunnel where an optimized intervention on the lighting is necessary in order to adapt to the regulations (instead of acting all through the length of the tunnel): changes in the control and adjusting of the luminaires, the applying of porcelain paintings,...; with these actuations being verified in a second dynamic evaluation.

The interest of this notice/report lies in the technological innovation and the applicability and workability, and transferability of the results to those tunnels which do need to comply with the subsequent regulations for an efficient lighting.

1-Antecedentes y objeto de la ponencia

La adecuación de la **iluminación** de los túneles existentes en las diferentes redes de carreteras, exige que la instalación de alumbrado deba cumplir una serie de parámetros como los definidos en diferentes normativas o guías al respecto: *“Orden Circular 36/2015: Criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles” del Ministerio de Fomento* en el caso de la *Red de Carreteras del Estado de España*, y así asegurar a los usuarios unos requisitos mínimos de seguridad en los túneles, según se define también en la *“Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras”* y en su trasposición al ordenamiento jurídico español con el *“Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado”*.

El **Objetivo General** (OG) de la ponencia es el de mostrar cómo *“un análisis adecuado de la iluminación de un túnel puede conllevar por un lado un ahorro en el coste de iluminación del mismo, y por otro, analizar cómo diferentes actuaciones de mantenimiento sobre los hastiales de un túnel pueden mejorar los parámetros lumínicos del mismo y, por lo tanto, la seguridad vial para los usuarios”*.

El OG de esta ponencia se centra en el caso concreto del **túnel de l'Ollería**: un túnel compuesto por dos tubos unidireccionales de 580 y 960 m de longitud, con cinco niveles de iluminación y ubicado en la autovía A-7, en la provincia de Valencia.

En septiembre de 2015 se traspasó la titularidad del tramo de carretera en el que se ubica el túnel de la Generalitat Valenciana al antiguo Ministerio de Fomento de España, ahora Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Inicialmente, la iluminación de este túnel estaba formada por lámparas de VSAP, con refuerzo tanto en la boca de entrada como en la de salida, pero a consecuencia de los habituales fallos de luminarias y la dificultad para encontrar repuestos de las mismas, a finales de 2019 se sustituyó el alumbrado permanente del túnel por lámparas LED, manteniendo la iluminación de refuerzo existente de VSAP.

A su vez, este OG puede clasificarse en los siguientes **Objetivos Específicos** (OE):

OE 1: Análisis de la iluminación (luminancia en los cinco niveles de iluminación) del túnel de l'Ollería mediante sistemas de alto rendimiento.

OE 2: Detección de las zonas de ahorro y de mejora en cuanto a la iluminación del túnel mediante comparativa de los valores medidos con valores teóricos según normativa (OC 36/2015).

OE 3: Análisis de la posible mejora en los parámetros lumínicos tras la aplicación en hastiales de pintura porcelánica en el tubo sentido Alicante, y de limpieza con agua a alta presión en el tubo sentido Valencia.

El interés de esta comunicación en el XLIX Simposium Nacional de Alumbrado, radica en la innovación técnica y la aplicabilidad y transferibilidad de los resultados a aquellos túneles que necesitan una adecuación a la normativa aplicable para una eficiente iluminación.

2-Desarrollo y contenido de la ponencia

Los retos planteados por el cambio climático, la sostenibilidad y la resiliencia de las infraestructuras, así como la transformación tecnológica del transporte por carretera están suponiendo una redefinición de las normas de diseño y gestión de las carreteras y, por supuesto, de los túneles de carretera. Siendo la iluminación de los túneles un aspecto ya analizado en profundidad hasta la fecha, en este trabajo se pretende abordar cómo evaluar detalladamente los parámetros lumínicos en un túnel con el fin de poder proponer mejoras en el control de este tipo de instalaciones y de esta manera aprovechar esta sinergia en cuanto a la eficiencia energética asociadas a esas mejoras.

La Red de Carreteras del Estado de España (RCE) se compone de más de 26.000 kilómetros de carreteras (autopistas, autovías, carreteras multicarril y convencionales) en los que hay más de 350 túneles, con una longitud total superior a los 300 km. De estos, cerca de 80 túneles se encuentra dentro del ámbito de aplicación de la Directiva 2004/54/CE, es decir, pertenecen a la red transeuropea y tienen más de 500 metros de longitud.

Independientemente de lo anterior, la reglamentación que regula los requisitos mínimos de seguridad en todos los túneles de la RCE es la contenida en el Real Decreto 635/2006. Mientras que, lo que respecta a la iluminación de estos túneles, se rige por la "*Orden Circular 36/2015: Criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles*" del Ministerio de Fomento, en la que se determinan los valores de los parámetros lumínicos que deben cumplir los túneles de la RCE.

2.1.- Evaluación dinámica inicial de la iluminación en el túnel de l'Ollería.

Como ya se ha mencionado anteriormente, este estudio se centra en evaluar la iluminación del **túnel de l'Ollería**, perteneciente a la RCE y que está compuesto de dos tubos unidireccionales, de 960 y 580 m de longitud, y que cuenta con cinco niveles de iluminación: soleado, nublado, crepuscular, nocturno (permanente al 100%) y nocturno reducido (permanente al 50%).

2.1.1.- Sistema de alto rendimiento ILLUMETRIC.

Con el propósito de analizar detalladamente la iluminación (luminancia) de los niveles de iluminación del túnel de l'Ollería (**Objetivo Específico 1**), se llevó a cabo una evaluación dinámica inicial utilizando **sistemas de alto rendimiento** que cumplan las normativas/especificaciones adecuadas al respecto. En concreto, se utilizó el **sistema dinámico ILLUMETRIC** que consiste en un vehículo instrumentado que realiza la toma de medidas luminotécnicas y de inventario a la velocidad máxima permitida de la vía, sin ninguna afección al tráfico ni suponiendo cortes de carril, lo cual es una ventaja importante desde el punto de vista de las tareas de conservación del túnel.



Imagen 1.- Mediciones dinámicas de la iluminación en el túnel de l'Ollería con el vehículo ILLUMETRIC.

Las medidas de luminancia (L) mediante ILLUMETRIC se llevaron a cabo mediante el uso de cámaras calibradas en "L" (lo que se conoce como "ILMD" - Imaging Luminance Measurement Device), en lugar de usar luminancímetros estáticos, como se hacía y aun se sigue haciendo en muchas ocasiones. Esta medición se ha realizado según se describe en la instrucción técnica complementaria EA-08 del proyecto del nuevo "Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior", en la cual se hace referencia a la "UNE-EN-13201-4: "Iluminación de carreteras. Parte 4: Métodos de medida de las prestaciones de iluminación"" y al "Technical report CIE-194:2011: "On site measurement of the photometric properties of road and tunnel lighting" acerca de cómo deben hacerse estas mediciones de luminancia con sistemas ILMD.

