

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL  
VALPARAÍSO – CHILE



**ANÁLISIS DEL D.S. N°1, QUE ESTABLECE  
NORMA DE EMISIÓN DE LUMINOSIDAD  
ARTIFICIAL GENERADA POR ALUMBRADOS  
DE EXTERIORES, EN LA PLANTA DE  
LUBRICANTES ENEX ANTOFAGASTA**

MARÍA ANTONIETA SILVA MARFAN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL AMBIENTAL

PROFESORA GUÍA: PAMELA BONERT PUIG

PROFESOR CO-REFERENTE: DANIEL RAMÍREZ LIVINGSTON

ABRIL 2026

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la institución



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

**Tipo de monografía (marcar una opción):** ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

**Título del trabajo:** ANÁLISIS DEL D.S. N°1, QUE ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN DE LUMINOSIDAD ARTIFICIAL GENERADA POR ALUMBRADOS DE EXTERIORES, EN LA PLANTA DE LUBRICANTES ENEX ANTOFAGASTA \_\_\_\_\_

**Nombre del candidato(a):** María Antonieta Silva Marfan \_\_\_\_\_

**Carrera / Grado:** Ingeniería Civil Ambiental / Pregrado \_\_\_\_\_

**Campus:** Casa Central \_\_\_\_\_ **Departamento:** Ingeniería Química y Ambiental \_\_\_\_\_

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pamela Alejandra Bonert Puig, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

**Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):**

---

---

---

### 4.- FIRMAS

**Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:**

**Fecha:** 05.05.2026 **Firma:** \_\_\_\_\_

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 05.05.2026 **Firma:** \_\_\_\_\_

# AGRADECIMIENTOS

*A todas y a cada una de las personas que han confiado en mí, y me han aconsejado en todo el proceso de esta etapa de mi vida.*

*A mi mamá, María Antonieta y a mi papá, Patricio, por demostrarme que el cariño y el esfuerzo es la receta para lograr lo que nos proponemos, por siempre darme todo lo que necesite, y especialmente por criarme para ser una mujer fuerte y capaz. Mamá, gracias por siempre estar dispuesta a escucharme, por aconsejarme y entenderme, por tu linda forma de demostrarme tu cariño que me llena el corazón, y por poner mis pies en la tierra cuando sentía que todo era un caos. Papá, gracias por inculcarme que el deporte es algo esencial en la vida, realmente me ha llevado muy lejos, y por siempre a pesar de estar lejos tener disponibilidad para lo que sea que te pedía. Estoy feliz y orgullosa de poder decir que ustedes son mis padres.*

*A mis hermanos, Chini y Ponchi, por siempre estar ahí para mí, por sacarme una sonrisa y a veces algunos enojos, por los lindos recuerdos que tenemos juntos, por confiar en mí y mis capacidades. A mi Weli y a mi Tatita, por cuidarme, criarme y entregarme un amor incondicional, por escucharme, apoyarme y por siempre recordarme la mujer que soy. A la Trini, por llegar a nuestras vidas a llenarla de alegría y convertirme, de cierta forma, en una hermana mayor. A quienes me acompañaron desde otro lugar, a mi Yeye, por su amor y por enseñarme que con esfuerzo, cariño y perseverancia se pueden lograr grandes cosas, y al Chichito, que siempre me sacaba una sonrisa con las tonteras que decía, y por haber estado con nosotras antes de su partida*

*A mis amiguitas del colegio, Nacha, Agu, Mari, Joji, Jose, Robe, Marti y Saga, agradezco que fue con ustedes con quienes crecí, su cariño, su apoyo, sus consejos, y que siempre a pesar de todo han estado ahí para mí. Ustedes son la familia que elegí tener.*

*A las personitas lindas de la G'2020 IQA, por siempre estar dispuestas a ayudarme, por sacarme sonrisas y por ser un gran apoyo en todo lo que fue la vida universitaria. Especialmente a la Antu, por su enorme cariño y su gran apoyo en los momentos que más lo necesite, al Leito, por su cariño, apane y todas las conversaciones, y al Chávez, por su cariño y los buenos momentos vividos.*

*A mis niñas y equipo de volei. Especialmente a la Wis, Cata M., Cata T.G., Sos, Fran, Jose, Consu, Feña, Rena, Inna, Cata R., Anto, Jo, Carla, y Tori, por su confianza en mí, por su cariño, por su amabilidad, por sus consejos y por brindarme una amistad más allá de lo que es el volei. Al Cesar, por siempre confiar en mí, y ayudarme a crecer en este lindo deporte. Al Cuco por su cariño y alegría.*

*Al Benjha, por su cariño, las risas y los momentos vividos. Al Seba C., al Andrés, al Toño, y al Cris L., por su apañe y apoyo en estos últimos meses, agradezco tenerlos hoy en mi vida y poder considerarlos mis amigos.*

*Agradezco a todos los profesores que confiaron en mí para ser ayudante. En especial, al profesor Luis Vinnett, por creer y confiar en mí. A la profesora Pamela Bornert y al profesor Daniel Ramírez por su disponibilidad y apoyo en el proceso de esta memoria.*

*Y a aquellos que quizás hoy no están a mi lado pero si fueron parte del proceso, gracias por su cariño y los momentos vividos.*

*Finalmente, a la Planta Lubricantes ENEX Antofagasta, por la oportunidad de poder realizar esta memoria con ustedes.*

*A María Antonieta y Patricio, mis padres, a Nicolas y Patricio, mis hermanos, a Rosa  
María y Andrés, mis abuelos, que han sido y serán siempre mi fuerza y motivación.  
Este trabajo es tan mío como de ustedes, y refleja el esfuerzo y el cariño que compartimos.*

# RESUMEN

La contaminación lumínica generada por sistemas de alumbrado exterior constituye un problema relevante debido a sus efectos sobre la salud humana, los ecosistemas y la calidad del cielo nocturno, además de su impacto en la observación astronómica, especialmente crítico en Chile. En este contexto, el objetivo principal de esta memoria fue analizar el Decreto Supremo N°1/2022 en la Planta de Lubricantes ENEX de Antofagasta, con el propósito de evaluar el nivel de cumplimiento del sistema de alumbrado exterior y proponer mejoras orientadas a su adecuación normativa.

La metodología empleada integró el análisis del marco regulatorio vigente (D.S. N°1/2022, NCh 3833/2:2023 y D.S. N°594), mediciones en terreno para un escenario actual y un escenario modificado y el desarrollo de una simulación luminotécnica.

Los resultados evidencian que el escenario actual presenta desviaciones relevantes respecto a los límites establecidos, con niveles de iluminancia que superan en más de un 20% los valores recomendados en las zonas evaluadas. Tras el reemplazo de luminarias (escenario modificado), se observa una mejora significativa en la distribución lumínica, donde algunas de las zonas fueron evaluadas mediante áreas representativas, alcanzando los niveles de uniformidad y un acercamiento a los valores de iluminancia mantenida exigidos por normativa. Las simulaciones demostraron, además, un control efectivo del índice de deslumbramiento y una reducción de los niveles de iluminancia innecesarios en rangos de entre el 15% y el 30%. En este contexto, se logra un avance significativo tanto en el cumplimiento ambiental asociado a la reducción de contaminación lumínica, como en el cumplimiento de condiciones laborales seguras establecidas en la normativa vigente.

Se concluye que es técnicamente viable avanzar hacia el cumplimiento normativo mediante ajustes acotados, tales como optimización en la distribución de luminarias, cambios en la orientación y selección de equipos con mayor eficiencia energética. Lo cual demuestra que una adecuada ingeniería de iluminación permite compatibilizar las exigencias ambientales con la seguridad operacional.

Finalmente, la metodología desarrollada resulta replicable en otras instalaciones industriales, aportando una herramienta útil para la evaluación integral de sistemas de alumbrado exterior.

# ABSTRACT

Light pollution generated by outdoor lighting systems constitutes a significant issue due to its effects on human health, ecosystems, and the quality of the night sky, as well as its impact on astronomical observation, which is particularly critical in Chile. In this context, the main objective of this study was to analyze Supreme Decree N°. 1/2022 at the ENEX Lubricants Plant in Antofagasta, with the aim of assessing the level of compliance of the outdoor lighting system and proposing improvements for its regulatory adaptation.

The methodology applied integrated the analysis of the current regulatory framework (Supreme Decree N°. 1/2022, Chilean Standard NCh 3833/2:2023, and Supreme Decree N°. 594), field measurements for both a current and a modified scenario, and the development of a lighting simulation.

The results showed that the current scenario presented significant deviations from the established limits, with illuminance levels exceeding recommended values by more than 20% in the evaluated areas. Following the replacement of luminaires (modified scenario), a significant improvement in light distribution was observed. Some areas were evaluated using representative zones, achieving compliance with uniformity levels and a closer alignment with the maintained illuminance values required by regulations. The simulations also demonstrated effective control of the glare index and a reduction in unnecessary illuminance levels ranging from 15% to 30%. In this context, significant progress was achieved in both environmental compliance (through the reduction of light pollution) and occupational compliance by ensuring safe working conditions in accordance with current regulations.

It was concluded that progressing toward regulatory compliance was technically feasible through targeted adjustments, such as optimizing luminaire distribution, modifying orientation, and selecting more energy efficient equipment. This demonstrated that proper lighting engineering enables the balance between environmental requirements and operational safety.

Finally, the developed methodology proved to be replicable in other industrial facilities, providing a useful tool for the comprehensive evaluation of outdoor lighting systems.

## DEFINICIONES

- **Ángulo Gama:** es el ángulo formado por la perpendicular bajada desde el centro de la luminaria, o el proyector, a la calzada y el plano horizontal que pasa por el centro de la lámpara.
- **Ángulo sólido:** es la razón entre el área de un casquete polar de una esfera y el cuadrado del radio de dicha esfera.
- **Candelas:** es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hertz y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 Watts por ester-radián.
- **Lúmenes:** es la Unidad del Sistema Internacional del Flujo Luminoso emitido en la unidad de ángulo sólido (ester-radián) por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de una candela.
- **Flujo luminoso:** potencia emitida en forma de radiación electromagnética, evaluada según su acción sobre un receptor selectivo, cuya sensibilidad espectral se define de acuerdo con la Curva de Visibilidad Estándar para visión fotópica, según CIE 1931(6), o la que la reemplace.
- **Intensidad Luminosa:** es el flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido, medido en candelas (cd).

# ÍNDICE GENERAL

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN .....                                                                        | V   |
| ABSTRACT .....                                                                       | VI  |
| DEFINICIONES.....                                                                    | VII |
| CAPÍTULO I.....                                                                      | 1   |
| 1.    Introducción.....                                                              | 1   |
| 2.    Objetivo General.....                                                          | 4   |
| 3.    Objetivos Específicos .....                                                    | 4   |
| CAPÍTULO II.....                                                                     | 5   |
| 4.    Antecedentes Generales.....                                                    | 5   |
| 4.1    Planta de Lubricantes ENEX, Antofagasta.....                                  | 5   |
| 4.2    Proceso de la planta .....                                                    | 6   |
| 4.3    Actividades exteriores que se realizan en la Planta.....                      | 7   |
| 5.    Antecedentes Legales .....                                                     | 9   |
| 5.1    Decreto N° 2. Declaración de área astronómica .....                           | 9   |
| 5.2    Decreto N° 1. Exigencias aplicables al alumbrado exterior .....               | 9   |
| 5.3    NCh 3833/2:2023. Criterio técnico de evaluación .....                         | 11  |
| 5.4    Decreto 594. Referencia complementaria de seguridad y salud ocupacional ..... | 16  |
| CAPÍTULO III .....                                                                   | 18  |
| 6.    Metodología y materiales .....                                                 | 18  |
| 6.1    Criterios normativos aplicables .....                                         | 18  |
| 6.1.1.    Cumplimiento del inciso 1 del artículo 5.....                              | 18  |
| 6.1.2.    Cumplimiento del inciso 3 del artículo 5.....                              | 18  |
| 6.1.3.    Cumplimiento del inciso 2 del artículo 5.....                              | 19  |
| 6.2    Clasificación de luminarias según actividad .....                             | 20  |

|                   |                                                              |    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|----|
| 6.3               | Selección de áreas críticas para el plan de medición .....   | 20 |
| 6.4               | Definición de escenarios de evaluación.....                  | 22 |
| 6.5               | Procedimiento de medición en terreno .....                   | 22 |
| 6.6               | Aplicación del procedimiento a los escenarios evaluados..... | 24 |
| 6.6.1.            | Escenario actual.....                                        | 24 |
| 6.6.2.            | Escenario modificado .....                                   | 24 |
| 6.6.3.            | Escenario simulado .....                                     | 24 |
| CAPÍTULO IV ..... |                                                              | 26 |
| 7.                | Resultados y discusión.....                                  | 26 |
| 7.1               | Escenario Actual y Modificado .....                          | 27 |
|                   | Zona Mesa 1 .....                                            | 27 |
|                   | Zona Esquina Mesa 2 .....                                    | 29 |
|                   | Zona IBC Limpios .....                                       | 31 |
|                   | Zona Sala de Caldera.....                                    | 33 |
|                   | Zona Ensayo Proyector.....                                   | 35 |
| 7.2               | Escenario Simulación .....                                   | 36 |
| CAPÍTULO V.....   |                                                              | 42 |
| 8.                | Conclusiones.....                                            | 42 |
| 9.                | Recomendaciones .....                                        | 43 |
| REFERENCIAS ..... |                                                              | 45 |
| ANEXOS .....      |                                                              | 48 |
| A.                | Luminaria HELIOS GEN II .....                                | 48 |
| B.                | Luxómetro .....                                              | 49 |
| C.                | Resultados simulación .....                                  | 50 |
| D.                | Modificaciones propuestas .....                              | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. <i>Layout</i> general de la Planta de Lubricantes ENEX, Antofagasta.....                                                                                                    | 6  |
| Figura 2. Límites de Radiancia Espectral en Áreas de Protección Especial. (Ministerio Medio Ambiente, 2023). ....                                                                     | 10 |
| Figura 3. Relación entre iluminancias de áreas circundantes al área de tarea. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023).....                                                          | 12 |
| Figura 4. El ángulo entre la línea de visión del observador y la dirección de la luz incidente emitida por cada luminaria individual. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023). .... | 13 |
| Figura 5. Grupos de apariencia de color de lámparas. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023).....                                                                                   | 14 |
| Figura 6. Visualización área de actividad seleccionada para IBC limpio, Mesa 1, Esquina Mesa 2, Sala de Caldera y Ensayo Proyector. ....                                              | 22 |
| Figura 7. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Mesa 1. ....                                                                                                                    | 28 |
| Figura 8. Mapa de color con escala cromática escenario actual Mesa 1. ....                                                                                                            | 28 |
| Figura 9. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Mesa 1. ....                                                                                                        | 28 |
| Figura 10. Mapa de color con escala cromática escenario actual Esquina Mesa 2. ....                                                                                                   | 30 |
| Figura 11. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Esquina Mesa 2. ....                                                                                               | 30 |
| Figura 12. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Esquina Mesa 2. ....                                                                                                           | 30 |
| Figura 13. Área representativa actividad Esquina Mesa 2. ....                                                                                                                         | 31 |
| Figura 14. Mapa de color con escala cromática escenario actual IBC Limpios. ....                                                                                                      | 32 |
| Figura 15. Mapa de color con escala cromática escenario modificado IBC Limpios. ....                                                                                                  | 32 |
| Figura 16. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad en IBC Limpios. ....                                                                                                           | 33 |
| Figura 17. Área representativa actividad IBC Limpios. ....                                                                                                                            | 33 |
| Figura 18. Mapa de color con escala cromática escenario actual Sala de Caldera. ....                                                                                                  | 35 |
| Figura 19. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Sala de Caldera. ....                                                                                              | 35 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Sala de Caldera. ....               | 35 |
| Figura 21. Áreas representativas actividades Sala de Caldera. ....                         | 35 |
| Figura 22. Mapa de color con escala cromática Ensayo Proyector. ....                       | 36 |
| Figura 23. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Ensayo Proyector. ....              | 36 |
| Figura 24. Configuración luminarias Simulación.....                                        | 38 |
| Figura 25. Luminaria extra. ....                                                           | 38 |
| Figura 26. <i>Layout</i> Planta Software con colorimetría de iluminancia en lux. ....      | 39 |
| Figura 27. Luxómetro. ....                                                                 | 50 |
| Figura 28. Mapa isolux Mesa 1. ....                                                        | 50 |
| Figura 29. Mapa isolux Esquina Mesa 2. ....                                                | 50 |
| Figura 30. Mapa isolux IBC Limpios. ....                                                   | 51 |
| Figura 31. Mapa de isolux Sala de Caldera. ....                                            | 51 |
| Figura 32. Mapa isolux Ensayo Proyector subárea 1. ....                                    | 51 |
| Figura 33. Mapa isolux Ensayo Proyector subárea 2. ....                                    | 52 |
| Figura 34. Ejemplo modificación luminarias Bodega de Productos Envasados. ....             | 53 |
| Figura 35. Ejemplo modificación luminarias Bodega Especialidades. ....                     | 53 |
| Figura 36. Ejemplo modificación luminarias pasillo Bodega de Almacenaje y Mesa 2 y 3. .... | 53 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Límites permitidos según actividad presentada en NCh 3833. ....                                       | 15 |
| Tabla 2. Clasificación de actividad por luminaria. ....                                                        | 20 |
| Tabla 3. Resultados iluminancia mantenida simulación. Cumplimiento D.S. N°1.....                               | 40 |
| Tabla 4. Resultados uniformidad e índice deslumbramiento simulación. Evaluación complementaria NCh 3833/2..... | 41 |
| Tabla 5. Características proyector HELIOS. ....                                                                | 49 |
| Tabla 6. Características luxómetro. ....                                                                       | 49 |
| Tabla 7. Modificaciones propuestas por luminaria. ....                                                         | 54 |

# CAPÍTULO I

## 1. Introducción

La contaminación lumínica se ha consolidado como un problema ambiental de alcance global, derivado del crecimiento acelerado de las zonas urbanas y el uso ineficiente o inadecuado del alumbrado exterior. Se define como la alteración de la oscuridad natural de la noche, fenómeno que no solo se manifiesta como un desperdicio energético, generado por parte de la luz que se emite al cielo por una instalación incorrecta, por la iluminación en niveles excesivos, o por emisión en espectros no útiles para la visión, como el rango de la luz azul, que afecta tanto a los ecosistemas como a la observación astronómica; sino que también genera impactos negativos en la salud humana, y en el medio ambiente.

