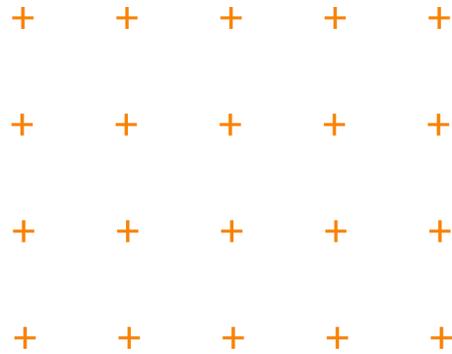


REPORTE

Nuevo sistema de alumbrado Estadio Andacollo



Javier Sayago¹ - Dr. Guillermo Damke²
02 de junio 2025

¹ Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile
² Cerro Tololo Inter-American Observatory/NSF NOIRLab

I. Introducción

El Estadio de Andacollo se emplaza en un sitio cuya ubicación es crítica debido a su cercanía con múltiples observatorios astronómicos profesionales, semiprofesionales y turísticos, tales como el Observatorio Cerro Tololo, SOAR, Gemini Sur y el LSST Vera Rubin, Collowara, entre otros (Figura 1).



Figura 1: Fotografía de Andacollo y La Serena-Coquimbo desde Cerro Pachón.

Autor: Roque Ruiz Carmona, Science Operations Specialist - GEMINI South Observatory.

Esta proximidad, de tan solo 27 kilómetros entre el estadio y Cerro Tololo, provoca que las fuentes lumínicas de Andacollo califiquen dentro de las de mayor brillo percibido desde estos observatorios, ya que existe visión directa hacia las torres ubicadas en el lado este del estadio (Figura 2). Debido a la distancia, el extremo superior de cada torre (la parrilla donde se montan las luminarias) se transformaba en un punto de alta

luminancia. La intensidad luminosa emitida en los ángulos cercanos a la normal de estos puntos podía ser tan elevada que generaba un efecto medible en el aumento del brillo del cielo de los observatorios, lo que genera efectos indeseados en la recolección de datos astronómicos.



Figura 2: Fotografía de Andacollo con el estadio encendido, tomada el 21 de marzo de 2023 desde el Observatorio de Cerro Tololo. Nótese el halo blanco azulado visible alrededor del estadio, generado por la dispersión de luz en la atmósfera del haz de alto flujo luminoso del sistema antiguo. Parámetros de exposición: 6 segundos, f/5.6, ISO 800.

Canon T2i con lente de 140-mm. Revelado digital en Darktable con balance de blancos ajustado a 3.200 K.

Autor: Dr. Guillermo Damke, Astrónomo Observatorio de Cerro Tololo/NOIRLab.

Adicionalmente, los vecinos cercanos al estadio sufrían los efectos de la luz intrusiva, ya que las fachadas de las viviendas orientadas hacia las torres recibían un volumen significativo de luz durante las operaciones nocturnas.

En cuanto al uso actual, el estadio alberga competencias organizadas por la ANFA (Asociación Nacional de Fútbol Amateur) en el ámbito regional de Coquimbo. Ocasionalmente, también se disputan finales interregionales con equipos de otras regiones. Según el administrador, antes de 2020 las instalaciones fueron utilizadas por equipos de la tercera división de la ANFP (Asociación Nacional de Fútbol Profesional).

II. Sistema de alumbrado antiguo

El sistema anterior consistía en un total de 36 luminarias, distribuidas en cuatro torres con nueve proyectores cada una (Figura 3 y 4). Las luminarias correspondían a proyectores tipo concentrador, equipados con reflectores de alto rendimiento (Figura 3) que generaban haces de luz con aperturas cerradas, en el orden de 20° a 30° (ángulo de haz).

La normativa vigente en ese entonces —el D.S. N°43, y posteriormente mantenida en el D.S. N°01— exige que la combinación de proyector y visera, en sus posiciones reales de montaje, genere un flujo hemisférico superior (F.H.S.) nulo, igual a cero lúmenes.

Esto equivale, normativamente, a cumplir con el criterio de emitir menos de 10 candelas por cada 1.000 lúmenes a un ángulo vertical (γ) de 90° , y 0 candelas por cada 1.000 lúmenes a ángulos mayores a 90° . El ángulo γ de 90° corresponde al que se forma entre la vertical que pasa por el centro óptico de la luminaria y las direcciones que se forman alrededor del “borde” de la luminaria, con esta instalada respetando el ángulo o rango angular que indica su certificado en contaminación lumínica, emitido por un laboratorio autorizado.