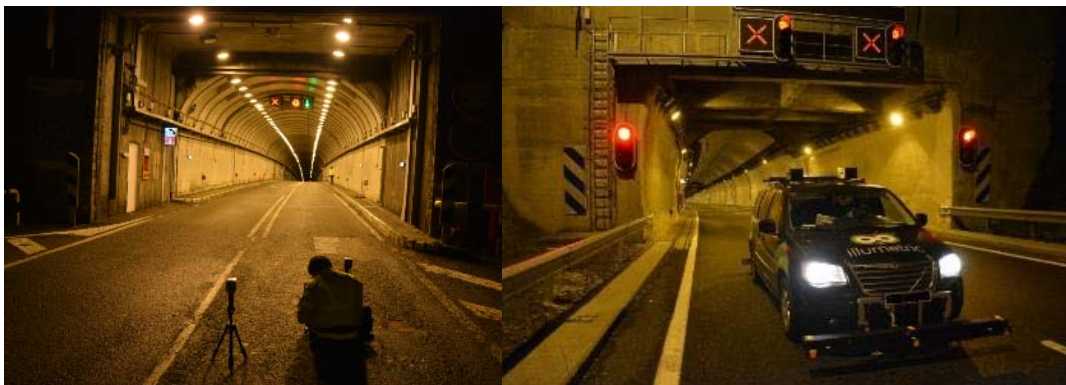


Imagen 2.- Medida de luminancia mediante luminancímetros manuales (una vez realizado un corte de carril) y medida de luminancia mediante ILMD instalado en equipo de alto rendimiento (sistema ILLUMETRIC: vehículo capaz de circular a velocidad máxima de la vía sin corte de carril).

Por otra parte, y aunque no es objeto de este trabajo, este sistema ILLUMETRIC también es capaz de la evaluación dinámica de la **iluminancia ("E")** cumpliendo las especificaciones al respecto, es decir, debe realizarse la medición a una altura menor de 30 centímetros respecto del nivel del suelo (según "UNE-EN-13201-4", ya mencionada anteriormente) y cumpliendo el también citado "Technical report CIE-194:2011" que describe el concepto de "luxómetro partido" para medir "E" de manera dinámica (dos grupos de luxómetros situados uno en la parte delantera y otro en la trasera de un vehículo que circule a la velocidad máxima de la vía).

7.5 Split-Detector System

7.5.1 System Description

The split-detector measuring system solves the main problems of the trailer system, but needs a more complex measurement algorithm and sophisticated elaboration of the measured signal.

Two photoelectric detectors, one placed on the front and one on the back of the vehicle, separately measure the light in front of and behind the vehicle. (Figure 7.13). The point illuminance value is obtained by adding the readings of each photoelectric detector, taken at the same spatial point.



Figure 7.13. Split-detector system.



Imagen 3.- (Izquierda) Definición de "Split-detector system o luxómetro partido" según el informe CIE-194:2011 e (derecha) imagen del sistema ILLUMETRIC dotado de un luxómetro partido instalado a 30 centímetros del nivel del suelo para poder evaluar iluminancia a la velocidad máxima de la vía.

2.1.2.- Resultados de la evaluación dinámica inicial de la iluminación del túnel de l'Ollería.

La caracterización dinámica de los valores de luminancia se llevó a cabo con el sistema de alto rendimiento ILLUMETRIC a una velocidad de 80 Km/h (máxima permitida en el túnel), sobre cada uno de los carriles de los dos tubos en los cinco niveles de iluminación: soleado, nublado, crepuscular, nocturno (circuito permanente al 100%) y nocturno reducido (circuito permanente al 50%).

Los resultados que se obtienen se centran en la variación de luminancia a lo largo del túnel, con los valores de la rejilla de luminancia desplazada a lo largo del túnel en intervalos de 5 metros como máximo y así tener la curva real de cada uno de los carriles por sentido y por cada uno de los niveles de iluminación, aportando además los valores de luminancia media (L_m), luminancia mínima, luminancia máxima, uniformidad global (U_o) y uniformidad longitudinal (U_L).

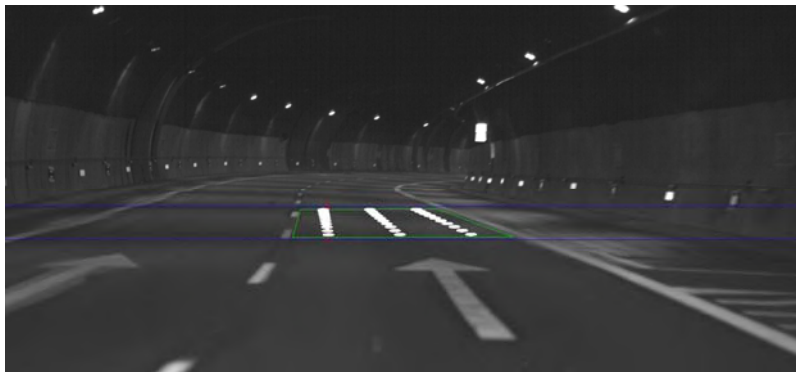


Imagen 4.- Ejemplo de rejilla deslizante en carril lento del túnel de l'Ollería.

Una vez obtenidos los valores de la luminancia a lo largo de cada carril y nivel, se llevó a cabo una comparativa de estos valores medidos con los valores reales que se extraen de la normativa aplicable en este túnel, la "Orden Circular 36/2015: Criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles" del Ministerio de Fomento. Mediante esta comparativa, se ha podido detectar el grado de cumplimiento de los niveles mínimos fijados por la normativa, así como en qué zonas del túnel existen **posibilidades de ahorro** lumínico (sobreiluminación con respecto a la normativa) y en qué zonas sería necesaria **una actuación para mejorar los** valores lumínicos.

A modo ilustrativo, se muestran a continuación un ejemplo de estas comparativas en cuanto a **luminancias**, para el caso concreto del "nivel soleado" y en los dos niveles nocturnos: "permanente al 100%" y "permanente reducido al 50%".