La manifestación más clara de la contaminación lumínica forma un halo luminoso en el cielo, debido a la dispersión atmosférica de la luz mal dirigida (*sky glow*), que provoca una disminución y alteración en la visibilidad nocturna, generando diversos impactos que influyen a la biodiversidad, la calidad de vida, la salud de las personas y también al desarrollo sostenible. Otra forma de contaminación lumínica es la intrusión lumínica en interiores, la cual es cuando la luz de exterior perturba la iluminación de las viviendas o edificios, y el deslumbramiento, producido por fuentes muy intensas o de espectro frío, que encandilan y aumentan el riesgo de accidentes.

Los efectos de la contaminación lumínica son múltiples. En la salud humana, la exposición nocturna a luz artificial altera los ritmos circadianos y suprime la producción de melatonina, hormona clave para el sueño, la reparación celular y la prevención de enfermedades. Esta alteración de los ciclos biológicos del sueño se ha asociado con trastornos metabólicos, aumento de estrés y otros riesgos sanitarios. En la fauna y la biodiversidad, el exceso de luz nocturna modifica comportamientos esenciales, ya que induce cambios en los ciclos de migración, alimentación y reproducción de muchas especies, desorienta animales nocturnos (insectos, reptiles, aves, etc.) e incrementa la mortalidad de especies sensibles. De hecho, cerca del 30% de los vertebrados y 60% de los invertebrados son de hábitos nocturnos, y estos presentan mayor vulnerabilidad ante depredadores cuando sus ojos quedan desprotegidos por el brillo artificial. En la seguridad vial, el deslumbramiento disminuye la

visibilidad de conductores y peatones, incrementando los accidentes de tránsito. Y en la calidad astronómica del cielo, la prolongación del brillo nocturno (*sky glow*) reduce la calidad del cielo nocturno, obligando a exponer más tiempo los telescopios o posponer observaciones. Esto dificulta gravemente la astronomía profesional, según el Ministerio del Medio Ambiente, la pérdida de oscuridad “dificulta la observación” en las regiones con la mayor parte de los telescopios del país dificulta la observación científica del universo.

A nivel mundial, el Atlas Mundial de la Contaminación Lumínica de 2016 (Ministerio del Medio Ambiente, 2026) reporta que alrededor del 83% de la población global vive bajo cielos contaminados por luz artificial, en Estados Unidos y Europa este índice supera el 99%. Chile no es ajeno a esta realidad, a pesar de contar con condiciones geográficas y climáticas ideales para la astronomía en su zona norte, se estima que menos del 1% de los chilenos habita en zonas con cielos verdaderamente oscuros.

Para Chile es clave proteger los cielos oscuros, pues en el norte del país (regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo) ofrece condiciones de altitud, clima árido y baja nubosidad que lo convierten en un “laboratorio natural” de astronomía. El Observatorio Paranal de ESO y La Silla (ESO), operan allí porque es “uno de los mejores lugares del mundo para la observación astronómica” (European Southern Observatory, 2026) y registran “las noches más oscuras de la Tierra” (European Southern Observatory, 2026), respectivamente. De hecho, se estima que Chile actualmente concentra cerca del 70% de la capacidad astronómica mundial (Vivanco, 2025). Sin embargo, el crecimiento urbano e industrial en el área amenaza esa ventaja, la luz artificial que escapa al cielo (*sky glow*) reduce la oscuridad de los cielos y dificulta las observaciones científicas. De hecho, la contaminación lumínica se ha identificado como una amenaza grave para la astronomía chilena.

Dada la importancia estratégica de estos recursos, la regularización chilena ha evolucionado para responder estos desafíos. Chile ha buscado protegerlos desde el Santuario de Cielos Oscuros Gabriela Mistral (vinculado a la UNESCO) hasta las recientes iniciativas legales.

En 1998 se emitió el D.S. 686 del Ministerio de Economía enfocado exclusivamente en la protección astronómica del norte del país (II – IV Región). En 2012 se reemplaza por el D.S. 43 del Ministerio del Medio Ambiente, que impone exigencias más estrictas y se adapta la

cobertura a nuevas fuentes de luz. La regulación actual es a través del Decreto Supremo N°1 de 2022 del Ministerio del Medio Ambiente, el cual tiene alcance nacional y extiende la protección más allá de la astronomía, incorporando la biodiversidad y la salud humana como bienes a resguardar, estableciendo límites técnicos y restricciones operativas según la categoría de alumbrado. Para certificar y medir el cumplimiento de las luminarias por parte de las autoridades competentes, como la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), se utilizan cuatro protocolos técnicos (PCL N° 1 al 4). Como señala la Oficina de Protección del Cielo Nocturno (OPCC, 2025), “la reciente norma D.S. N°1/2022 es un avance para regular emisiones lumínicas, proteger observatorios y ecosistemas y mejorar la calidad de vida”, aunque advierte que el gran desafío sigue siendo “iluminar de forma eficiente, segura y responsable”.

En este escenario, el sector industrial enfrenta el desafío técnico de compatibilizar sus requerimientos operacionales y de seguridad con las exigencias ambientales actuales. La Planta de Lubricantes ENEX de Antofagasta (área astronómica), presente en la zona desde 1972, ilustra este desafío. La instalación desarrolla labores de almacenamiento y distribución de lubricantes en áreas exteriores o semi-exteriores y durante turnos que abarcan horas de baja iluminación natural. Por ello, requiere un sistema de alumbrado exterior que garantice seguridad y operatividad (según la norma NCh 3833/2:2023 y el D.S. N°594 del Ministerio de Salud), al mismo tiempo que respete los estrictos límites de emisión del D.S. N°1/2022 para evitar sanciones y minimizar impactos.

Por estas razones, la presente memoria se enfocará en analizar el desempeño lumínico de la planta ENEX. Primero se caracterizarán las áreas y actividades críticas al aire libre. Luego se realizarán mediciones en terreno y se elabora una simulación luminotécnica considerando la configuración actual y algunas modificaciones necesarias. Estos datos se compararán con los valores de referencia establecidos por la normativa vigente. De este análisis se identificarán brechas de cumplimiento y se formularán propuestas de mejora (cambios de luminarias, ajustes de potencia, reposicionamientos, etc.) para adecuar el sistema de alumbrado a las exigencias normativas sin comprometer la funcionalidad y seguridad de la planta.

## **2. Objetivo General**

Analizar la aplicación del D.S. N°1, promulgado el año 2022, del Ministerio del Medio Ambiente que “Establece Norma de Emisión de Luminosidad Artificial Generada por Alumbrados de Exteriores” en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta, con el fin de evaluar y proponer mejoras para la adecuación normativa en su sistema de alumbrado exterior industrial.

## **3. Objetivos Específicos**

1. Describir las actividades desarrolladas en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta que requieren alumbrado exterior, con el propósito de caracterizar sus necesidades de iluminación e identificar las zonas críticas de análisis.
2. Realizar mediciones en terreno y revisar las características de instalación y operación, para evaluar el sistema de alumbrado exterior existente en las zonas críticas.
3. Identificar el contexto normativo aplicable al alumbrado exterior industrial, considerando el D.S. N°1, año 2022, del Ministerio del Medio Ambiente y los antecedentes técnicos y legales complementarios pertinentes, para describir los criterios de evaluación exigibles a la planta de lubricantes.
4. Comparar el desempeño lumínico del escenario actual y del escenario modificado, incorporando la simulación proporcionada por los proveedores de luminarias, a fin de verificar la factibilidad de cumplimiento normativo y definir propuestas de mejora.

## CAPÍTULO II

### 4. Antecedentes Generales

#### 4.1 Planta de Lubricantes ENEX, Antofagasta

ENEX S.A. es una empresa cuya actividad principal está orientada a la distribución de combustibles y lubricantes, tanto a nivel industrial como retail, además consta de una importante participación en el negocio de tiendas de conveniencia. Es una compañía comprometida con la innovación, la sostenibilidad y la utilización de energías renovables, entregando a sus clientes soluciones integrales de eficiencia energética y electromovilidad.

La compañía comercializa lubricantes de las marcas Shell, Penzoli, Rhenus y productos Krynex, para lo cual dispone de soporte técnico, personal capacitado correctamente, y análisis de laboratorio destinado a la verificación de la calidad de los productos. Actualmente, en Chile se opera una red de más de 450 estaciones de servicio bajo la marca Shell y más de 200 tiendas de conveniencia bajo la marca *upa!* y *upita!*.

De acuerdo con la historia corporativa de la empresa, la planta de Antofagasta inició sus operaciones en 1972, lo que demuestra una presencia histórica de ENEX en la ciudad.

En este contexto, la Planta de Lubricantes ENEX, ubicada en Antofagasta, corresponde a una instalación destinada al almacenamiento, manejo y despacho de lubricantes y productos asociados. En la Figura 1 se observa que la planta cuenta con tres bodegas de almacenamiento y veinte tanques externos de almacenamiento, además, en el interior del galpón existen cuatro estanques de almacenamiento, donde anteriormente se realizaba el proceso de mezclado de lubricantes. En ella se reciben y distribuyen productos en distintos formatos, entre ellos tambores, estanques IBC, bidones, cajas y producto a granel almacenado en estanques. De esta manera, la planta cumple una función logística y operacional clave dentro de la cadena de distribución de lubricantes, al permitir la recepción de producto, su almacenamiento temporal, control de calidad y despacho hacia distintos destinos.

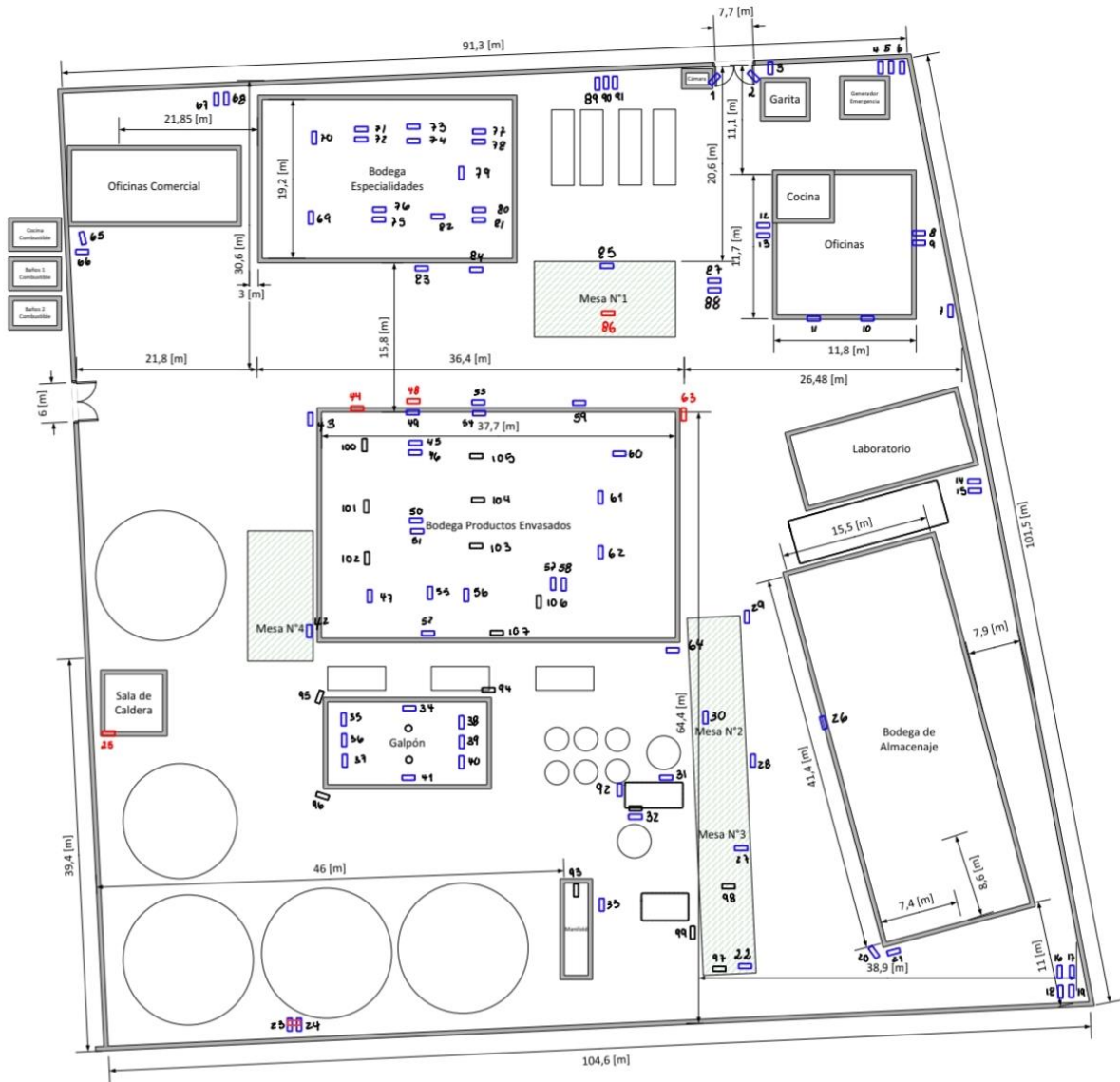


Figura 1. Layout general de la Planta de Lubricantes ENEX, Antofagasta.

## 4.2 Proceso de la planta

Desde un punto de vista operacional, la planta desarrolla un proceso centrado en la recepción, almacenamiento y despacho de lubricantes. En términos generales, los productos que llegan en formato *flexibag* son descargados y bombeados hacia estanques de almacenamiento, mientras que los productos envasados son recepcionados y almacenados en las bodegas correspondientes. Posteriormente, cuando se requiere despachar producto, este puede ser transferido desde los estanques, previo paso por un sistema de microfiltrado, hacia las

cisternas de los camiones, o bien desde las zonas de almacenamiento hacia camiones, según el formato de distribución requerido.

Para la comprensión de la presente memoria, resulta especialmente relevante destacar que una parte importante de estas actividades se realiza en zonas exteriores o semi-exteriores de la planta, incluyendo el ingreso y circulación de camiones, maniobras de posicionamiento, movimiento de carga y labores de conexión y revisión en operaciones de transferencia de producto.