Sin embargo, al analizar la ubicación real de las luminarias antiguas, se constató que no se cumplía con esta exigencia, ya que se observaron ángulos de elevación pronunciados, de entre 45° y 70° respecto a la vertical, aproximadamente. Las viseras instaladas no presentaban ni la forma ni el tamaño adecuados, los cuales deberían ser equivalentes al área emisora del proyector, impidiendo así un bloqueo efectivo del flujo luminoso dirigido hacia el hemisferio superior, en contravención con lo establecido en el DS N°43.

Se estimó, mediante la replicación del cálculo del proyecto original en software especializado (Dialux 4.13), que el F.H.S. (flujo hemisférico superior) —es decir, el componente de luz directa emitida hacia el cielo— alcanzaba aproximadamente un 4% en el antiguo sistema de alumbrado.

En términos de cantidad de luz, esto representa alrededor de 250klm (kilo lúmenes), equivalentes al 4% de un flujo total estimado en 6.400klm, lo que sería comparable a unas 500 ampollitas LED de 10W, todas orientadas hacia el cielo sin ningún tipo de apantallamiento.

En cuanto a la tecnología de las fuentes luminosas, estas correspondían a lámparas de halogenuros metálicos con quemador cerámico de 1.000W, con una temperatura de color de 5.600°K (Figura 5). Su contenido espectral en la banda azul (380-499 nm) se estimaba en torno al 30%.



Figura 3: Imagen de la luminaria del sistema antiguo (izquierda) y su visera (derecha). Cada una de estas tenía un diámetro total de 590mm.



Figura 4: Fotografías de las antiguas torres de iluminación. Autor: OPCC

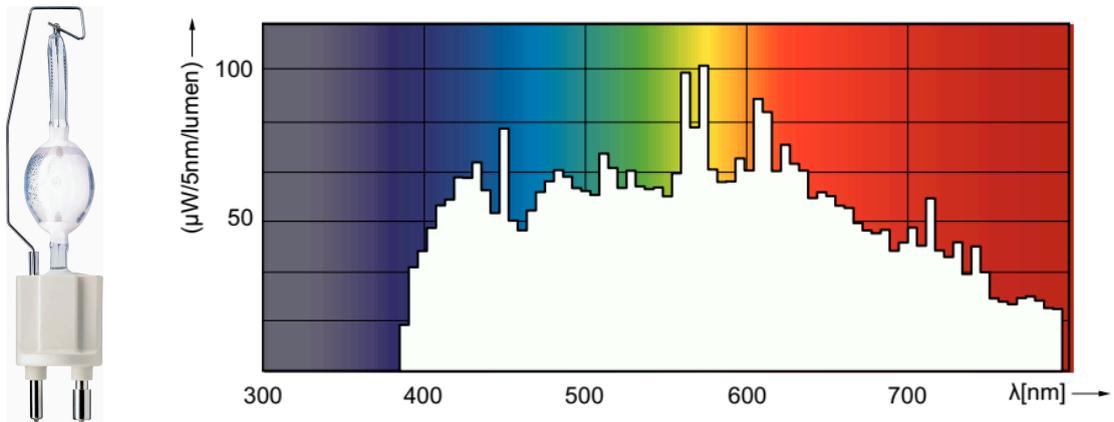


Figura 5: Imagen de la ampolleta del sistema antiguo (izquierda) y su diagrama espectral (derecha).

III. Nuevo sistema de alumbrado

El proyecto de modernización presentó un desafío considerable: lograr una iluminación deportiva que cumpliera con la normativa ambiental, en un recinto cuya geometría es compleja. Las torres de iluminación están ubicadas a casi 20 metros de distancia de las líneas de banda, lo que dificultaba concentrar la luz únicamente sobre la superficie de juego sin generar emisiones dispersas o hacia el cielo. Además, en el lado oeste existe un edificio de graderías y servicios que, por su techo elevado y cercano a las torres, se configuraba como un posible emisor secundario de luz por reflexión.

Por esta razón, bajo la supervisión de la OPCC y con la participación de la firma Sportwerlt junto a técnicos provenientes de Estados Unidos, se desarrolló un diseño a través de un riguroso proceso de iteraciones y ajustes. Como resultado, se logró una solución que cumple con los requerimientos deportivos, minimiza la luz intrusa hacia las zonas residenciales, elimina la emisión directa hacia el cielo y los observatorios astronómicos profesionales y turísticos —como Cerro Tololo y Collowara— y reduce significativamente el impacto ambiental del estadio.