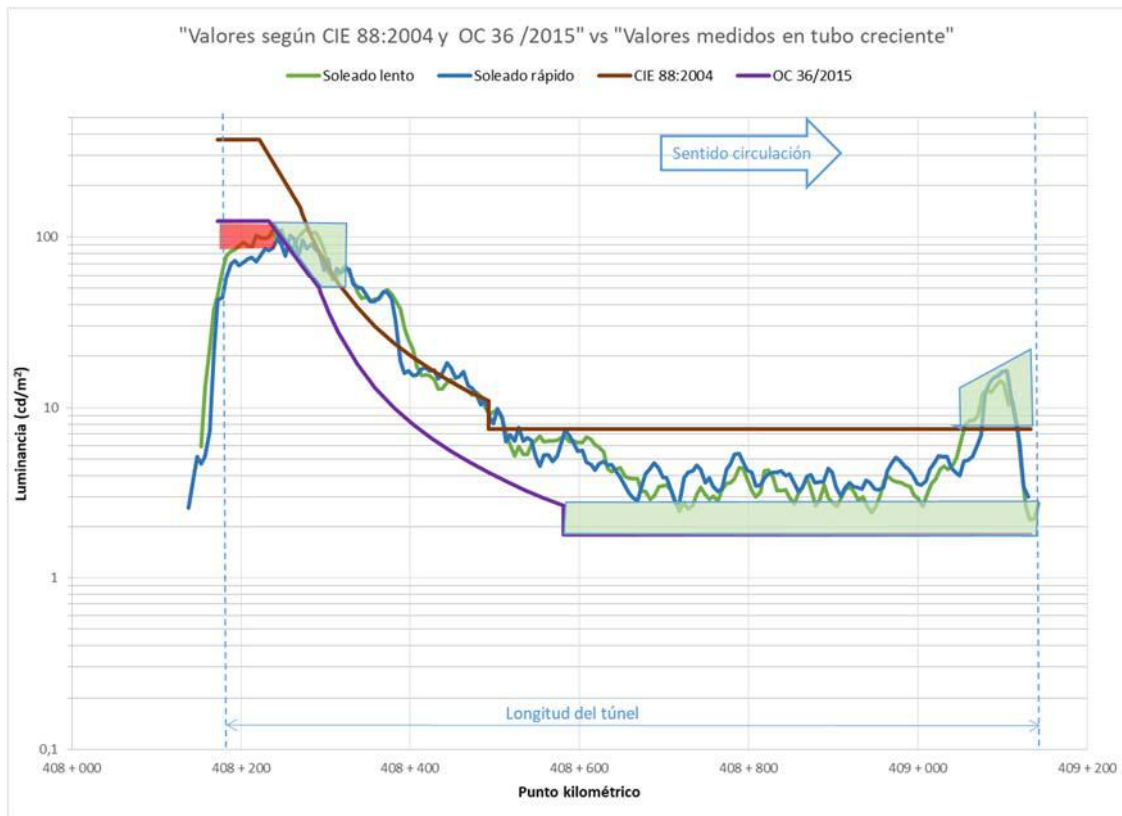


Imagen 5.- Ejemplo de comparativa entre los valores de luminancia en nivel **soleado** medidos con sistema de alto rendimiento (en carril lento y rápido, sentido creciente) y los valores teóricos según la normativa (OC 36/2015). Se da la circunstancia que se ha realizado también comparativa con valores teóricos según "CIE 88: CIE 88:2004. Guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores". Esta comparativa permite detectar zonas de ahorro o de necesidad de mejora.

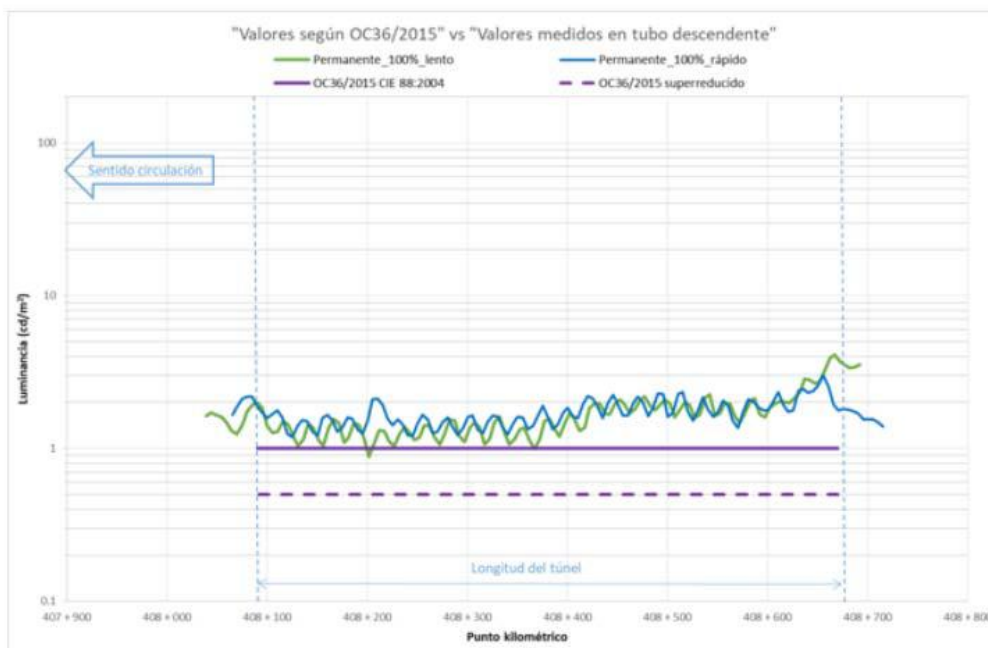


Imagen 6.- Ejemplo de comparativa entre los valores de luminancia en nivel permanente al 100% medidos con sistema de alto rendimiento (en carril lento y rápido, sentido decreciente) y los valores teóricos según la normativa (OC 36/2015).