Esta condición se vuelve particularmente relevante en períodos de menor radiación solar, considerando que la operación de la planta contempla turnos de 12 horas, entre las 08:00 y las 20:00 horas. Durante la estación invernal, una fracción de la jornada se desarrolla en condiciones de baja iluminación natural, e incluso sin aporte solar directo en determinados horarios, lo que refuerza la necesidad de contar con un alumbrado exterior adecuado para asegurar la continuidad operacional y la ejecución segura de las tareas.

En consecuencia, el alumbrado exterior no constituye solo un elemento de apoyo visual, sino una condición necesaria para la ejecución segura y eficiente de las operaciones. La iluminación debe permitir la correcta percepción del entorno, de los equipos y de los elementos de conexión utilizados durante la operación, especialmente en sectores donde se realizan maniobras de vehículos, manipulación de válvulas y carga de camiones.

### **4.3 Actividades exteriores que se realizan en la Planta**

Las actividades exteriores desarrolladas en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta se asocian principalmente a labores de circulación, carga, descarga, transferencia de producto y desplazamiento del personal entre los distintos sectores operacionales. Estas tareas se realizan en áreas exteriores o semi-exteriores, por lo que requieren condiciones de visibilidad adecuadas para permitir su ejecución de forma continua y segura. Entre las principales actividades exteriores se encuentra:

- El movimiento de camiones a baja velocidad al interior de la planta. Esta actividad considera el ingreso y salida de vehículos, su circulación entre sectores y las maniobras necesarias para posicionarse en báscula, mesas de carga y descarga o zonas de operación. Estas maniobras exigen una adecuada percepción del entorno,

especialmente en sectores de circulación compartida con trabajadores y otros equipos móviles.

- El uso de grúas horquilla para la carga, descarga y movilización de productos envasados, tales como tambores, estanques IBC, pallets con bidones y cajas. Estas operaciones implican movimientos precisos de elevación, traslado y posicionamiento de carga, por lo que requieren un nivel de visibilidad suficiente tanto para el operador como para el personal que apoya estas tareas en terreno.
- El tránsito peatonal de trabajadores entre distintas áreas de la planta, incluyendo sectores de operación, almacenamiento, inspección y apoyo. Este desplazamiento forma parte de la operación diaria y se relaciona tanto con la ejecución de tareas productivas como con supervisiones, revisiones operacionales y actividades de mantenimiento.
- Las operaciones de carga y descarga de producto a granel, particularmente en camiones cisterna y en el manejo de producto proveniente de *flexibags*. En estos casos, las labores incluyen la manipulación de mangueras, conexiones y válvulas, además de la revisión de manómetros y otros elementos asociados al proceso de transferencia. Estas tareas requieren una correcta identificación visual de componentes, puntos de conexión y eventuales anomalías durante la operación.
- Soporte a la seguridad operacional de la planta. Entre ellas se consideran rondas de inspección, vigilancia de sectores perimetrales, supervisión de áreas de maniobra y apoyo a los sistemas de cámaras de seguridad. Si bien estas funciones no siempre forman parte directa del proceso productivo, sí constituyen un respaldo relevante para la operación segura del recinto.

En consecuencia, las actividades exteriores de la planta presentan requerimientos visuales diversos, asociados tanto a la circulación de vehículos y peatones como a la manipulación de carga y al control operacional de procesos. Estos requerimientos serán posteriormente analizados a la luz del marco normativo y técnico aplicable al alumbrado exterior.

## **5. Antecedentes Legales**

### **5.1 Decreto N° 2. Declaración de área astronómica**

El Decreto 2 del Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e Innovación fue promulgado el año 2023 y declara áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica. Donde se clasifica como área con valor científico y de investigación para la observación astronómica o "áreas astronómicas", la comuna de Antofagasta en la Región de Antofagasta, sector donde se encuentra ubicada la Planta Distribuidora de Lubricantes ENEX. Además, se destaca que todo el territorio perteneciente a la comuna es clasificado como área astronómica.

### **5.2 Decreto N° 1. Exigencias aplicables al alumbrado exterior**

La última versión del Decreto N° 1 del Ministerio del Medio Ambiente es del año 2022 y establece norma de emisión de luminosidad artificial generada por alumbrados de exteriores, elaborada a partir de la revisión del decreto supremo N° 43, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente.

La información proporcionada por el Decreto N° 2/2023 es de suma relevancia, debido a que en el D.S. N° 1/2022 se clasifica como área de protección especial aquellas áreas astronómicas (además de las Áreas de Protección para la Biodiversidad y las zonas de reproducción de especies donde la luminosidad artificial sea identificada como una amenaza, y que sean delimitadas en un Plan de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies), por lo que se debe cumplir de manera más estricta lo establecido en el decreto.

En el Título II de "Límites máximos de emisión y condiciones de cumplimiento", específicamente en el artículo 5, se entregan los límites para alumbrado peatonal, vehicular e industrial, que es el alumbrado de interés para esta investigación, establece:

#### **1. Límite de emisión de intensidad luminosa.**

- 1.1. Una distribución de intensidad luminosa máxima, para un ángulo gama igual a  $90^\circ$ , que esté comprendida entre 0,00 y 0,49 candelas por cada 1.000 lúmenes de luminaria.

- 1.2. Una distribución de intensidad luminosa de 0 candelas, para un ángulo gama mayor a 90°, por cada 1.000 lúmenes de luminaria.
2. **Emisión por reflexión.** Para el caso de alumbrado industrial (áreas de trabajo en exteriores) no se podrá exceder en más de un 20% de los valores de luminancia e iluminancia especificados en la Norma Chilena NCh 3833/2:2023 Iluminación – Iluminación de lugares de trabajo – Parte 2: Lugares de trabajo exteriores. Además, si no se está desarrollando ninguna faena, la iluminación deberá mantenerse apagada o contemplar una reducción de al menos 50% del flujo luminoso instalado.
3. **Radiancia espectral.**

| Radiancia espectral | Límites Máximos Permisibles               |
|---------------------|-------------------------------------------|
| 300 nm a 379 nm     | 1% radiancia espectral del Rango Visible  |
| 380 nm a 499 nm     | 1% radiancia espectral del Rango Visible  |
| 781 nm a 1000 nm    | 10% radiancia espectral del Rango Visible |

Nota: Rango Visible corresponde a la porción del espectro entre 380 nm y 780 nm.

*Figura 2. Límites de Radiancia Espectral en Áreas de Protección Especial. (Ministerio Medio Ambiente, 2023).*

En relación con la verificación del cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 5, el decreto distingue mecanismos diferentes según el aspecto evaluado. En el caso de las disposiciones contenidas en los numerales 1 y 3, su cumplimiento debe acreditarse mediante la certificación señalada en el artículo 12. Dicho artículo establece que las luminarias utilizadas en alumbrado de exteriores que cuenten con protocolo de certificación vigente deben disponer siempre de una certificación de cumplimiento de los límites de emisión contemplados en la norma, la cual debe obtenerse previamente a su comercialización e instalación. Esta certificación debe ser emitida por un Organismo de Certificación, sobre la base de mediciones efectuadas por un laboratorio, siendo ambos organismos autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

En cuanto a la disposición contenida en el numeral 2, el decreto señala que, para el alumbrado vehicular y peatonal, esta debe ser declarada en la instancia correspondiente al trámite indicado en el artículo 15, esto es, mediante la Puesta en Servicio de Obras de Alumbrado Público, Trámite Eléctrico 2. Sin perjuicio de ello, los niveles establecidos en dicho numeral serán verificados en terreno por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), mediante

mediciones efectuadas conforme a los protocolos que dicho organismo determine para tales efectos.

En el Título III de “Plazos de cumplimiento” específicamente en el artículo 11, se establecen los plazos para dar cumplimiento a los límites definidos en la norma:

1. Las fuentes emisoras existentes en áreas astronómicas, el cumplimiento de la norma no podrá exceder un plazo máximo de 5 años contados desde la entrada en vigencia del decreto, es decir, hasta el 19 de octubre de 2029.
2. Las fuentes emisoras nuevas en áreas astronómicas, deberán cumplir con la norma desde la entrada en vigencia del decreto, correspondiente al 19 de octubre de 2024.

### **5.3 NCh 3833/2:2023. Criterio técnico de evaluación**

Para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 5, inciso 2, del Decreto N°1 del Ministerio del Medio Ambiente, se debe analizar la Norma Chilena NCh 3833/2:2023, titulada “Iluminación - Iluminación de lugares de trabajo - Parte 2: Lugares de trabajo exteriores”. Esta norma constituye la referencia técnica a la que remite expresamente el decreto para evaluar la emisión por reflexión en alumbrado industrial exterior, particularmente en lo relativo a los niveles de iluminancia requeridos según la actividad desarrollada.

En términos generales, la NCh 3833/2:2023 busca asegurar que las tareas desarrolladas en exteriores cuenten con condiciones de iluminación adecuadas, de manera que puedan ejecutarse con seguridad, confort y un desempeño visual apropiado. Para ello, la norma no solo define el nivel de iluminancia requerido para cada actividad, sino también otros aspectos que influyen en la calidad del ambiente luminoso, tales como la distribución de luminancias, la uniformidad de la iluminación, el deslumbramiento, la dirección de la luz, el rendimiento de color, la apariencia de color y el parpadeo. En conjunto, estos criterios permiten que el trabajador identifique correctamente el entorno, distinguir detalles y desarrolle su tarea sin generar fatiga visual innecesaria.

Uno de los aspectos centrales de la norma corresponde a la iluminancia del área de tarea, la cual influye directamente en la forma en que una persona percibe y ejecuta una tarea visual de manera rápida, segura y confortable. La iluminancia puede evaluarse sobre superficies

horizontales, verticales o inclinadas, dependiendo de la naturaleza de la actividad, y su nivel debe definirse considerando factores tales como los requisitos visuales de la tarea, la seguridad, el bienestar del trabajador, la ergonomía visual y la experiencia práctica. Asimismo, la norma reconoce que las necesidades de iluminación pueden variar según las condiciones reales de trabajo, por lo que los valores de referencia pueden ajustarse cuando la tarea presenta exigencias visuales mayores o menores que las habituales. La iluminancia mantenida requerida debería aumentarse cuando el trabajo visual sea crítico, la tarea visual o el trabajador se están moviendo, la exactitud o la mayor productividad es de gran importancia, entre otras especificaciones. La iluminancia mantenida puede ser disminuida si los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de elevado contraste y si la tarea es llevada a cabo durante un período de tiempo inusualmente corto o sólo en raras ocasiones.

Junto con la iluminancia del área de tarea, la norma también considera la iluminancia de las áreas circundantes, ya que esta debe guardar relación con el nivel de iluminación principal para evitar contrastes excesivos dentro del campo visual. Una transición brusca entre áreas muy iluminadas y áreas oscuras puede generar molestias visuales y afectar negativamente la percepción del entorno. Por esta razón, la norma establece una relación entre la iluminancia del área de tarea y la iluminancia mínima recomendable en las zonas circundantes, es decir, la iluminancia del área circundante puede ser inferior que la iluminancia de la tarea por no debe ser menor que el valor que se entrega la Figura 3. En este contexto, la Figura 3 presenta la relación entre la iluminancia del área de tarea y la iluminancia mínima del área circundante.

| Iluminancia de tarea<br>lx   | Iluminancia de áreas circundantes<br>lx |
|------------------------------|-----------------------------------------|
| $\geq 500$                   | 100                                     |
| 300                          | 75                                      |
| 200                          | 50                                      |
| 150                          | 30                                      |
| $50 \leq \bar{E}_m \leq 100$ | 20                                      |
| < 50                         | no especificado                         |

Figura 3. Relación entre iluminancias de áreas circundantes al área de tarea. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023)

La norma también incorpora la uniformidad de la iluminancia como criterio de calidad visual, con el fin de evitar diferencias excesivas de iluminación dentro de una misma área de trabajo. De igual forma, considera el deslumbramiento, entendido como la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, la cual puede manifestarse como molestia o como una perturbación efectiva de la visibilidad. En ambientes industriales exteriores, el control del deslumbramiento resulta especialmente importante, ya que una iluminación mal dirigida o demasiado intensa puede dificultar la identificación de objetos, conexiones, instrumentos o rutas de desplazamiento, además de aumentar el riesgo de errores y accidentes. Para su evaluación, la norma utiliza el índice de deslumbramiento de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), cuyo límite admisible depende de la actividad desarrollada. La Figura 4 ilustra el ángulo entre la línea de visión del observador y la dirección de la luz incidente emitida por cada luminaria individual.

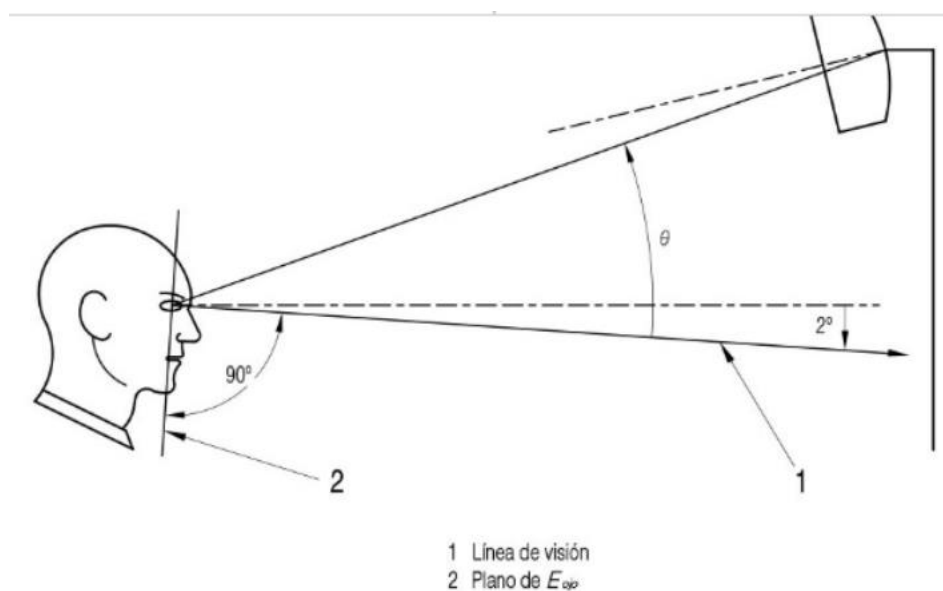


*Figura 4. El ángulo entre la línea de visión del observador y la dirección de la luz incidente emitida por cada luminaria individual. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023).*

Por otra parte, la norma considera criterios relacionados con la dirección de la luz, en la medida en que esta puede favorecer la percepción de formas, texturas y detalles, facilitando la realización de la tarea visual. Asimismo, incorpora el rendimiento de color y la apariencia de color de la luz, dado que una adecuada reproducción cromática contribuye tanto a la correcta identificación de objetos y señales como al confort visual del trabajador. En este contexto, la apariencia de color se expresa mediante la temperatura de color correlacionada,

mientras que la capacidad de reproducción cromática se relaciona con el índice de rendimiento de color. La Figura 5 presenta los grupos de apariencia de color de lámparas definidos por la norma. Finalmente, la NCh 3833/2 también reconoce el parpadeo como un fenómeno no deseado, debido a que puede producir distracción y efectos fisiológicos adversos, como fatiga visual o dolor de cabeza.

| Apariencia de color | Temperatura de color correlacionada<br>$T_{cp}$<br>K |
|---------------------|------------------------------------------------------|
| Cálida              | Inferior a 3 300                                     |
| Intermedia          | De 3 300 a 5 300                                     |
| Fría                | Superior a 5 300                                     |

Figura 5. Grupos de apariencia de color de lámparas. Fuente: (Ministerio Medio Ambiente, 2023).

Los requerimientos normativos se presentan en tablas según el tipo de actividad y consideran, principalmente, la iluminancia mantenida de la tarea  $\bar{E}_m$ , la iluminancia mantenida del área circundante cuando corresponde, la uniformidad mínima  $U_o$ , el límite del índice de deslumbramiento  $R_{GL}$  y el índice mínimo de rendimiento de color  $R_a$ .