Las nuevas luminarias instaladas corresponden a tecnología LED de última generación de 1.400W, distribuidas en 5 proyectores por torre, lo que implica una reducción del 30% en el consumo eléctrico, manteniendo los niveles de iluminación requeridos sobre la pista deportiva.

Las luminarias seleccionadas son del modelo TLC-LED-1500 de la firma Musco Lighting (EE. UU.), que combina LEDs de alta eficiencia, haces ultra cerrados o estrechos y viseras de control superior y lateral (Figura 6). Esta combinación permite concentrar la luz exclusivamente en la superficie de juego, incluso con ángulos de montaje de 0° respecto a la horizontal, minimizando la luz intrusa y eliminando completamente la emisión hacia el hemisferio superior.



Figura 6: Imagen de la luminaria TLC-LED-1500 de Musco Lighting.

En cuanto a los niveles de iluminación, ambas instalaciones (antigua y nueva) proporcionan un promedio de 300 lux, pero la nueva solución presenta una notable mejora en eficiencia energética y en uniformidad sobre la superficie de juego, lo que es esencial para un desempeño deportivo adecuado.

Respecto al componente espectral, si bien el D.S. N°01 permite una temperatura de color de hasta 5.000°K para iluminación deportiva profesional y semiprofesional, se optó por seleccionar una temperatura de color de 4.000°K. Esto reduce el contenido de azul (banda 380-499 nm) a un 18% aproximadamente, en comparación con el 30% que emitían las lámparas de halogenuros metálicos de 5.600°K utilizadas anteriormente.

IV. Registro fotográfico

Las imágenes de las Figuras 7 y 8 muestran una vista de Andacollo desde el Observatorio de Cerro Tololo durante las pruebas del sistema nuevo, realizadas luego del inicio de la noche astronómica del 29 de abril de 2025. Como se aprecia, una parte importante de Andacollo es visible directamente desde Cerro Tololo, incluyendo el sector del Estadio Municipal. Los parámetros de las imágenes de la Figura 7 replican los de la Figura 2, lo que permite una comparación de la apariencia del nuevo sistema. **Se aprecia la reducción de la luz dispersada en la atmósfera, además de una reducción de la luz azul comparado al sistema antiguo.** De modo testimonial, dos trabajadores de Cerro Tololo no lograron darse cuenta a simple vista de que las luces del estadio se encontraban encendidas en el momento de las pruebas. Por el contrario, las luces del sistema antiguo resultaban evidentes al encenderse y se encontraban dentro las fuentes más brillantes visibles desde el Cerro Tololo a simple vista. Esta mejora en la percepción de “limpieza” del cielo también resulta positiva desde la perspectiva del astroturista que visita la zona.