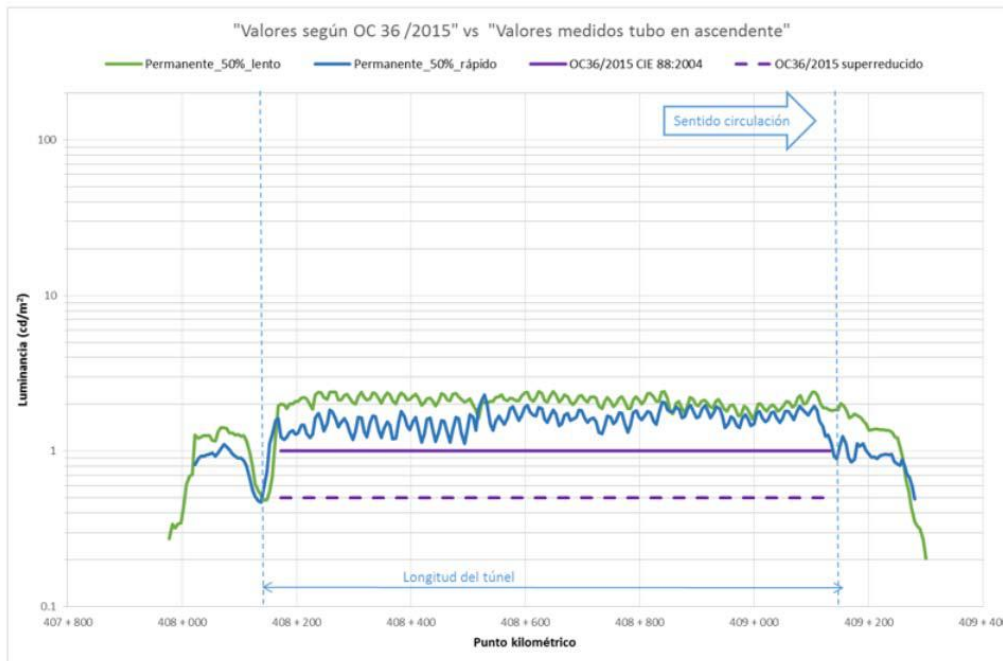


Imagen 7.- Ejemplo de comparativa entre los valores de luminancia en nivel permanente al 50% medidos con sistema de alto rendimiento (en carril lento y rápido, sentido creciente) y los valores teóricos según la normativa (OC 36/2015).

De igual manera, se llevó a cabo una comparativa de los valores de **uniformidades** en cada uno de los carriles en cada uno de los cinco niveles de iluminación frente a los valores teóricos de la OC 36/2015. En los valores medidos se observaron diversas fluctuaciones, detectándose también zonas en las que las uniformidades no alcanzaban los valores mínimos de la OC 36/2015, y por lo tanto ser zonas susceptibles de mejora (como se podrá observar en el apartado 2.2, en el que se describen las actuaciones llevadas a cabo para la mejora de las uniformidades).

El hecho de medir luminancias con cámaras calibradas en luminancia ha permitido obtener imágenes de las zonas donde han podido existir valores anormales y así ayudar a interpretar su origen (por ejemplo, presencia de marcas viales que implican valores de luminancia o uniformidades anormales, presencia de apartaderos iluminados,...). La imagen siguiente muestra un ejemplo (para el caso de las medidas realizadas en el régimen permanente al 100%).

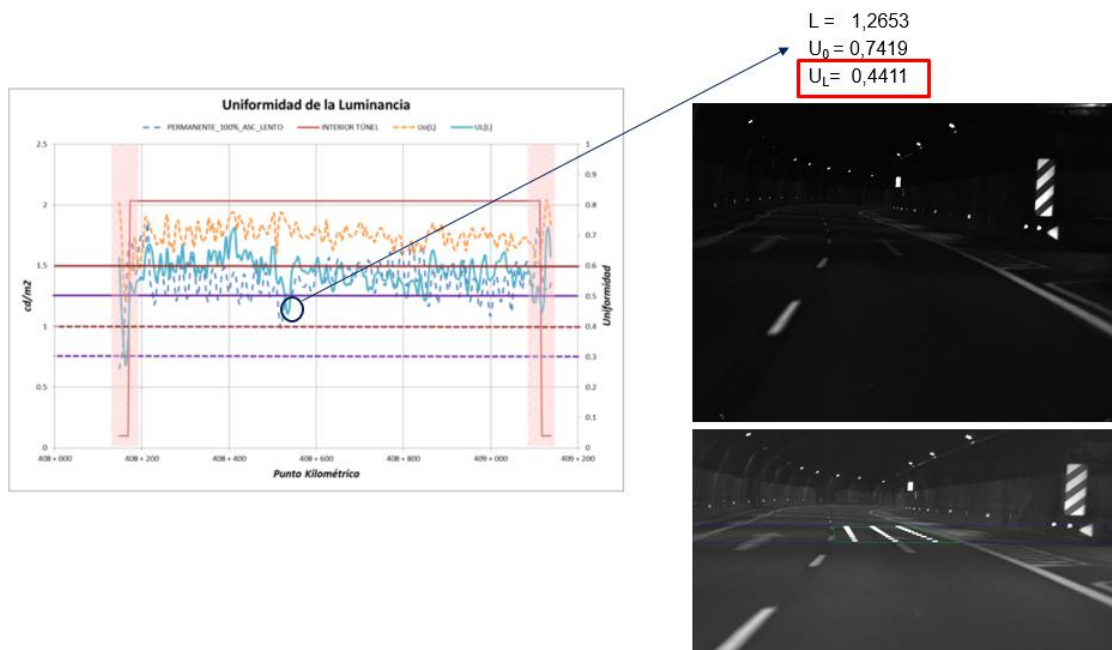


Imagen 8.- Ejemplo de comparativa entre los valores de uniformidades globales y longitudinales en nivel permanente al 100% medidos con sistema de alto rendimiento en carril lento, sentido creciente) y los valores teóricos según la normativa (OC 36/2015). También se ilustran los valores teóricos según “CIE 88: CIE 88:2004”. En este ejemplo se ilustra cómo la presencia de una marca vial (símbolo) y la presencia de un apartadero influye en los valores anómalos de las uniformidades.

2.1.3.- Ahorro potencial resultante de la comparativa entre valores medidos de iluminación y valores teóricos.

La precisión de la comparativa realizada entre los valores medidos por el sistema de alto rendimiento ILLUMETRIC y los valores teóricos según la OC 36/2015 ha permitido detectar tanto las zonas de potencial ahorro, como en las que es necesaria una actuación de mejora de iluminación (**Objetivo Específico 2**). En el caso de las zonas de ahorro, se ha realizado un estudio analizando la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera que supondrá el ajuste de los valores de luz que existen a los valores de luz que cumplen estrictamente los de la OC 36/2015 en las zonas donde se ha detectado que existe sobreiluminación.

Para ello, se han estimado las horas de funcionamiento de cada uno de los cinco niveles de iluminación y el ahorro conseguido al eliminar el alumbrado innecesario quedando de la siguiente manera:

- La eliminación del refuerzo en la zona de salida en los niveles soleado, nublado y crepuscular supone un ahorro de 4,8 KW durante 4.850 horas al año.
- La adecuación del nivel permanente reducido, supone un ahorro de 3,54 KW durante 1.725 horas al año.
- De manera global, la adecuación de la iluminación del túnel de l'Ollería a los valores de la normativa (OC 36/2015) permite reducir 21 toneladas de CO₂ liberadas a la atmósfera anualmente.