Es fundamental precisar que, tras el análisis de los requisitos para exteriores presentados en la NCh 3833/2:2023 (específicamente las secciones 5.1.1, 5.1.2, 5.1.4, 5.7.2 y 5.10.3 utilizadas en este estudio), se constata que la norma no establece niveles de luminancia ( $cd/m^2$ ) para dichas tareas industriales. Por consiguiente, el límite de excedencia del 20% establecido en el artículo 5 inciso 2 del D.S. N° 1 se aplica, para los fines de esta memoria, de manera exclusiva sobre los valores de iluminancia mantenida ( $\bar{E}_m$ ) expresados en lux, y cuando corresponda, para la iluminancia de las áreas circundantes. Mientras que la uniformidad, el índice de deslumbramiento y el índice de rendimiento de color indicados en la NCh 3833 se utilizan como antecedentes técnicos complementarios para la interpretación de los resultados.

De las actividades contempladas por la NCh 3833/2:2023, para la presente memoria se seleccionaron aquellas que presentan relación con las operaciones exteriores desarrolladas en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta. Los valores de referencia considerados para dichas actividades se resumen en la

Tabla 1. La justificación de esta selección y la asociación de cada actividad con las zonas evaluadas de la planta se desarrollan en la metodología, específicamente en el apartado de clasificación de actividades según NCh 3833/2.

Tabla 1. Límites permitidos según actividad presentada en NCh 3833.

| <b>Cumplimiento art. 5.2</b> |                                                           |                                  | <b>Referencia NCh 3833</b> |          |       |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|-------|
|                              | $\bar{E}_{m_{ref\ NCh\ 3833}} - \bar{E}_{m_{máx\ D.S.1}}$ |                                  |                            |          |       |
| <b>Actividad</b>             | $\bar{E}_m$ , lx                                          | $\bar{E}_{m_{circundante}}$ , lx | $U_o$                      | $R_{GL}$ | $R_a$ |
| 5.1.1                        | 5 – 6                                                     | No especificado                  | 0.25                       | 50       | 20    |
| 5.1.2                        | 10 – 12                                                   | No especificado                  | 0.40                       | 50       | 20    |
| 5.1.4                        | 50 – 60                                                   | 20 – 24                          | 0.40                       | 50       | 20    |
| 5.7.2                        | 50 – 60                                                   | 20 – 24                          | 0.40                       | 50       | 20    |
| 5.10.3                       | 100 – 120                                                 | 30 – 36                          | 0.40                       | 45       | 40    |

La sección “Cumplimiento art 5.2” presenta, para cada actividad, el valor de referencia de la NCh 3833/ 2 y su respectivo límite máximo de no excedencia (hasta +20%), según lo presentado por el artículo 5.2 del D.S. N° 1. Donde  $\bar{E}_m$  corresponde a la iluminancia mantenida y  $\bar{E}_{m_{circundante}}$  es la iluminancia mantenida del área circundante.

En la sección de “Referencia NCh 3833”,  $U_o$  es la uniformidad mínima de iluminancia,  $R_{GL}$  es el límite (valor máximo) del índice de deslumbramiento, y  $R_a$  es el índice de rendimiento de colores mínimos.

Las actividades presentes en la tabla corresponden a:

- Tabla 5.1.1 Aceras reservadas exclusivamente para peatones.
- Tabla 5.1.2 Áreas de tráfico para vehículos que se desplazan lentamente (máx. 10 km/h).
- Tabla 5.1.4 Pasos de peatones, puntos de giro, de carga y descarga de vehículos.
- Tabla 5.7.2 Manipulación continua de grandes unidades y materias primas, carga y descarga de flete, emplazamiento de maniobra de las grúas, plataforma de carga al aire libre.

- Tabla 5.10.3 Llenado y vaciado de camiones y vagones cisterna con sustancias peligrosas, reemplazamiento de bombas, empaquetaduras, trabajo de mantenimiento general, lectura de instrumentos.

#### **5.4 Decreto 594. Referencia complementaria de seguridad y salud ocupacional**

Si bien la presente memoria se centra en la evaluación del cumplimiento ambiental del D.S. N°1 del Ministerio del Medio Ambiente, el análisis del alumbrado exterior en una instalación industrial no puede desligarse de las condiciones de seguridad y salud ocupacional bajo las cuales se desarrollan las tareas. En este sentido, el Decreto Supremo N°594 del Ministerio de Salud constituye una referencia complementaria, en cuanto a que establece condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, resguardando que las labores puedan ejecutarse en condiciones adecuadas para la seguridad de las personas. En términos generales, este decreto regula materias asociadas a las condiciones sanitarias y ambientales de los lugares de trabajo, incluyendo aspectos vinculados a la iluminación, en cuanto esta influye directamente en la ejecución segura de las labores.

En el caso de la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta, la referencia a este cuerpo normativo resulta pertinente debido a que parte de las operaciones se realizan en zonas exteriores o semi-exteriores, donde el alumbrado cumple una función directa en la visibilidad de maniobras, desplazamientos, conexiones, lectura de instrumentos y detección de condiciones inseguras. Por ello, el D.S. 594 permite contextualizar la necesidad operacional de contar con iluminación suficiente para el desarrollo seguro de las actividades.

No obstante, es importante precisar que el D.S. 594 no constituye la norma principal de análisis en la presente investigación. El eje normativo de esta memoria corresponde al D.S. N°1 del Ministerio del Medio Ambiente y, específicamente para efectos de análisis del artículo 5, inciso 2, a la NCh 3833/2:2023 como referencia técnica de iluminancia. En consecuencia, el D.S. 594 se incorpora únicamente como marco complementario de referencia para contextualizar la dimensión de seguridad y salud ocupacional asociada al trabajo con alumbrado exterior, sin profundizar en detalle en sus disposiciones

específicas, dado que la planta se encuentra actualmente en funcionamiento continuo. En este sentido, se entiende que sus condiciones generales de operación se desarrollan bajo las exigencias sanitarias y ambientales básicas aplicables al lugar de trabajo, mientras que el propósito de esta memoria se concentra en la evaluación del cumplimiento ambiental asociado al alumbrado exterior.

# CAPÍTULO III

## 6. Metodología y materiales

Para evaluar el cumplimiento del artículo 5 del Decreto N° 1 del Ministerio del Medio Ambiente en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta, se desarrolla una metodología compuesta por cuatro etapas principales. En primer lugar, se realiza la adecuación de la orientación de las luminarias exteriores, con el fin de dar cumplimiento a las exigencias asociadas a la emisión directa de luz. En segundo lugar, se realiza un levantamiento de información para seleccionar una luminaria de reemplazo compatible con los requisitos normativos aplicables en áreas de protección especial. En tercer lugar, se clasifican las luminarias de la planta según la actividad predominante desarrollada en cada sector, utilizando como referencia la NCh 3833/2:2023. Finalmente, se seleccionan áreas críticas de análisis y se evalúa su comportamiento lumínico mediante mediciones en terreno y simulación computacional, comparando un escenario actual, un escenario modificado y un escenario simulado.

### 6.1 Criterios normativos aplicables

#### 6.1.1. Cumplimiento del inciso 1 del artículo 5

Con el fin de cumplir con lo establecido por el inciso 1 del artículo 5 del D.S. N°1, se considera la modificación del ángulo gama de las luminarias exteriores, además de que el archivo IES de la luminaria, el cual entrega la distribución de la luz, demuestre que para un ángulo gama de 90° la emisión es de 0 candelas.

En consecuencia, todas las luminarias se consideran con ángulo de inclinación de 0° respecto a la vertical, con su eje óptico perpendicular al suelo, con el fin de evitar la emisión directa de flujo luminoso hacia el hemisferio superior.

#### 6.1.2. Cumplimiento del inciso 3 del artículo 5

Respecto del inciso 3 del artículo 5, se realiza un levantamiento de información para seleccionar un nuevo proyector que cumpla con los límites de radiancia espectral establecidos para áreas de protección especial. En particular, se considera que la

luminaria seleccionada presente una radiancia espectral inferior a 1% en el rango ultravioleta y azul, e inferior a 10% en el rango infrarrojo, además de contar con certificación SEC vigente que acredite el cumplimiento de los límites de emisión contemplados en la norma aplicable. A partir de este análisis, se selecciona la luminaria HELIOS GEN II (revisar sus especificaciones en anexo A) en potencias de 30 W, 50 W y 100 W, según los requerimientos de cada sector evaluado.

### **6.1.3. Cumplimiento del inciso 2 del artículo 5**

En relación con el inciso 2 del artículo 5, la evaluación se realiza a partir de los niveles de iluminancia exigidos por la NCh 3833/2:2023, norma a la que remite expresamente el D.S. N°1 para el análisis de la emisión por reflexión en alumbrado industrial exterior. Para efectos de esta memoria, el análisis se centra principalmente en la iluminancia mantenida del área de tarea y, cuando corresponda, en la iluminancia del área circundante. Es fundamental precisar que, el límite de excedencia del 20% establecido en el Artículo 5 inciso 2 del D.S. N° 1 se aplica, para los fines de este estudio, de manera exclusiva sobre los valores de iluminancia expresados en lux. De manera complementaria, se integran como antecedentes técnicos la uniformidad mínima ( $U_o$ ), el índice de deslumbramiento ( $R_{GL}$ ) y el índice de rendimiento de color ( $R_a$ ). Estos parámetros se consideran criterios de evaluación para garantizar un diseño integral que, junto con cumplir la restricción ambiental de emisión por reflexión, asegure la seguridad y salud ocupacional en línea con el D.S. N° 594. De esta forma, se verifica que la optimización del flujo luminoso para la protección de los cielos nocturnos no comprometa la visibilidad crítica requerida en las operaciones de la Planta ENEX.

Cabe señalar que, para el caso de la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta, no se considera el apagado o reducción del flujo luminoso en horario nocturno (también solicitado por el artículo), debido a que la operación contempla rondas de seguridad y apoyo a sistemas de cámaras, cuyo funcionamiento requiere mantener alumbrado exterior en servicio. En consecuencia, la estrategia de adecuación se concentra en la orientación de las luminarias, la selección de equipos compatibles con los requisitos normativos y la evaluación de los niveles de iluminancia en las áreas de trabajo.

## 6.2 Clasificación de luminarias según actividad

Tras definir los criterios normativos aplicables, las luminarias exteriores de la planta son clasificadas de acuerdo con la actividad predominante desarrollada en el sector iluminado, utilizando como referencia las categorías establecidas en la NCh 3833/2:2023. Esta clasificación permite asociar cada luminaria a una actividad de referencia y, con ello, establecer los valores normativos de iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y rendimiento de color aplicables en cada caso.

Tabla 2. Clasificación de actividad por luminaria.

| Número luminaria                                                      | Actividad NCh 3833 |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 4 - 11, 14, 23 - 25, 67,<br>68, 89 - 91, 93 - 96                      | 5.1.1              |
| 1 - 3                                                                 | 5.1.2              |
| 12, 13, 15 - 21, 26, 28,<br>29, 42, 43, 63, 65, 66,<br>83, 84, 87, 88 | 5.1.4              |
| 34 - 41, 44 - 62, 64,<br>69 - 82, 100 - 107                           | 5.7.2              |
| 22, 27, 30 - 33, 85, 86,<br>92, 97 - 99                               | 5.10.3             |

La ubicación de cada luminaria puede revisarse en la Figura 1, donde se presenta la numeración utilizada para su clasificación según actividad.

## 6.3 Selección de áreas críticas para el plan de medición

Con el fin de desarrollar el plan de medición, se seleccionan áreas críticas que representan las principales actividades exteriores identificadas en la planta y las distintas categorías de análisis consideradas en la NCh 3833/2:2023. La selección busca abarcar sectores con diferentes tareas visuales, configuraciones espaciales y requerimientos de iluminación, de modo de contar con una muestra representativa del comportamiento lumínico de la planta.

A partir de esta selección, se delimita para cada caso el área de tarea, y cuando corresponda, el área circundante. Lo cual permite establecer con claridad la superficie

sobre la cual se realizarán las mediciones de iluminancia y el posterior cálculo de indicadores lumínicos.

Las áreas seleccionadas son las siguientes:

- Mesa 1, asociada a la actividad 5.10.3 de la NCh3833/2:2023. Se considera área circundante correspondiente a 1 metro de banda perimetral y las dimensiones del área de tarea son: 9.35 m x 3.85 m.
- Esquina Mesa 2, asociada a la actividad 5.1.4 de la NCh3833/2:2023. Se considera área circundante de 1 metro de banda perimetral y las dimensiones del área de tarea son: 12.3 m x 3.6 m.
- Esquina IBC limpios, asociada a la actividad 5.7.2 NCh3833/2:2023. Se considera área circundante de 1 metro de banda perimetral solo en el ancho, es decir, en dos de los cuatro lados del área y las dimensiones del área de tarea son: 24 m x 13.3 m.
- Sala caldera, asociada a la actividad 5.1.1 NCh3833/2:2023. Está zona tiene como función la seguridad operacional y a su vez, circulación peatonal. En esta zona no se considera área circundante y las dimensiones son: 7 m x 1.1 m.
- Ensayo proyector, asociado a la actividad 5.1.1 de la NCh 3833/2:2023 por corresponder a la referencia más cercana disponible dentro de la norma, aunque su función real se vincula principalmente con requerimientos de seguridad operacional. Por esta razón, se reconoce que en este sector puede resultar aceptable una iluminancia superior a la requerida para una circulación peatonal simple, al existir necesidades adicionales de visibilidad asociadas a seguridad y vigilancia. No se considera área circundante. Dimensiones: 1. 3 m x 1m 2. 1.8 m x 1.4 m.

La ubicación de estas áreas dentro de la planta se presenta en la Figura 6.

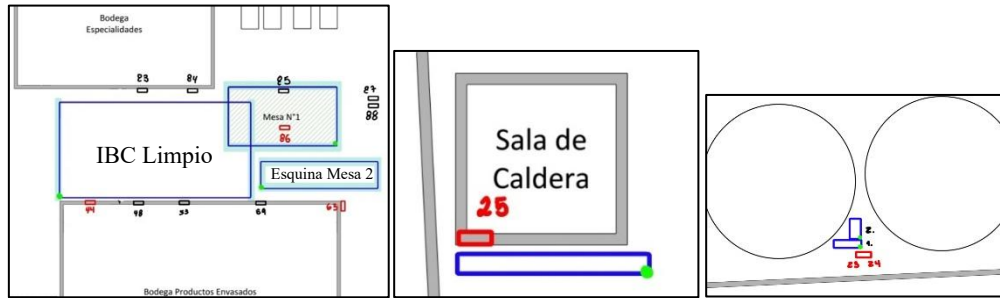


Figura 6. Visualización área de actividad seleccionada para IBC limpio, Mesa 1, Esquina Mesa 2, Sala de Caldera y Ensayo Proyector.

## 6.4 Definición de escenarios de evaluación

Las áreas seleccionadas fueron evaluadas mediante tres escenarios de análisis, con el fin de comparar el sistema lumínico existente, una modificación parcial en terreno y una propuesta integral modelada en software.

El primer escenario corresponde al escenario actual, representativo de la condición existente en enero de 2026, considerando las luminarias instaladas en la planta y su orientación paralela al suelo.

El segundo corresponde al escenario modificado, en el cual algunas luminarias de la zona evaluada son reemplazadas por proyectores HELIOS GEN II de 100W de potencia, con el fin de analizar el efecto del recambio parcial sobre los niveles de iluminancia en terreno.

El tercero corresponde al escenario simulado, en el cual todas las luminarias de las zonas evaluadas son modeladas en software utilizando proyectores HELIOS GEN II de 100 W, 50 W o 30 W, según correspondiera. Esta simulación es desarrollada por los proveedores (byp), a partir del levantamiento dimensional y técnico de la planta.

## 6.5 Procedimiento de medición en terreno

La medición de iluminancia se realiza mediante un sistema de rejilla, de acuerdo con los lineamientos de la NCh 3833/2:2023, con el fin de definir los puntos de evaluación dentro del área de tarea y, cuando corresponda, del área circundante.

El tamaño máximo permitido de la celda de la rejilla, denominado  $p$ , se determina mediante la siguiente expresión:

$$p = 0.2 \cdot 5^{\log_{10} d} \quad (1)$$

Donde  $d$  corresponde a la dimensión mayor del área considerada, expresada en metros, siempre que la relación entre el lado mayor y el menor del área sea inferior a 2. En caso contrario,  $d$  corresponde a la dimensión menor del área.