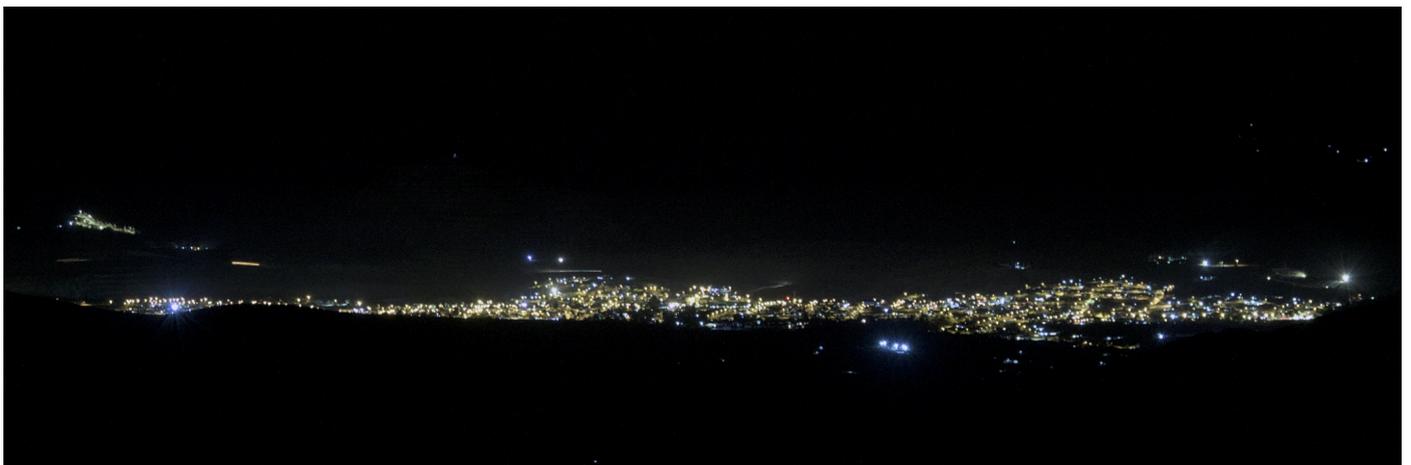
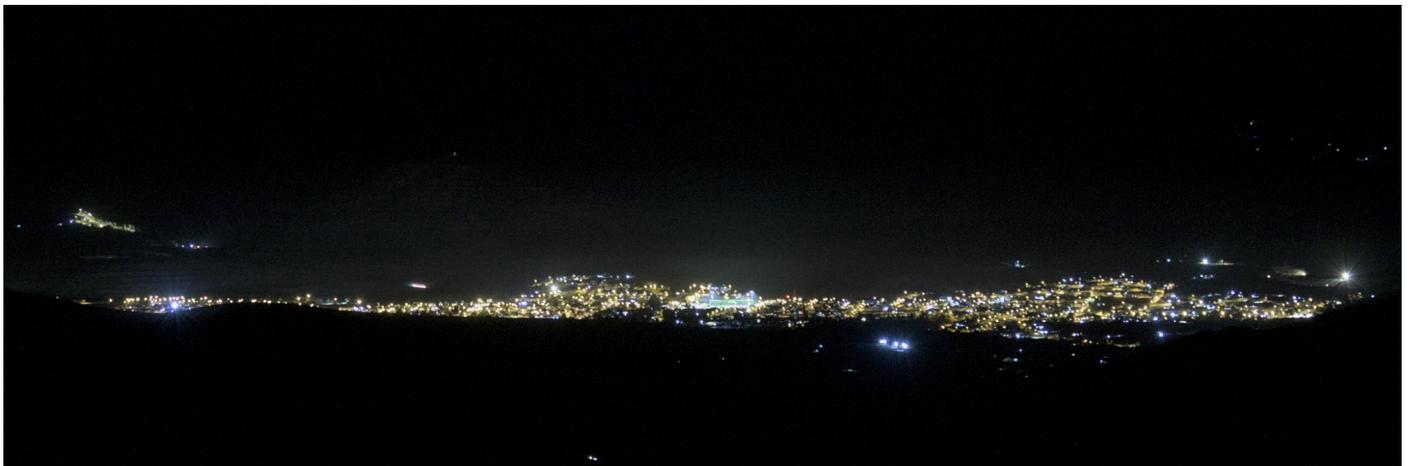


Figura 7: Nuevo sistema de alumbrado encendido (arriba) y apagado (abajo), respectivamente. Vista desde el Observatorio Cerro Tololo. La imagen fue tomada con el mismo equipo que la imagen de la Figura 2. Además, se replicaron los mismos parámetros de exposición y los mismos parámetros de revelado digital a partir de las imágenes en formato RAW. Autor: Dr. Guillermo Damke.



Figura 8: Similar a la Fig. 7, pero con mayor resolución (lente zoom a 300 mm en Canon T2i). Parámetros de las imágenes: 6 seg., f/5.6, ISO 800. Revelado en Darktable a partir de imágenes RAW.

Las Figuras 9 y 10 muestran el antiguo y el nuevo sistema de alumbrado del Estadio, respectivamente. En ellas se aprecia la diferencia en cuanto al halo de luz producido por las luminarias del sistema antiguo, el cual se debe a los ángulos pronunciados de enfoque respecto a la horizontal, y a la ausencia de viseras de dimensiones adecuadas.

El nuevo sistema de iluminación cuenta con apantallamiento total, lo que permite reducir significativamente este efecto y, a la vez, evitar la emisión de luz hacia el hemisferio superior. Esta mejora también es evidente desde el exterior del recinto (Figuras 11 y 12), donde se observa una reducción notable de la luz intrusa que anteriormente afectaba a las viviendas circundantes al Estadio.



Figura 9: Sistema de alumbrado antiguo. Vistas del interior de la pista deportiva. Autor: OPCC.