2.2.- Actuaciones para la mejora de los parámetros lumínicos del túnel de l'Ollería.

Una vez realizada la primera evaluación dinámica de la iluminación del túnel en el 2020, se llevaron a cabo una serie de actuaciones para mejorar los parámetros lumínicos (luminancia o

uniformidades) en cada uno de los tubos (**Objetivo Específico 3**). Estas actuaciones han consistido en:

- Tubo sentido Alicante (pp.kk. crecientes): limpieza con agua a presión (unos 400 bares) y posterior aplicación de dos capas de **pintura porcelánica** en los hastiales.



Imagen 9.- Hidrolimpieza de hastiales del tubo sentido Alicante.



Imagen 10.- Pintura de hastiales del tubo sentido Alicante.

- Tubo sentido Valencia (pp.kk. decrecientes): sólo **limpieza con agua a presión** (unos 400 bares) de ambos hastiales.



Imagen 11.- Hidrolimpieza de hastiales del tubo sentido Valencia.

2.2.1.- Resultados lumínicos tras las actuaciones de mejora.

Con el fin de conocer la influencia de estas dos actuaciones en la mejora de los valores lumínicos en cada tubo, se llevaron a cabo nuevas evaluaciones dinámicas (sólo en nivel soleado, permanente 100% y permanente reducido al 50%) con el mismo sistema de alto rendimiento (ILLUMETRIC). Previo a estas medidas, se realizó el ajuste de determinadas luminarias en base a los resultados de la primera medición dinámica y su comparación con los valores fijados por la Orden Circular 36/2015:

- Eliminación de luminarias de refuerzo de VSAP en la zona interior y de salida del túnel en los niveles soleado, nublado y crepuscular.
- Ajuste (reducción) de la cantidad de luz emitida por las luminarias LED en algunas zonas del túnel en nivel nocturno (permanente al 100%).
- Revisión del nivel nocturno reducido (permanente al 50%), para hacer efectiva la reducción de iluminación que no se observó en la primera medición.

Las nuevas evaluaciones dinámicas muestran las siguientes consideraciones:

- La eliminación de luminarias de refuerzo (VSAP) en la zona de salida de cada tubo del túnel en nivel soleado, supone un ahorro lumínico al respecto, independientemente de haber aplicado un repintado o una limpieza de las paredes laterales.

Cabe destacar de nuevo, como ya se ha mencionado anteriormente que, junto con la eliminación de las luminarias de refuerzo en la zona de salida, se eliminaron también una serie de luminarias de VSAP en la parte interior del túnel. Es ésta la razón por la que el valor de luminancia en la parte central del túnel se reduce ligeramente, a la vez que posee menos variaciones, como se muestra en la imagen siguiente.

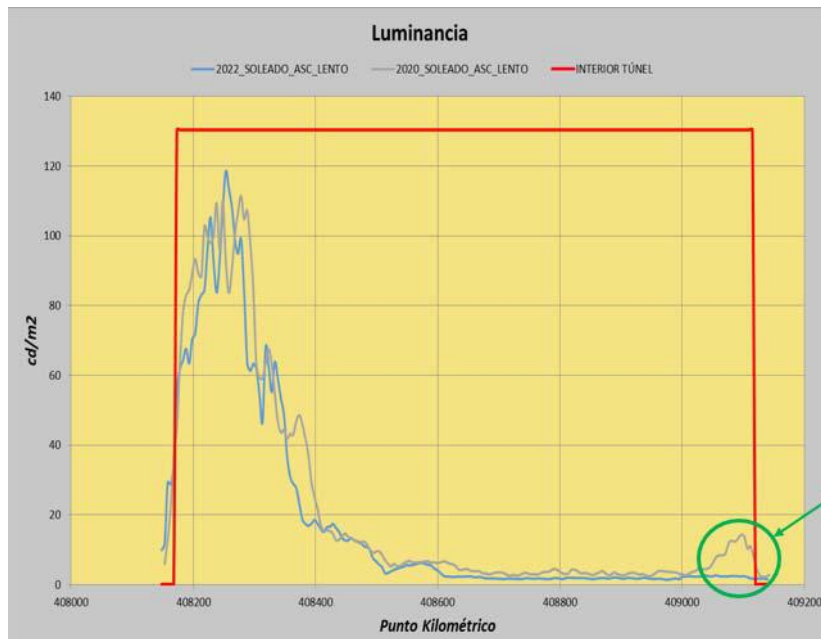


Imagen 12.- Ejemplo de ahorro conseguido en la zona de salida (nivel soleado) tras eliminar luminarias VSAP en zona interior y refuerzo en la zona de salida del tubo creciente.

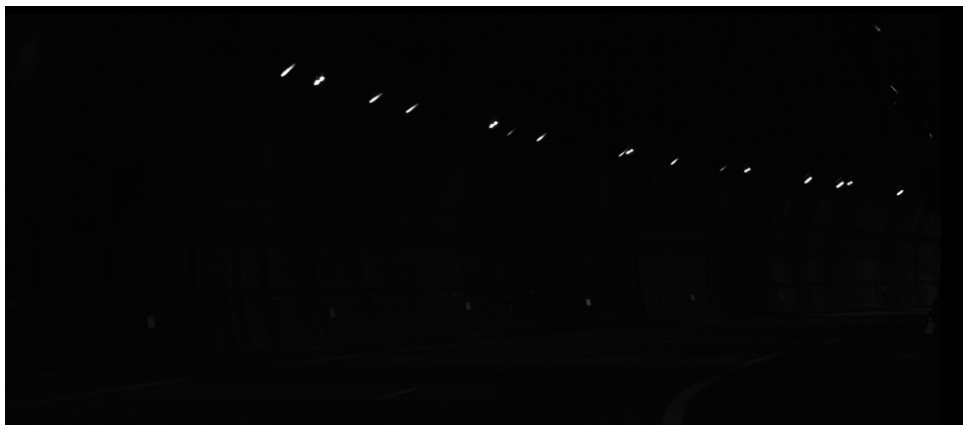


Imagen 13.- Imagen de la iluminación en el túnel de l'Ollería nivel soleado – zona de salida en 2020, con iluminación LED+VSAP+refuerzo en salida.