Dado que  $p$  corresponde a la distancia máxima admisible entre puntos adyacentes, el número de puntos de evaluación en cada dirección del área se determina como:

$$n_x = \left\lceil \frac{W}{p} \right\rceil + 1; \quad n_y = \left\lceil \frac{L}{p} \right\rceil + 1 \quad (2)$$

Donde  $L$  es la dimensión mayor (largo) y  $W$  la dimensión menor (ancho).

Para asegurar que los puntos queden distribuidos uniformemente dentro del área sin exceder el espaciamiento máximo  $p$ , se determina el espaciamiento efectivo entre puntos mediante:

$$s_x = \frac{W}{n_x - 1} \leq p; \quad s_y = \frac{L}{n_y - 1} \leq p \quad (3)$$

Para la medición de iluminancia en terreno se utiliza un luxómetro digital UT383 de UNIT (revisar en anexo B sus características), empleado para registrar los valores de iluminancia en cada uno de los puntos definidos mediante el sistema de rejilla aplicado en las áreas de evaluación. El valor obtenido en cada punto de evaluación corresponde a  $E_i$ , expresado en lux.

A partir del conjunto de valores obtenidos en todos los puntos de la rejilla, se calcula la iluminancia mantenida del área,  $E_m$ , definida como el promedio aritmético de los valores individuales:

$$E_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (4)$$

Donde  $n$  corresponde al número total de puntos evaluados.

Asimismo, la uniformidad general de la iluminancia,  $U_0$ , se determina como la razón entre el valor mínimo de iluminancia registrado en la rejilla y la iluminancia mantenida del área:

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (5)$$

Finalmente, para cada área evaluada se elabora un mapa de calor con escala cromática, que representa la distribución espacial de la iluminancia y facilita la identificación de zonas con menores y mayores niveles iluminación (lux).

## 6.6 Aplicación del procedimiento a los escenarios evaluados

### 6.6.1. Escenario actual

En el escenario actual se aplica el procedimiento completo de medición descrito anteriormente. Para cada una de las áreas seleccionadas se delimita la zona de trabajo, se define la rejilla de medición, se registran los valores de iluminancia en todos los puntos y se calcula la iluminancia mantenida y la uniformidad general. Posteriormente, se elaboran los mapas de calor correspondientes.

### 6.6.2. Escenario modificado

En el escenario modificado se reemplazarán las luminarias de las áreas seleccionadas por proyectores HELIOS GEN II de 100W. Luego, se repite el mismo procedimiento aplicado al escenario actual, incluyendo la medición de iluminancia, el cálculo de  $\bar{E}_m$  y  $U_o$ , y la elaboración de los mapas de calor.

### 6.6.3. Escenario simulado

En el escenario simulado no se realizan mediciones directas en terreno, sino una modelación computacional de la planta a partir de antecedentes geométricos y técnicos entregados a los proveedores. La simulación permite reproducir el comportamiento lumínico de las áreas evaluadas bajo una configuración en la que las luminarias son reemplazadas por proyectores HELIOS GEN II de 100 W, 50 W o 30 W, según corresponda.

Para la elaboración del modelo tridimensional y la simulación del escenario propuesto, se entrega a los proveedores la siguiente información: *layout* de la planta con dimensiones, ubicación y dimensiones de las áreas seleccionadas, altura de las luminarias, separación entre luminarias respecto de puntos de referencia de la planta,

actividad de referencia NCh 3833/2:2023 asociada a cada área y valores normativos de iluminancia correspondientes a cada actividad.

A partir de estos antecedentes, los proveedores desarrollan una representación de la planta en software y generan la simulación del escenario de recambio total para las áreas evaluadas.

## CAPÍTULO IV

### 7. Resultados y discusión

A partir de las mediciones realizadas en las áreas seleccionadas, se determinan los valores de iluminancia mantenida y uniformidad. Los datos de iluminancia obtenidos en terreno ( $E_i$ ) se presentan mediante mapas de calor con escala cromática, permitiendo visualizar la distribución espacial de la iluminancia tanto en el escenario actual como en el modificado. Por su parte, el escenario simulado integra resultados de iluminancia mantenida e índice de deslumbramiento, obtenidos a partir de una configuración nueva de las alturas de montaje de las luminarias proyectadas, la cual modifica alguna de las alturas reales registradas en la planta para dar cumplimiento a lo solicitado por el artículo 5 inciso 2 del D.S. 1.

La interpretación de estos resultados se estructura en primer lugar evaluar el cumplimiento del artículo 5 inciso 2 del D.S. N° 1 (MMA), el cual restringe la emisión lumínica prohibiendo exceder en más de un 20% los valores de luminancia e iluminancia definidos en la NCh 3833/2:2023 para la actividad correspondiente. Como se detalló en la metodología, este análisis se aplica exclusivamente sobre la iluminancia. Y en segunda instancia, se analiza el desempeño técnico de cada zona con relación a los valores de referencia de dicha norma, empleando la uniformidad y el índice de deslumbramiento como parámetros de evaluación de calidad visual y seguridad laboral.

Es fundamental precisar que la obtención de iluminancia inferior a los valores de referencia de la NCh 3833/2:2023 no constituye una infracción al D.S. N° 1, dado que el criterio de este último se orienta en mitigar la contaminación lumínica mediante la prevención de la sobreiluminación. No obstante, para garantizar la seguridad ocupacional, es importante que los niveles operativos de iluminancia no sean menores a los mínimos establecidos por la normativa técnica. En consecuencia, el rango de cumplimiento óptimo se define por resultados de iluminancia que se sitúen entre el valor base de la norma y su excedencia máxima del 20%. Mientras que, la uniformidad y el índice de rendimiento de color deben superar los mínimos normativos establecidos, y el índice de deslumbramiento debe permanecer por debajo del límite máximo permitido, estos valores están presentados en la Tabla 1.

## **7.1 Escenario Actual y Modificado**

A continuación, se presentan los resultados y el análisis comparativo del escenario actual y del escenario modificado para cada una de las zonas evaluadas.

### **Zona Mesa 1**

Al analizar los resultados del escenario actual y del escenario modificado de la zona Mesa 1 (Figura 7), se observa una disminución significativa (reducción del error respecto al máximo establecido de 120 lux, de 255% a 38%) de la iluminancia mantenida de 427 lux a 165 lux, producto del reemplazo de la luminaria 86, ubicada en el centro del área evaluada. Si bien esta reducción representa una mejora importante respecto de la condición inicial, el valor del escenario modificado continúa excediendo el límite máximo de no excedencia aplicable a la actividad analizada, por lo que la zona no cumple en ninguno de los dos escenarios. Además, en el escenario modificado aún se identifica un sector con alta concentración de iluminancia, evidenciado por la permanencia del punto caliente (colorimetría amarilla en Figura 9), producido debido a que se solapan los aportes lumínicos provenientes de las luminarias 85 (dentro de la zona de medición), 86, 87 y 88.

Por otro lado, en el área circundante, la iluminancia mantenida también experimentó una disminución de 304 lx a 161 lx. Para esta zona ya que la iluminancia de la tarea es de 100 lx, la iluminancia del área circundante puede ser inferior a este valor, pero debe ser mayor a 20 lux (revisar Figura 3), ahora bien, considerando lo establecido por el artículo 5 inciso 2, el valor de iluminancia puede ser inferior a 120 lx. Por tanto, ambos escenarios permanecen por sobre el valor máximo considerado de 120 lux.

En cuanto a la uniformidad, en el escenario actual se encuentra por debajo del valor de referencia, incumpliendo con la seguridad laboral, mientras que en el escenario modificado su valor es superior al mínimo establecido en la norma técnica, por ende, al reemplazar una única luminaria del sector aumenta la uniformidad, cumpliéndose con la referencia establecida, lo cual indica que este proyector tiene una mejor distribución lumínica.

| ACTUAL       |           | MODIFICADO   |           |
|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Em, lx       | 427       | Em, lx       | 165       |
| Rango, lx    | 100 - 120 | Rango, lx    | 100 - 120 |
| ¿Cumple?     | NO        | ¿Cumple?     | NO        |
|              |           |              |           |
| Em_circ, lx  | 304       | Em_circ, lx  | 161       |
| Rango, lx    | 30 - 120  | Rango, lx    | 30 - 120  |
| ¿Cumple?     | NO        | ¿Cumple?     | NO        |
|              |           |              |           |
| Uo           | 0.32      | Uo           | 0.50      |
| E min, lx    | 136       | E min, lx    | 83        |
| Valor Mínimo | 0.40      | Valor Mínimo | 0.40      |
| ¿Cumple?     | NO        | ¿Cumple?     | SI        |

Figura 7. Valores Iluminancia Mantenida y Uniformidad Mesa 1.

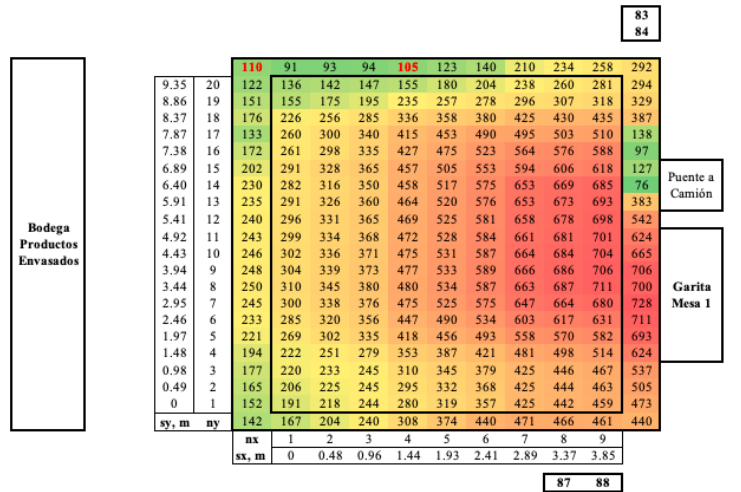


Figura 8. Mapa de color con escala cromática escenario actual Mesa 1.

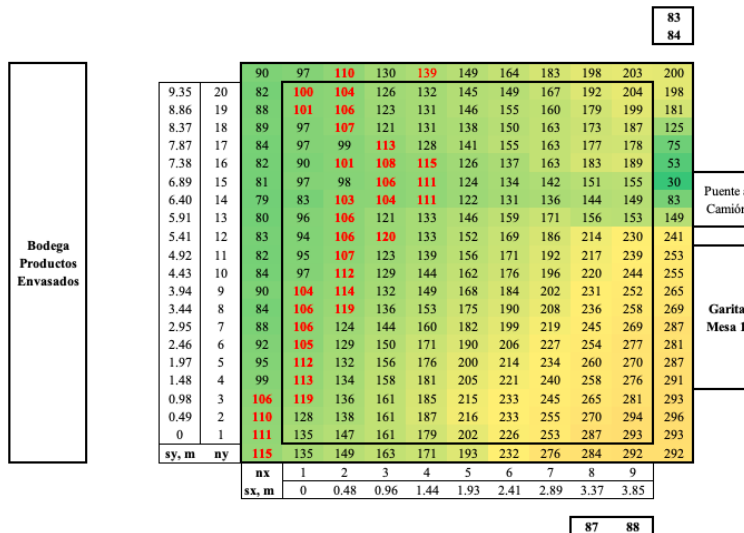


Figura 9. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Mesa 1.

## **Zona Esquina Mesa 2**

Analizando los resultados del escenario actual y del escenario modificado de la zona Esquina Mesa 2, se aprecia una disminución de la iluminancia en los puntos calientes, (zona superior izquierda) asociada al reemplazo de la luminaria 86 correspondiente a la Mesa, junto con un aumento localizado de los niveles de iluminancia hacia el costado derecho del área (Figura 11), atribuible al reemplazo de la luminaria 63.

En ambos escenarios la iluminancia mantenida obtenida se ubica por debajo del valor de referencia de la NCh 3833, con un error de 14% en el escenario actual y 10% en el escenario modificado. Por tanto, desde la perspectiva del artículo 5 inciso 2 del D.S. N° 1, si se cumple con no superar en más de un 20% el valor de referencia, lo que indica que ambos escenarios son compatibles con el criterio de cumplimiento ambiental evaluado. No obstante, al ser un valor inferior al establecido en la norma chilena, es que no se cumple con una correcta calidad visual y seguridad laboral.

Por otro lado, en el área circundante, la iluminancia mantenida experimentó una disminución de 56 lx a 52 lx. Para esta zona ya que la iluminancia de la tarea es de 50 lx, la iluminancia del área circundante puede ser inferior a este valor, pero debe ser mayor a 20 lux (revisar Figura 3), ahora bien, considerando lo establecido por el artículo 5 inciso 2, el valor de iluminancia puede ser inferior a 60 lx. Por tanto, ambos escenarios permanecen dentro del rango establecido, cumpliendo con lo requerido por la normativa.

En cuanto a la uniformidad de la norma, en ambos escenarios el valor obtenido se encuentra por debajo del límite establecido, aunque sí se obtiene un aumento al reemplazar las luminarias, lo cual se demuestra a través de la predominancia del color amarillo en la escala cromática de la Figura 11. Sin embargo, si se excluye la zona no representativa en cuanto a los valores de iluminancia obtenidos, la uniformidad aumenta a 0.46 y la iluminancia mantenida a 50 lux, valores que resultan consistentes con la actividad seleccionada, por ende, correctos en cuanto al criterio ambiental y de seguridad laboral.

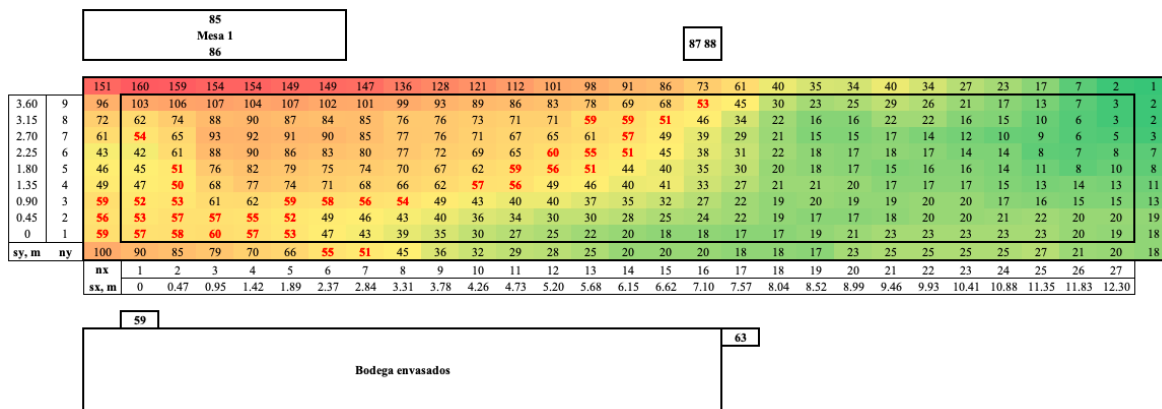


Figura 10. Mapa de color con escala cromática escenario actual Esquina Mesa 2.

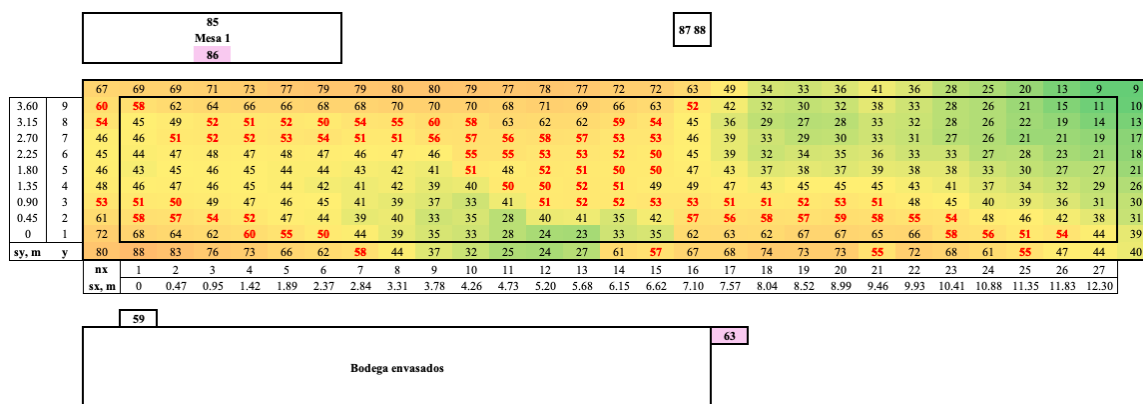


Figura 11. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Esquina Mesa 2.

| ACTUAL       |         | MODIFICADO   |         |
|--------------|---------|--------------|---------|
| Em, lx       | 43      | Em, lx       | 45      |
| Rango, lx    | 50 - 60 | Rango, lx    | 50 - 60 |
| ¿Cumple?     | NO      | ¿Cumple?     | NO      |
| Em_circ, lx  | 56      | Em_circ, lx  | 52      |
| Rango, lx    | 20 - 60 | Rango, lx    | 20 - 60 |
| ¿Cumple?     | SI      | ¿Cumple?     | SI      |
| Uo           | 0.07    | Uo           | 0.24    |
| E min, lx    | 3       | E min, lx    | 11      |
| Valor Mínimo | 0.40    | Valor Mínimo | 0.40    |
| ¿Cumple?     | NO      | ¿Cumple?     | NO      |

Figura 12. Valores Iluminancia Mantenida y Uniformidad Esquina Mesa 2.