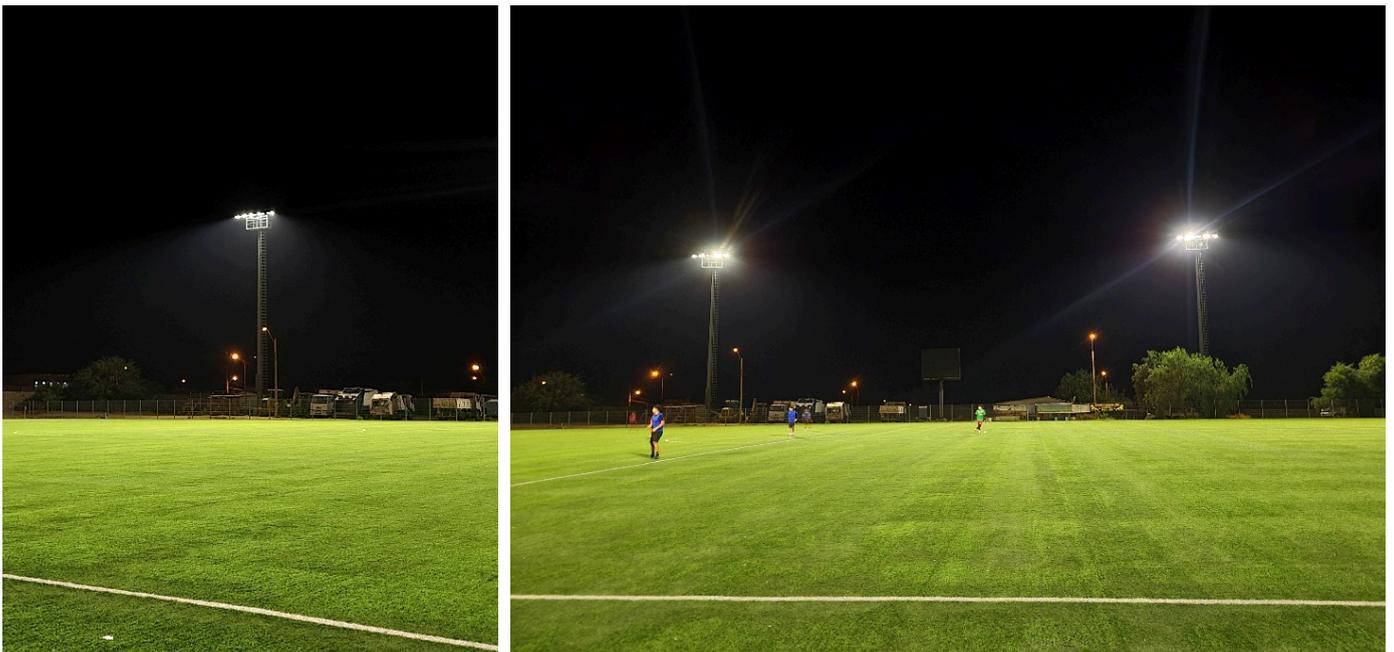


Figura 10: Nuevo sistema de alumbrado. Vistas del interior de la pista deportiva. Autor: OPCC.



Figura 11: Nuevo sistema de alumbrado. Vista desde fuera del estadio sobre la Plaza Gabriela Mistral. Autor: OPCC.



Figura 12: Nuevo sistema de alumbrado. Vista desde fuera del estadio sobre Calle Manuel Salas. Autor: OPCC.

V. Conclusiones

El recambio del sistema de alumbrado del Estadio de Andacollo representa un ejemplo destacado en cuanto a la posibilidad de compatibilizar el mejoramiento de la infraestructura deportiva comunal con la protección del cielo nocturno. Gracias a un diseño técnico riguroso, el uso de tecnología LED de alta eficiencia y la colaboración entre entidades especializadas, se logró reducir significativamente la contaminación lumínica, mejorar la eficiencia energética y cumplir con la normativa ambiental vigente.

Esta experiencia no solo protege la calidad del cielo para la observación astronómica profesional, sino que también resguarda el desarrollo del astroturismo, una actividad creciente en la región y también presente en la comuna de Andacollo. Además, la modernización implica un ahorro energético considerable para el municipio, ya que reduce el consumo eléctrico en un 30% respecto al sistema anterior.

Se espera que esta iniciativa sirva como referencia para que otros municipios y diferentes instituciones públicas y privadas, implementen soluciones similares, contribuyendo así a una iluminación exterior más eficiente, sostenible y respetuosa del entorno astronómico único del norte de Chile.