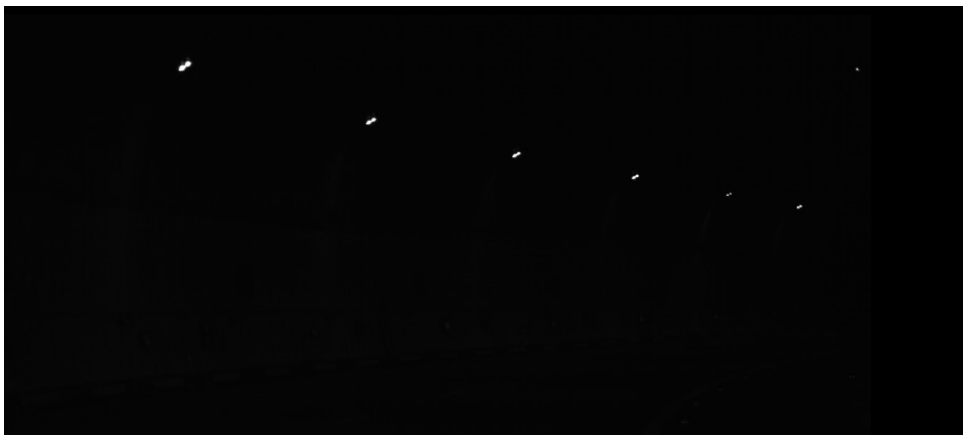


Imagen 14.- Imagen de la iluminación en el túnel de l'Ollería nivel soleado – zona de salida en 2022, sólo con iluminación LED.

- El ajuste de luminarias LED en algunas zonas de cada tubo del túnel en el nivel nocturno (permanente al 100%), así como la revisión de la efectiva reducción en el nivel nocturno reducido (permanente al 50%), han supuesto un ahorro lumínico al respecto, independientemente de haber realizado un repintado y/o una hidrolimpieza de los hastiales.

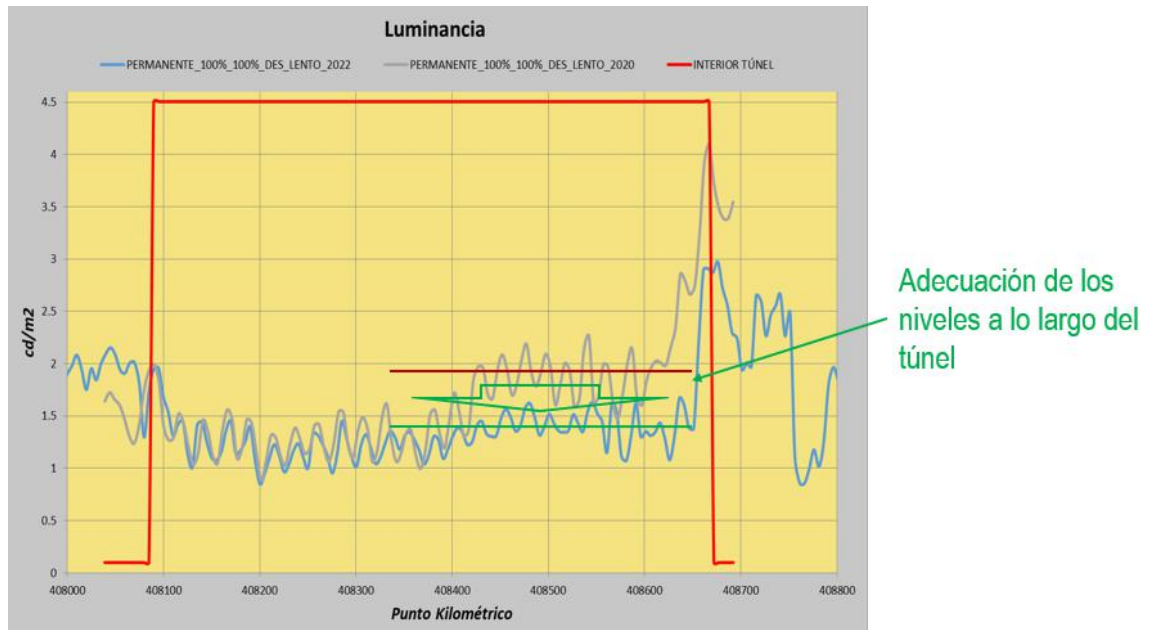


Imagen 15.- Ejemplo de ahorro conseguido en túnel con nivel nocturno (permanente al 100%) sentido decreciente, tras ajuste de luminarias e hidrolimpieza de hastiales).