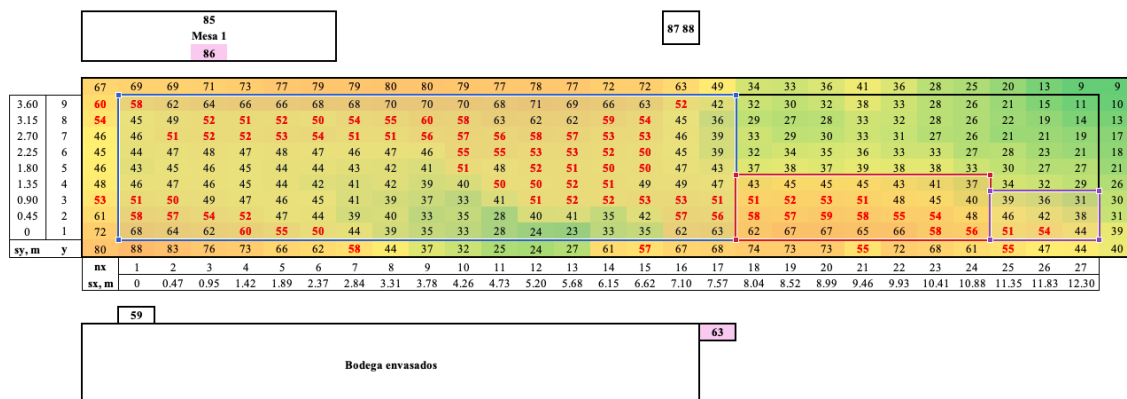


Figura 13. Área representativa actividad Esquina Mesa 2.

## Zona IBC Limpios

Al analizar los resultados del escenario actual y del escenario modificado de la zona IBC Limpios presentados en la Figura 14 y Figura 15, se observa una disminución de la iluminancia en los puntos calientes, principalmente en los sectores donde se solapa el soporte lumínico de las luminarias cercanas a la bodega de productos envasados (luminarias 44, 48, 53 y 59) y a la Mesa 1 (luminarias 85 a 88). Esta disminución se aprecia sin considerar los puntos con bajo nivel de iluminancia asociados a la sombra generada por los IBC.

El recambio parcial de luminarias produjo una reducción en la iluminancia mantenida de 40 unidades de lux en el área de trabajo y de 62 unidades de lux para el área circundante, lo que evidencia que el reemplazo de luminarias (aquellas en color morado en la Figura 15) al proyector HELIOS fue efectivo para disminuir los niveles de iluminación. No obstante, el escenario modificado continúa excediendo el valor establecido por la NCh 3833 en un 88% (excedencia máxima establecida por D.S. N°1 es de 20%), por lo que no se verifica cumplimiento ambiental en esta zona.

Por otro lado, en el área circundante, la iluminancia mantenida también experimentó una disminución de 131 lx a 94 lx. Para esta zona ya que la iluminancia de la tarea es de 50 lx, la iluminancia del área circundante puede ser inferior a este valor, pero debe ser mayor a 20 lux (revisar Figura 3), ahora bien, considerando lo establecido por el artículo 5 inciso 2, el valor de iluminancia puede ser inferior a 60 lx. Por tanto, ambos escenarios permanecen por sobre el valor máximo considerado de 60 lux.

En relación con la uniformidad, ninguno de los dos escenarios alcanza inicialmente el valor de referencia de la NCh 3833/2:2023, debido a la presencia de sectores con nulo y bajo nivel de iluminancia por la obstrucción física de los IBC y de la estructura del sector. No obstante, al restringir el análisis a la zona representativa de la actividad (Figura 17), la uniformidad aumenta a 0,41, valor que sí resulta compatible con la referencia normativa. Además, la iluminancia mantenida alcanza 116 lx, por lo que, aun cuando mejora la lectura de la uniformidad, se mantiene una sobreexcedencia relevante de 131% respecto al valor base de la NCh 3833.

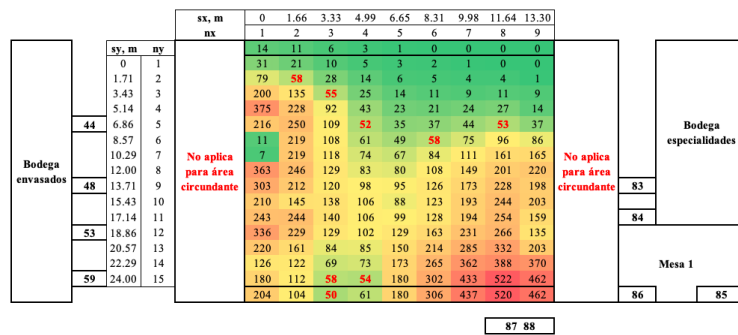


Figura 14. Mapa de color con escala cromática escenario actual IBC Limpios.

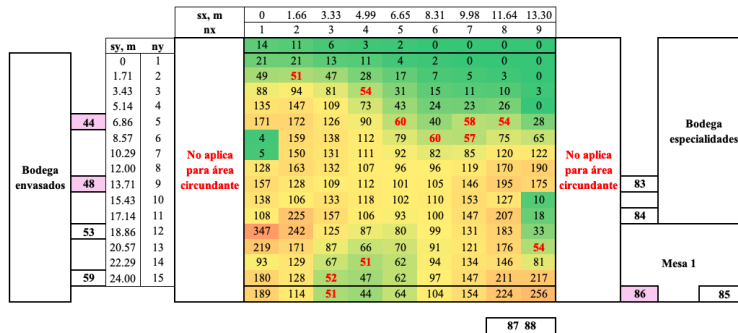


Figura 15. Mapa de color con escala cromática escenario modificado IBC Limpios.

| ACTUAL       |         | MODIFICADO   |         |
|--------------|---------|--------------|---------|
| Em, lx       | 134     | Em, lx       | 94      |
| Rango, lx    | 50 - 60 | Rango, lx    | 50 - 60 |
| ¿Cumple?     | NO      | ¿Cumple?     | NO      |
|              |         |              |         |
| Em_circ, lux | 131     | Em_circ, lx  | 69      |
| Rango, lx    | 20 - 60 | Rango, lx    | 20 - 60 |
| ¿Cumple?     | NO      | ¿Cumple?     | NO      |
|              |         |              |         |
| Uo           | 0.00    | Uo           | 0.00    |
| E min, lx    | 0.00    | E min, lx    | 0.00    |
| Valor mínimo | 0.40    | Valor mínimo | 0.40    |
| ¿Cumple?     | NO      | ¿Cumple?     | NO      |

Figura 16. Valores Iluminancia Mantenida y Uniformidad en IBC Limpios.

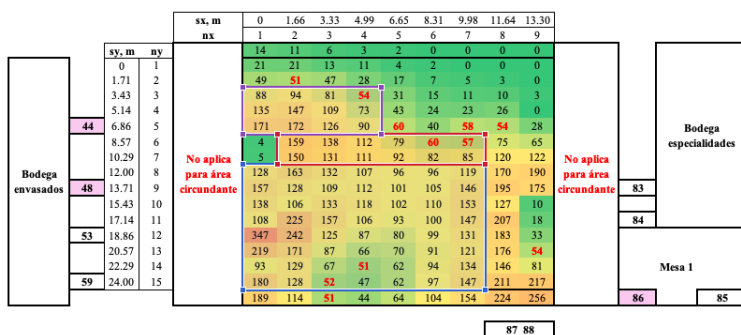


*Figura 17. Área representativa actividad IBC Limpios.*

## Zona Sala de Caldera

En la zona Sala de Caldera se observa una disminución de la iluminancia en el sector izquierdo del área evaluada entre el escenario actual (Figura 18) con el escenario modificado (Figura 19), asociada a la luminaria 25. Esta modificación reduce la iluminancia mantenida desde 107 lx a 82 lx. Aun así, ambos valores se mantienen ampliamente por sobre el valor máximo establecido para la actividad peatonal seleccionada, por ende, la zona no cumple con lo dispuesto en el D.S. N°1. Esta condición se explica principalmente por la elevada potencia de la luminaria utilizada (100 W) en relación con su altura de montaje, aproximadamente 3 metros.

Por otra parte, en cuanto a la uniformidad, ninguno de los escenarios cumple con el valor de referencia de la NCh 3833/2:2023, debido a que la distribución fotométrica de las luminarias genera zonas con distintos niveles de iluminancia, produciendo una marcada

diferencia de iluminancias dentro del área evaluada, lo que se evidencia en los cambios de color observados en la Figura 18 y la Figura 19.

Si bien los niveles de iluminancia mantenida y uniformidad obtenidos superan ampliamente los valores de referencia de la norma técnica, es relevante considerar que la luminaria instalada en la zona no responde exclusivamente a una función de circulación peatonal, sino que también cumple un rol en términos de seguridad operacional y vigilancia mediante sistemas de cámaras. Esta condición permite explicar la mayor iluminancia presente en el sector izquierdo del área, destinado a seguridad, en comparación con el sector derecho, de uso peatonal. No obstante, en ambos casos los niveles de iluminancia mantenida resultan excesivos. En este contexto, para el sector asociado a la seguridad, es posible justificar un ajuste del nivel de iluminancia mantenida respecto al valor de la referencia normativa, dado que la función difiere de la considerada en la NCh 3833; sin embargo, se establece como criterio de diseño un nivel objetivo del orden de 15 lx.

En función de lo anterior, se procedió a analizar áreas representativas diferenciadas dentro del sector. Para la zona de uso peatonal (rectángulo azul en Figura 21), se obtiene una iluminancia mantenida de 34 lux y una uniformidad de 0,30. Por su parte, en la zona de seguridad operacional (rectángulo rojo en Figura 21) se registra una iluminancia mantenida de 124 lux y una uniformidad de 0,55. En ambos sectores, la iluminancia mantenida continúa siendo ampliamente superior al valor de referencia, debido a la configuración de la luminaria, pero al segmentar el análisis por áreas respectivas, se obtiene que la uniformidad cumple con los valores establecidos. Este resultado confirma que la interpretación del sector depende en gran medida de la función mixta que cumple la luminaria instalada.

En este contexto, y considerando la sobreexcedencia de iluminancia observada junto con la altura de montaje existente, se justifica técnicamente el reemplazo por un proyector de 30 W de potencia, manteniendo la misma altura de instalación, con el objetivo de reducir los niveles de iluminancia y aproximarse a los valores de referencia.

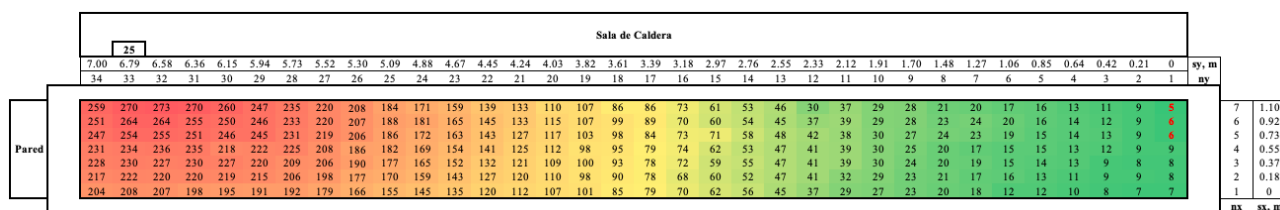


Figura 18. Mapa de color con escala cromática escenario actual Sala de Caldera.

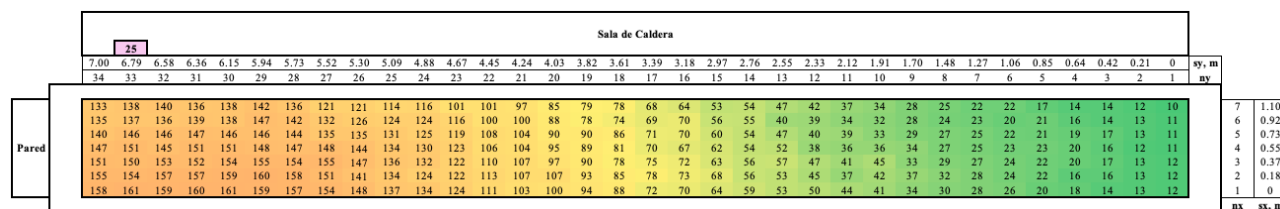


Figura 19. Mapa de color con escala cromática escenario modificado Sala de Caldera.

| ACTUAL       |       | MODIFICADO   |       |
|--------------|-------|--------------|-------|
| Em, lx       | 107   | Em, lx       | 82    |
| Rango, lx    | 5 - 6 | Rango, lx    | 5 - 6 |
| ¿Cumple?     | NO    | ¿Cumple?     | NO    |
| Uo           | 0.05  | Uo           | 0.12  |
| E min, lx    | 5     | E min, lx    | 10    |
| Valor Mínimo | 0.25  | Valor Mínimo | 0.25  |
| ¿Cumple?     | NO    | ¿Cumple?     | NO    |

Figura 20. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Sala de Caldera.

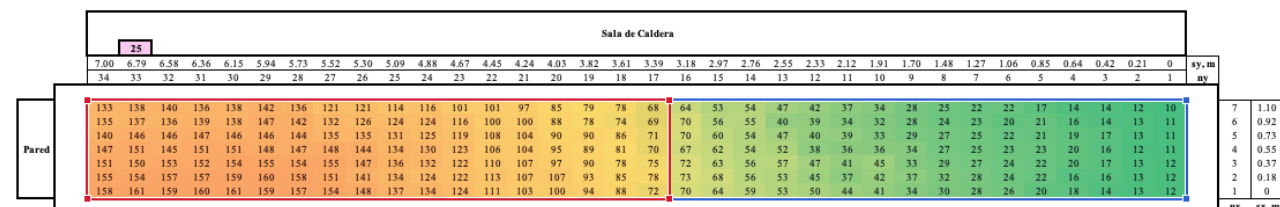


Figura 21. Áreas representativas actividades Sala de Caldera.

## Zona Ensayo Proyector

Esta zona no presenta escenario actual, debido a que la luminaria existente se encontraba fuera de servicio al momento de la evaluación. Por esta razón, el sector fue utilizado para analizar el comportamiento del proyector en una condición de oscuridad predominante. El área de estudio se encuentra subdividida en dos sectores para efectos de su análisis.

Si bien el área fue asociada referencialmente a la actividad 5.1.1 de la NCh 3833/2:2023, su función real se vincula con requerimientos de seguridad operacional. En consecuencia, la comparación con la referencia correspondiente a circulación peatonal debe interpretarse con cautela, dado que el nivel de iluminancia requerido desde el punto de vista operacional se establece entorno a 10 – 15 lx, valor superior al considerado para una circulación peatonal simple. No obstante, los resultados obtenidos evidencian que el proyector de 100 W instalado a una altura de 5 m genera una iluminancia mantenida significativamente superior al valor requerido para este sector, por lo que se justifica técnicamente su reemplazo por un proyector de menor potencia, del orden de 30 W.

Por otra parte, la uniformidad obtenida en ambos sectores cumple con el valor de referencia establecido por la NCh 3833/2:2023.