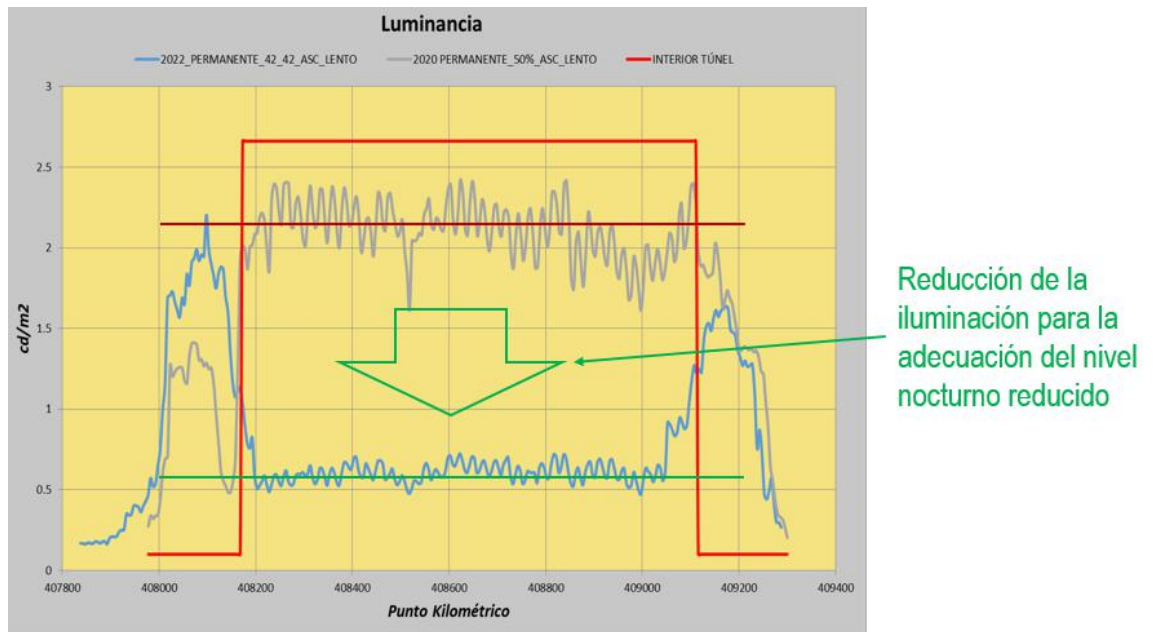
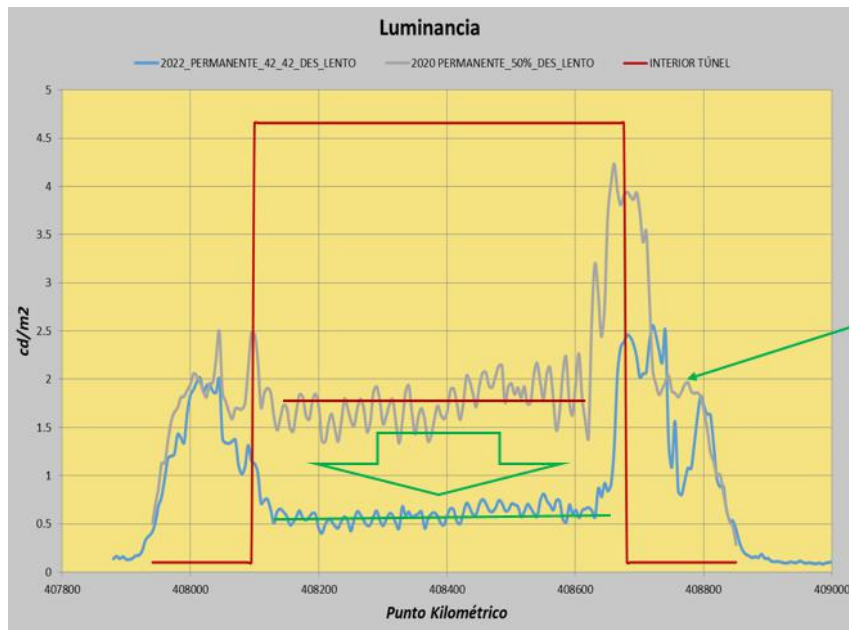


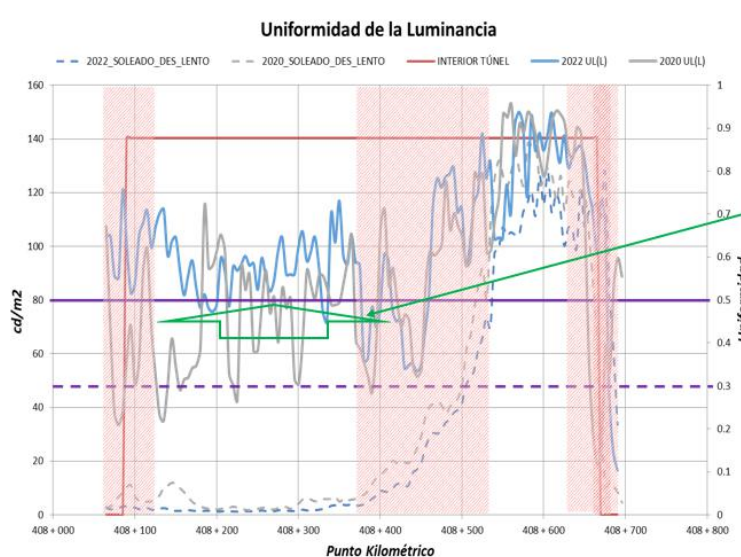
Imagen 16.- Ejemplo de ahorro conseguido en túnel con nivel nocturno reducido (permanente al 50%) sentido creciente, tras ajuste de luminarias, hidrolimpieza y pintado de hastiales).



Adecuación de los niveles a lo largo del túnel

Imagen 17.- Ejemplo de ahorro conseguido en túnel con nivel nocturno reducido (permanente al 50%) sentido decreciente, tras ajuste de luminarias e hidrolimpieza de hastiales.

- Mejora de la uniformidad (tanto global, como longitudinal), en los tres niveles medidos, pero destacando especialmente la mejora en el nivel soleado:
 - Tubo sentido Alicante, donde se ha realizado limpieza con agua a presión y posterior pintado de hastiales: La mejora de las uniformidades ha sido importante. También se ha observado que, con la aplicación de pintura, la mejora de luminancia ha sido mínima, pese a la mejora de la reflexión de la luz en hastiales.
 - Tubo sentido Valencia, donde se ha realizado únicamente limpieza de hastiales con agua a presión: Se ha producido una ligera mejora de uniformidades. En este caso, no se ha producido ninguna mejora de la luminancia.



Mejora de la uniformidad longitudinal

Imagen 18.- Ejemplo de mejora en la uniformidad longitudinal (nivel soleado) gracias a la hidrolimpieza de hastiales del tubo decreciente.

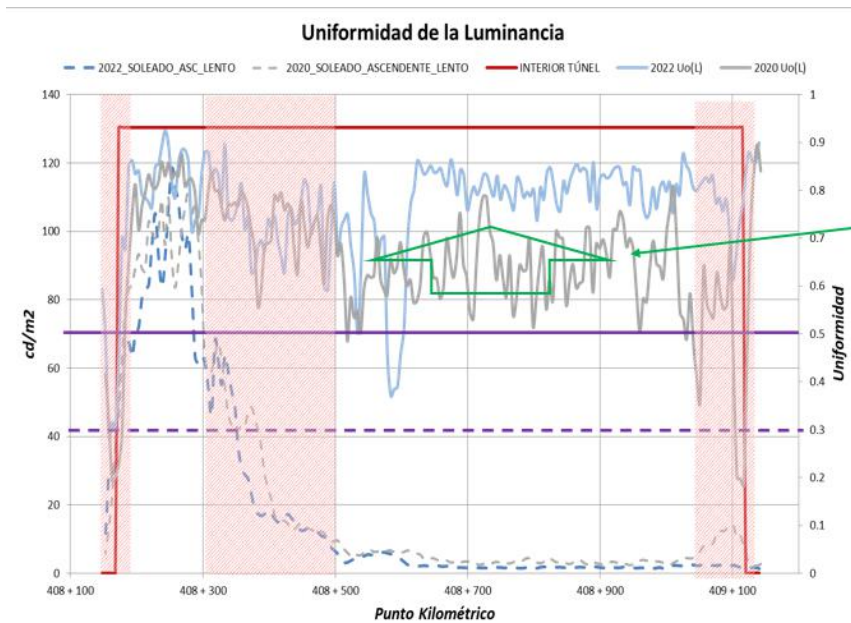


Imagen 19.- Ejemplo de mejora en la uniformidad global (nivel soleado) gracias a la aplicación de hidrolimpieza y pinturas porcelánicas en hastiales del tubo creciente.