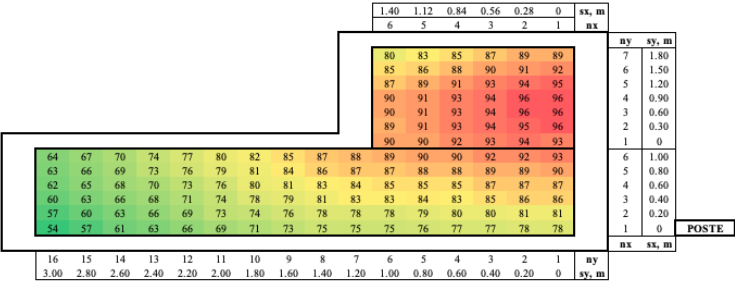


Figura 22. Mapa de color con escala cromática Ensayo Proyector.

|                     |       |                     |       |
|---------------------|-------|---------------------|-------|
| <b>Em 1., lx</b>    | 77    | <b>Em 2., lx</b>    | 91    |
| <b>Rango, lx</b>    | 5 - 6 | <b>Rango, lx</b>    | 5 - 6 |
| <b>¿Cumple?</b>     | NO    | <b>¿Cumple?</b>     | NO    |
| <b>Uo 1.</b>        | 0.70  | <b>Uo 2.</b>        | 0.88  |
| <b>E min 1., lx</b> | 54    | <b>E min 2., lx</b> | 80    |
| <b>Valor mínimo</b> | 0.25  | <b>Valor mínimo</b> | 0.25  |
| <b>¿Cumple?</b>     | SI    | <b>¿Cumple?</b>     | SI    |

Figura 23. Valores Iluminancia Mantenido y Uniformidad Ensayo Proyector.

## 7.2 Escenario Simulación

La simulación luminotécnica desarrollada por el proveedor BYP constituye una herramienta complementaria para evaluar la factibilidad de una propuesta de rediseño del sistema de alumbrado exterior, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los criterios normativos en las zonas analizadas, considerando como base las restricciones geométricas

y operacionales de la planta. En caso de ser necesario, dichas restricciones serán ajustadas con el fin de representar de mejor manera las condiciones de diseño. Este análisis se efectuó exclusivamente para las áreas analizadas en terreno: IBC Limpios, Mesa 1, Esquina Mesa 2, Sala de Caldera y Ensayo Proyector.

Para la ejecución de la simulación, se incorporaron las dimensiones generales de la planta (Figura 1), junto con la ubicación y dimensiones de las áreas seleccionadas, la altura de montaje de las luminarias, la separación entre ellas respecto de puntos de referencia y los valores normativos de iluminancia asociados a cada actividad. Sobre esta base, se definió una configuración de proyectores HELIOS GEN II en potencias de 100 W, 50 W y 30 W, incluyendo ajustes en las alturas de montaje (Figura 24) y la incorporación de una luminaria adicional (Figura 25), con el propósito de construir una propuesta de recambio integral para las zonas estudiadas.

Dado que esta configuración corresponde a un escenario teórico, los resultados obtenidos deben ser interpretados considerando posibles restricciones de implementación en terreno, tales como limitaciones estructurales, interferencias físicas u otras condiciones propias de la operación de la planta.

En particular, las luminarias modeladas a 12 m de altura se consideraron para mantener niveles del orden de 5 – 6 lx, asociados a la clasificación de área peatonal según la normativa (tabla 5.1.1). No obstante, en ciertas ubicaciones clasificadas como uso peatonal, la función predominante corresponde a alumbrado de seguridad, como apoyo a CCTV y rondas operacionales, más que a tránsito peatonal permanente. En este contexto, y con el fin de compatibilizar la factibilidad de montaje con el objetivo funcional de seguridad, se propone instalar dichas luminarias a una altura de 6 m utilizando proyectores HELIOS GEN II de 30 W, permitiendo alcanzar niveles de iluminancia mantenida del orden de 15 lx.

En aquellos casos en que no sea posible implementar la altura de montaje definida en la simulación, se considera como criterio de ajuste la modificación de la potencia instalada y, de ser necesario, la incorporación de un punto de luz adicional, previa reevaluación de los resultados. Por ejemplo, las luminarias N°85 y N°86 fueron configuradas en la simulación como proyectores de 100 W a 6,5 m; sin embargo, debido a restricciones de

terreno, su instalación se limita a 5 m de altura. En consecuencia, se propone reducir su potencia a 50 W y evaluar la necesidad de incorporar una luminaria adicional, con el fin de asegurar el desempeño lumínico requerido en la zona.

En la Figura 26 se presenta el *layout* de la planta con las áreas analizadas y su correspondiente mapa de isolux (revisar el correspondiente a cada zona en el anexo C), el cual permite visualizar la distribución espacial de los niveles de iluminancia (lux) en torno a cada zona de evaluación. La simulación fue desarrollada para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 5.2, utilizando proyectores HELIOS GEN II en las distintas potencias según los requerimientos de cada sector.

| Nº Luminaria | Potencia, W | Altura luminaria en simulación, m | Altura real, m |
|--------------|-------------|-----------------------------------|----------------|
| Nueva        | 50          | 4.9                               | -              |
| 23 24        | 30          | 12.0                              | 4.934          |
| 25           | 30          | 12.0                              | 3.837          |
| 43           | 50          | 4.4                               | 5.000          |
| 44           | 50          | 5.0                               | 4.399          |
| 48           | 50          | 5.1                               | 5.169          |
| 53           | 50          | 4.8                               | 4.789          |
| 59           | 50          | 4.8                               | 4.243          |
| 63           | 50          | 5.0                               | 5.058          |
| 83           | 50          | 4.9                               | 4.816          |
| 84           | 50          | 4.9                               | 4.924          |
| 85           | 100         | 6.5                               | 5.294          |
| 86           | 100         | 6.5                               | 5.487          |
| 87           | 100         | 6.0                               | 6.003          |
| 88           | 100         | 6.0                               | 6.003          |

Figura 24. Configuración luminarias Simulación.

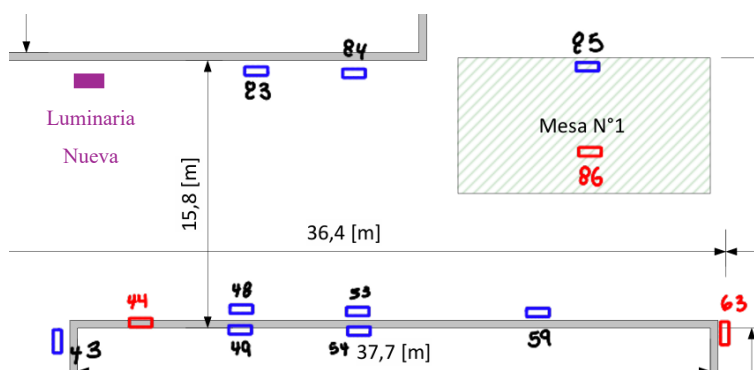


Figura 25. Luminaria extra.

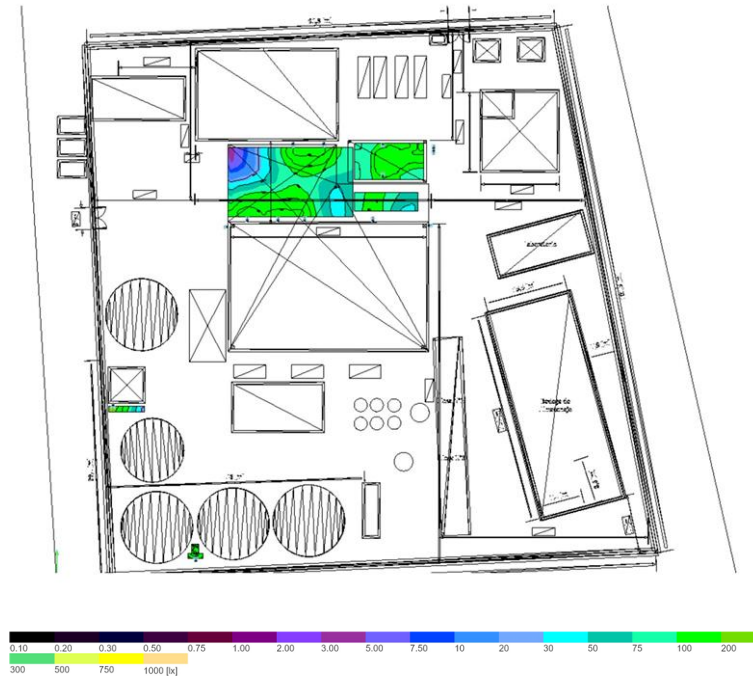


Figura 26. Layout Planta Software con colorimetría de iluminancia en lux.

Los resultados de iluminancia mantenida obtenidos se presentan en la Tabla 3, donde se indica para cada zona el valor promedio ( $\bar{E}_m$ ), el mínimo ( $E_{min}$ ) y el rango de referencia asociado al valor establecido en la NCh 3833/2, junto con el criterio de no excedencia definido en el D.S. 1 (hasta un 20% por sobre el valor normativo). A partir de estos resultados, se observa que las zonas IBC Limpios y Esquina Mesa 2 se encuentran dentro del rango de 50 – 60 lx, Mesa 1 dentro de 100 – 120 lx, y Sala de Caldera dentro de 5 – 6 lx. Por su parte, las zonas de Ensayo Proyector presentan valores superiores al nivel de referencia para uso peatonal (5 lx), pero inferiores al límite de 15 lx considerado como ajuste por cambio de actividad. En consecuencia, todas las zonas evaluadas cumplen con el criterio asociado a iluminancia mantenida.

Tabla 3. Resultados iluminancia mantenida simulación. Cumplimiento D.S. N°1.

| <b>Zona</b>               | <b><math>\bar{E}_m</math>, lx</b> | <b><math>E_{min}</math>, lx</b> | <b>Rango <math>\bar{E}_m</math>, lx</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>IBC Limpios</b>        | 50.1                              | 25.5                            | 50 – 60                                 |
| <b>Mesa 1</b>             | 103                               | 65.9                            | 100 – 120                               |
| <b>Esquina Mesa 2</b>     | 51.1                              | 33.6                            | 50 – 60                                 |
| <b>Sala de Caldera</b>    | 5.32                              | 4.5                             | 5 – 6                                   |
| <b>Ensayo Proyector 1</b> | 7.58                              | 7.19                            | 5 a 15 – 18*                            |
| <b>Ensayo Proyector 2</b> | 7.17                              | 6.52                            | 5 a 15 – 18*                            |

\* Dado que en las zonas de Ensayo Proyector la iluminación cumple principalmente una función de apoyo a la seguridad operacional, resulta técnicamente justificable adoptar un nivel objetivo de iluminancia mantenida del orden de 15 lx (18 lx corresponde al 20% de excedencia permitido), aun cuando este difiera del valor de referencia normativo asociado a tránsito peatonal.

De manera complementaria, modo de verificación complementaria de calidad lumínica y seguridad visual, se evaluaron los parámetros de uniformidad ( $U_o$ ) y el índice de deslumbramiento ( $R_{GL,max}$ ), cuyos resultados se presentan en la Tabla 4. En relación con la uniformidad, todas las zonas analizadas presentan valores superiores a los mínimos exigidos por la NCh 3833/2, con incrementos aproximados de 27,5%, 60%, 65%, 240%, 280% y 264% para IBC Limpios, Mesa 1, Esquina Mesa 2, Sala de Caldera, Ensayo Proyector 1 y Ensayo Proyector 2, respectivamente.

Respecto al índice de deslumbramiento ( $R_{GL,max}$ ), se observa que los valores obtenidos superan el límite de referencia en las zonas IBC Limpios, Mesa 1 y Esquina Mesa 2 en aproximadamente 10%, 37.8% y 14%, respectivamente, mientras que en Sala de Caldera y en ambas zonas del Ensayo Proyector el indicador se mantiene por debajo del valor máximo permitido. Estas variaciones se explican por la alta

sensibilidad del indicador frente a factores como la distribución fotométrica de las luminarias, su posición y altura de montaje, la cantidad de puntos de luz y la geometría del observador, por lo que pequeñas modificaciones en la configuración pueden generar cambios significativos en los resultados.

Tabla 4. Resultados uniformidad e índice deslumbramiento simulación. Evaluación complementaria NCh 3833/2.

| <b>Zona</b>                   | <b><math>U_o</math></b> | <b>NCh 3833</b> | <b><math>R_{GL_{max}}</math></b> | <b>NCh 3833</b> | <b>Altura, m</b> |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|------------------|
| <b>IBC<br/>Limpios</b>        | 0.51                    | 0.40            | 55                               | 50              | 2                |
| <b>Mesa 1</b>                 | 0.64                    | 0.40            | 62                               | 45              | 2                |
| <b>Esquina<br/>Mesa 2</b>     | 0.66                    | 0.40            | 57                               | 50              | 2                |
| <b>Sala de<br/>Caldera</b>    | 0.85                    | 0.25            | 21                               | 50              | 1.5              |
| <b>Ensayo<br/>Proyector 1</b> | 0.95                    | 0.25            | < 10                             | 50              | 1.5              |
| <b>Ensayo<br/>Proyector 2</b> | 0.91                    | 0.25            | < 10                             | 50              | 1.5              |

Finalmente, en cuanto al índice de reproducción cromática ( $R_a$ ), las luminarias HELIOS GEN II presentan un valor nominal de 70, conforme al Certificado de Aprobación SEC N° 501088, obtenido bajo el protocolo PE N° 5/19, el cual valida que el producto cumple con las exigencias de desempeño y seguridad visual vigentes en Chile para proyectores de exterior. Este valor supera los mínimos exigidos por la NCh 3833/2 (revisar Tabla 1), asegurando condiciones adecuadas para la identificación de colores, señalización y elementos de seguridad en la Planta ENEX.

# CAPÍTULO V

## 8. Conclusiones

Del análisis normativo del D.S. N°1/2022 se identifican los principales requerimientos aplicables a las instalaciones industriales ubicadas en zonas con protección astronómica, destacando las restricciones sobre la intensidad luminosa emitida, la emisión por reflexión y la radiancia espectral. En este contexto, se evidencia que el principal desafío radica en compatibilizar las exigencias de seguridad y continuidad operacional propias de la actividad industrial con las restricciones ambientales orientadas a la reducción de la contaminación lumínica.

A partir del levantamiento de información en terreno y la evaluación del sistema existente, fue posible caracterizar las actividades que requieren alumbrado exterior en la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta, tales como el tránsito peatonal de trabajadores, la circulación vehicular lenta, las operaciones de carga y descarga, las maniobras con grúa, las rondas de inspección y apoyo a los sistemas de cámaras de seguridad. Esta caracterización permitió identificar cinco zonas críticas, en las cuales se concentra el análisis del desempeño lumínico en función de las distintas exigencias operacionales.

Las modificaciones evaluadas permiten evidenciar mejoras en el comportamiento del sistema, acercando los niveles de iluminancia mantenida a los valores de referencia en diversas zonas, aunque no se logra cumplir completamente con los límites establecidos. En términos cuantitativos, en las zonas Mesa 1 e IBC Limpios se observan reducciones significativas de iluminancia mantenida tras el reemplazo de las luminarias seleccionadas, sin embargo, los valores continúan por sobre el máximo permitido. En la zona Esquina Mesa 2, al evaluar un área representativa se logra cumplir con el valor exigido por la norma. Por su parte, la Sala de Caldera presenta una condición particular debido a su uso mixto, registrando niveles de iluminancia que exceden ampliamente los límites tanto para tránsito peatonal como para seguridad operacional. De manera similar, en la zona Ensayo Proyector se obtienen valores que superan el máximo permitido para funciones de seguridad.

Por otro lado, la simulación luminotécnica entrega resultados satisfactorios, ya que todas las zonas evaluadas cumplen con los valores exigidos de uniformidad e iluminancia mantenida.

Lo anterior demuestra que es técnicamente factible alcanzar el cumplimiento normativo mediante la implementación de mejoras específicas, tales como la optimización de la altura de instalación, la redistribución de luminarias y el ajuste de potencias. En este sentido, el uso de luminarias tipo proyector con tecnología LED se presenta como una alternativa efectiva para reducir la emisión lumínica sin comprometer la seguridad operacional, manteniendo adecuados niveles de uniformidad, control del deslumbramiento y correcta reproducción cromática.

No obstante, se reconoce que algunas de las soluciones propuestas, particularmente aquellas asociadas al aumento de la altura de montaje, presentan limitaciones prácticas debido a las condiciones operacionales de la planta. Por ello, la propuesta final considera un equilibrio entre el cumplimiento normativo y la factibilidad técnica, priorizando medidas que permitan una mejora progresiva del sistema de alumbrado.