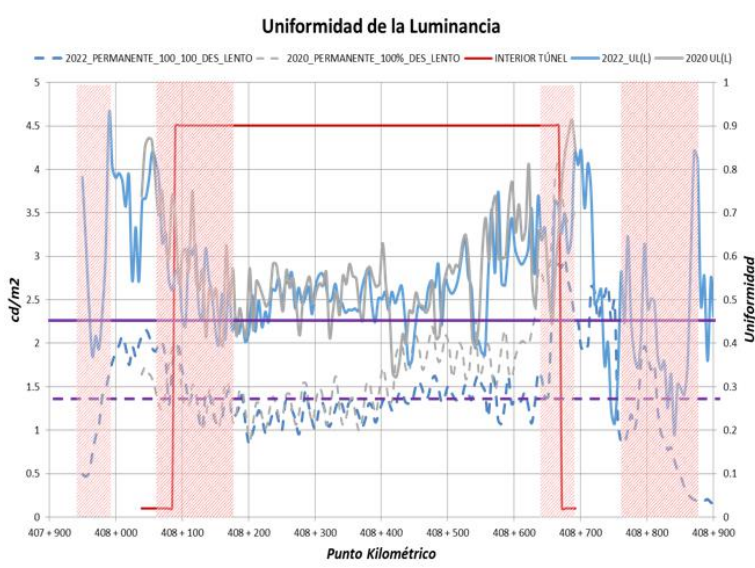


Imagen 20.- Ejemplo de variación en la uniformidad longitudinal (nivel nocturno - permanente al 100%) gracias a la hidrolimpieza de hastiales del tubo decreciente.

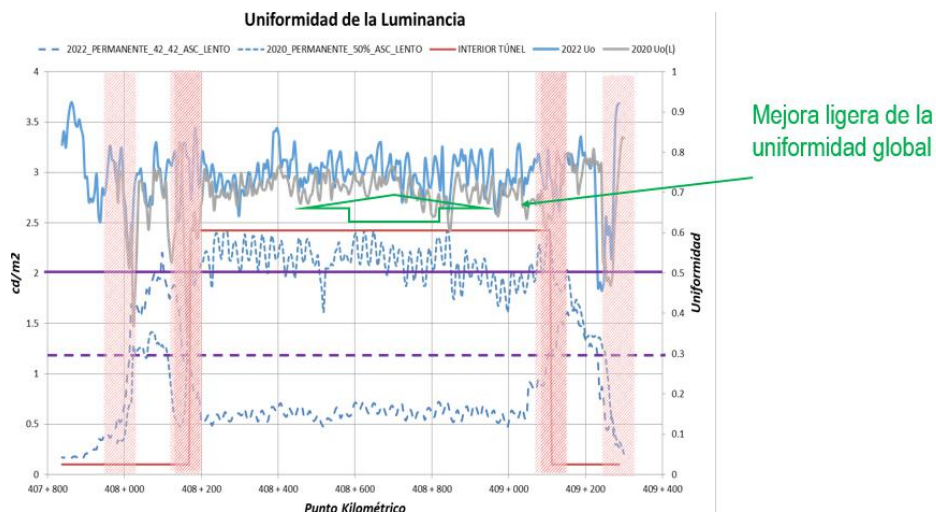


Imagen 21.- Ejemplo de mejora en la uniformidad global (nivel soleado) gracias a la aplicación de hidrolimpieza y pinturas porcelánicas en hastiales del tubo creciente.

3-Conclusiones

En esta comunicación se muestran los resultados reales de un caso concreto de evaluación dinámica de la iluminación (luminancia) del Túnel de l'Ollería (compuesto por dos tubos unidireccionales, de 960 y 580 m de longitud, ubicado en la autovía A-7 (provincia de Valencia) y con cinco niveles de iluminación) y posterior comparativa con los valores teóricos según normativa aplicable (*Orden Circular 36/2015 del Ministerio de Fomento de España*).

La obtención de medidas continuas procedentes de esta evaluación dinámica, ha permitido, en primer lugar, comprobar el cumplimiento de la luminancia y uniformidades mínimas establecidas en la normativa para cada uno de los niveles lumínicos, cosa que se desconocía por ser un túnel traspasado al Estado desde la Administración Autonómica Valenciana. Además, ha sido posible identificar de forma precisa los tramos de cada tubo en los que era necesario realizar una actuación sobre la iluminación para adecuarse a la normativa (en lugar de actuar a lo largo de toda la longitud del túnel):

- Eliminación de luminarias VSAP, tanto en la zonas interiores, como de refuerzo en las zonas de salida (nivel soleado, nublado y crepuscular) de ambos tubos con el consiguiente ahorro energético.
- La adecuación de las luminarias LED en diversas zonas del túnel, tanto en el nivel nocturno (permanente 100%) como en el nocturno reducido (permanente al 50%) donde es posible esta reducción de cantidad de luz al haberse detectado una sobreiluminación.
- La adecuación de la iluminación del túnel de l'Ollería a los valores de la normativa (OC 36/2015) permite reducir en 21 las toneladas de CO₂ liberadas a la atmósfera anualmente.

Paralelamente, se han llevado a cabo dos actuaciones en los hastiales de ambos tubos del túnel (**hidrolimpieza a alta presión** en ambos tubos y posterior aplicación de **pinturas porcelánicas** únicamente en el tubo sentido Alicante), con el fin de mejorar, en la medida de los posible, los valores lumínicos. Los resultados muestran que:

- La aplicación de pintura porcelánica en hastiales permite aumentar considerablemente las uniformidades (global y longitudinal) de la iluminación, siendo más acusada en el caso del nivel soleado.

- La limpieza de hastiales con agua a presión consigue un ligero aumento de las uniformidades (global y longitudinal) de la iluminación, en el caso del nivel soleado
- Ni la hidrolimpieza y ni las pinturas porcelánicas, consiguen aumentar la luminancia, pese a mejorar la reflexión de la luz.

El interés de esta comunicación radica en la innovación técnica, la aplicabilidad y transferibilidad de los resultados a aquellos otros túneles en los que es conveniente revisar que la iluminación cumple la normativa, así como realizar una adecuación de la misma para conseguir una iluminación más eficiente que suponga un menor consumo eléctrico.