En consecuencia, se concluye que la adecuación del sistema de alumbrado exterior de la Planta de Lubricantes ENEX Antofagasta es viable sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad de las operaciones, siempre que se base en criterios normativos de diseño luminotécnico actualizados y en una adecuada ingeniería de iluminación. Asimismo, se evidencia que la gestión eficiente del alumbrado no solo responde a exigencias regulatorias, sino que también constituye una oportunidad para optimizar el desempeño energético y reducir los impactos ambientales.

Finalmente, la metodología aplicada en este estudio demuestra ser una herramienta replicable para la evaluación de sistemas de alumbrado exterior en otras instalaciones industriales, permitiendo integrar de manera efectiva los aspectos técnicos, operacionales y normativos, en un contexto donde la sostenibilidad y el cumplimiento ambiental adquieren creciente relevancia.

## **9. Recomendaciones**

En función de los resultados obtenidos, se recomienda implementar las modificaciones propuestas y detalladas en el anexo D del presente estudio para la Planta de Lubricantes ENEX, ubicada en Antofagasta, con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema de iluminación y avanzar hacia el cumplimiento de los criterios normativos establecidos.

En base al análisis realizado, se recomienda que, en futuras evaluaciones, la obtención de los indicadores luminotécnicos se realice mediante simulación, incorporando en la medida de lo posible, una mayor cantidad de zonas de estudio. Esto permite evaluar distintos escenarios de diseño, validar previamente las modificaciones propuestas y verificar el cumplimiento de los requerimientos normativos antes de su implementación en terreno. Asimismo, para proyectos de alumbrado exterior en entornos industriales, se recomienda considerar de manera integral las restricciones propias de cada instalación. Estas pueden estar asociadas a la ubicación geográfica del proyecto, las condiciones operacionales, las características de la infraestructura existente y las exigencias normativas locales, incluyendo disposiciones municipales y ambientales aplicables.

Posterior a la implementación de las mejoras, se recomienda realizar mediciones en terreno, con el fin de verificar que los niveles de iluminancia, uniformidad y control de deslumbramiento se ajustan a los valores proyectados en la simulación, permitiendo así validar el desempeño real del sistema.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, se recomienda desarrollar un estudio de mercado que permita identificar tecnologías de iluminación más eficientes disponibles, evaluando alternativas en función de su desempeño lumínico, consumo energético, vida útil y costos asociados. Esto facilita la toma de decisiones informadas orientadas a optimizar el consumo energético y reducir costos operacionales, sin comprometer la seguridad ni el cumplimiento normativo.

Finalmente, se recomienda evaluar la incorporación de sistemas de control y automatización del alumbrado, tales como fotoceldas, temporizadores o sistemas de gestión inteligente, que permitan ajustar los niveles de iluminación según las condiciones reales de operación, evitando la sobreiluminación y contribuyendo a una gestión más eficiente del sistema.

## REFERENCIAS

BBVA. (Septiembre de 2018). *Cielos chilenos atraen la observación astronómica mundial*.

Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/cielos-chilenos-atraen-la-observacion-astronomica-mundial/>

European Southern Observatory. (2023). *Chile tiene nueva norma lumínica para la protección de sus cielos oscuros*. Obtenido de European Southern Observatory:

<https://www.eso.org/public/chile/announcements/annlang23002-es-cl/>

European Southern Observatory. (2026). *Telescopios e Instrumentos*. Obtenido de European

Southern Observatory: <https://www.eso.org/public/chile/teles-instr/>

European Southern Observatory. (2026). *Observatorio Paranal*. Obtenido de European

Southern Observatory: <https://www.eso.org/public/chile/teles-instr/paranal-observatory/>

European Southern Observatory. (2026). *Visitas públicas al Observatorio La Silla*. Obtenido

de European Southern Observatory: <https://www.eso.org/public/chile/about-eso/visitors/lasilla/>

Fundación Cielos de Chile. (Septiembre de 2025). *Estudio revela falta de información sobre*

*impacto lumínico en proyectos ingresados al SEIA en zonas astronómicas*. Obtenido de Fundación Cielos de Chile: <https://cieloschile.cl/impacto-luminico-en-zonas-astronomicas/>

Harding, B. (Enero de 2025). *Luz artificial por la noche: más no siempre es mejor*. Obtenido de Instituto de Salud Global Barcelona: <https://www.isglobal.org/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/artificial-light-at-night-more-is-not-always-better>

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2023). *Decreto 2. Declara áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1193763>

Ministerio del Medio Ambiente. (Diciembre de 2015). Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://mma.gob.cl/postularan-a-cielos-oscuros-del-norte-como-patrimonio-de-la-humanidad/>

Ministerio Medio Ambiente. (2023). *NCh3833/2:2023*. Obtenido de Normas Técnicas Chilenas: <https://normastecnicas.mma.gob.cl/document/26>

Ministerio del Medio Ambiente. (2024). *Decreto 1. Establece norma de emisión de luminisidad artificial generada por alumbrado de exteriores, elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo N° 43, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1197027&idVersion=2024-10-19>

Ministerio del Medio Ambiente. (2026). *Contaminación Lumínica en Chile y el mundo*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://luminica.mma.gob.cl/contaminacion-luminica-en-chile-y-el-mundo/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2026). *Nueva Norma Lumínica (D.S. N°1/2022 MMA)*.

Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://luminica.mma.gob.cl/norma-luminica/>

Ministerio de Salud. (2026). *Decreto 594. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo*. Obtenido de Biblioteca del Congreso

Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766>

OPCC. (2025). *Contaminación lumínica*. Obtenido de Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile: <https://opcc.cl/contaminacion-luminica/>

Vivanco, E. (Agosto de 2025). *Normativa lumínica de Chile*. Obtenido de Biblioteca del

Congreso Nacional de Chile / BCN:

[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/37531/2/BCN\\_Normas\\_luminicas\\_para\\_observacion\\_astronomica\\_en\\_Chile\\_2025\\_FINAL.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/37531/2/BCN_Normas_luminicas_para_observacion_astronomica_en_Chile_2025_FINAL.pdf)

## A. Luminaria HELIOS GEN II

Corresponde a un proyector de alto rendimiento para uso exterior. Adecuado para aplicaciones que requieren iluminación eficiente en espacios amplios, como estacionamientos o instalaciones industriales. Ofrece un funcionamiento estable en condiciones ambientales exigentes, contribuyendo a mantener niveles adecuados de visibilidad y seguridad. Su diseño permite una instalación flexible y un aprovechamiento eficiente del flujo luminoso, con un consumo energético controlado. Es una opción apropiada para proyectos que requieren iluminación de alta intensidad y operación prolongada.

Las características eléctricas son:

- Voltaje: 120 – 240 VAC.
- Potencia: 30W/50W/100W/150W/200W/300W.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Factor de Potencia: > 0,95.
- EEI: A++.
- THD: < 15%.
- Driver dimeable 0 – 10 V.
- Driver DALI a pedido.

Las características mecánicas son:

- Material: aleación de aluminio de color gris.
- Índice de impactos (IK): 08.
- Índice de hermeticidad (IP): 66.

Las características fotométricas son:

- Temperatura de color: 3000K/4000K/5000K T°C según D.S. N°1/2022.
- Temperatura de trabajo: -30°C +45°C.
- Vida útil: > 50000 horas.
- Supresor de transiente de 10 KV.

Cuenta con los siguientes certificados:

- Certificado de seguridad eléctrica: SEC PE 5/19.
- Certificado contaminación lumínica D.S. N°43/2012 y actualizado a D.S. N°1/2022.
- Cumplimiento normativa contaminación lumínica sin visera (óptica asimétrica)

Los proyectores seleccionados, corresponden a HELIOS GEN II “DS01” con temperatura de color de 1700K, en la Tabla 5 se presentan sus especificaciones.

Tabla 5. Características proyector HELIOS.

| Código      | Potencia | Lúmenes | Eficiencia | %Azul | Corriente | Largo | Ancho | Alto | Peso   |
|-------------|----------|---------|------------|-------|-----------|-------|-------|------|--------|
| CE203009880 | 30 W     | 3000    | 100        | 1%    | 0,12A     | 345mm | 280mm | 110m | 2,20kg |
| CE203009882 | 50 W     | 5000    | 100        | 1%    | 0,21A     | 345mm | 280mm | 110m | 2,20kg |
| CE203009884 | 100 W    | 10000   | 100        | 1%    | 0,43A     | 415mm | 325mm | 130m | 3,20kg |

## B. Luxómetro

A continuación, se presentan las características del equipo utilizado para realizar las mediciones en terreno de la iluminancia de las áreas evaluadas.

Tabla 6. Características luxómetro.

| Equipo    | Marca | Modelo | Parámetro medido | Unidad de medida |
|-----------|-------|--------|------------------|------------------|
| Luxómetro | UNI-T | UT3833 | Iluminancia      | Lux              |



Figura 27. Luxómetro.

## C. Resultados simulación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la simulación luminotécnica generada por los proveedores.

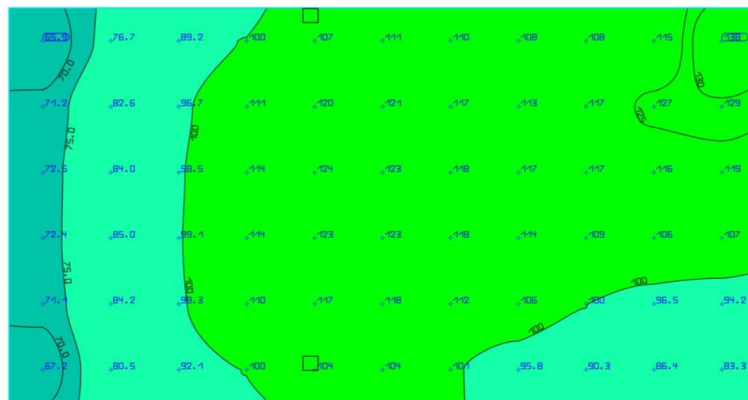


Figura 28. Mapa isolux Mesa 1.

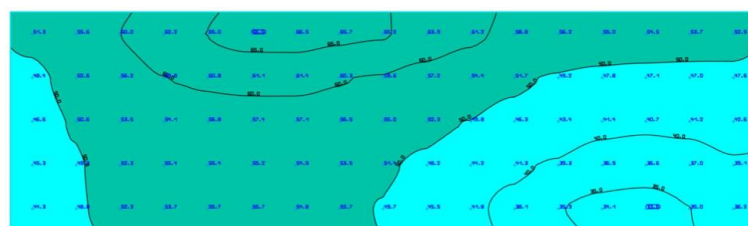


Figura 29. Mapa isolux Esquina Mesa 2.

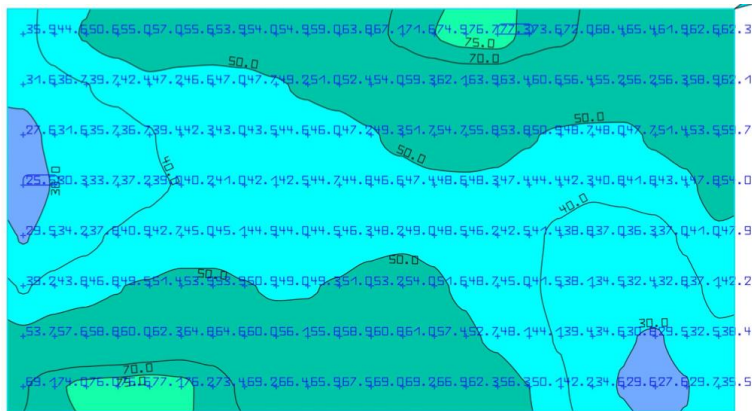


Figura 30. Mapa isolux IBC Limpios.

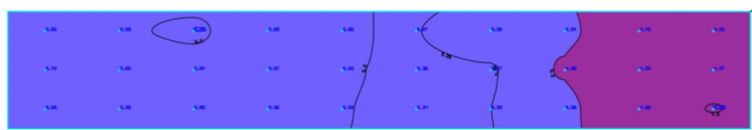


Figura 31. Mapa de isolux Sala de Caldera.

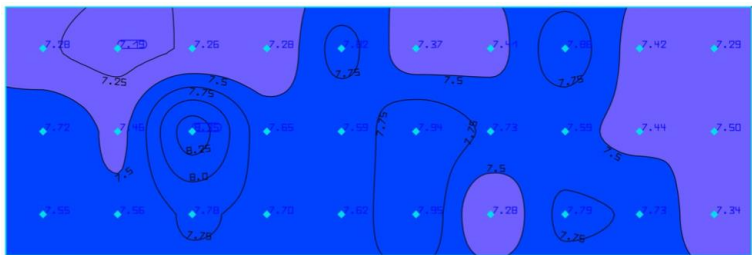


Figura 32. Mapa isolux Ensayo Proyector subárea 1.



*Figura 33. Mapa isolux Ensayo Proyector subárea 2.*

## **D. Modificaciones propuestas**

En la Tabla 7 se presentan las modificaciones propuestas a realizar por luminaria, en base a lo obtenido en la simulación realizada por los proveedores. Revisar la ubicación de cada una de las luminarias en la Figura 1. En caso de que alguna luminaria no pueda estar a la altura propuesta, reducir potencia y evaluar si se debe agregar una luminaria adicional.

Además, se recomienda evaluar si es realmente necesario reemplazar todas las luminarias de la bodega de productos envasados y de la bodega de especialidades, ya que por el tipo de alumbrado del proyector HELIOS se podrían colocar menos luminarias pero con otra distribución, en modo de ejemplo revisar la Figura 34 y la Figura 35. También evaluar el pasillo entre la bodega de almacenaje y la Mesa 2 y 3, como ejemplo se muestra la Figura 36.

Evaluar otro proyector para aquellas luminarias que se encuentran instaladas a 2 – 3 m de altura, ya que un proyector HELIOS de 30 W probablemente exceda la iluminancia mantenida requerida para estas zonas, ya que son categorizadas para uso peatonal o se encuentran dentro del Galpón. Son aquellas que presentan “\*\*\*” en la columna de Cambio en la Tabla 7.

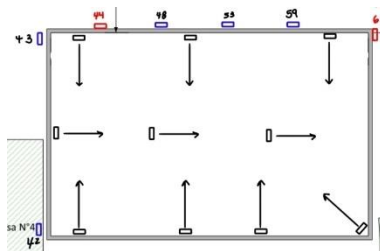


Figura 34. Ejemplo modificación luminarias Bodega de Productos Envasados.

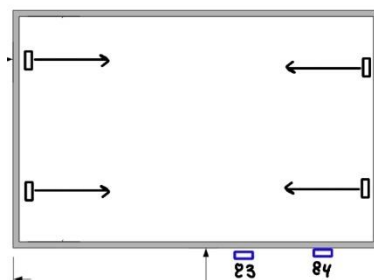


Figura 35. Ejemplo modificación luminarias Bodega Especialidades.

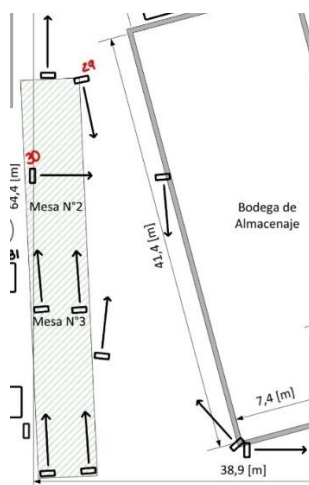
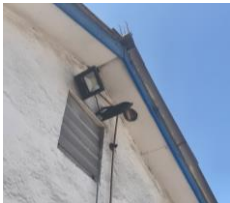
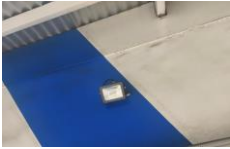
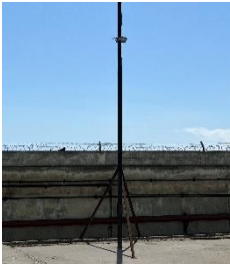


Figura 36. Ejemplo modificación luminarias pasillo Bodega de Almacenaje y Mesa 2 y 3.

Tabla 7. Modificaciones propuestas por luminaria.

| Número luminaria | Comentario                                                                      | Foto luminaria                                                                       | Cambio           |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1                | Evaluar si efectivamente se cumple normativa.                                   |    | HELIOS 30W a 6m  |
| 2                |                                                                                 |    | HELIOS 30W a 6m  |
| 3                | Fue retirada                                                                    |                                                                                      |                  |
| 4                | Alumbrado seguridad.<br>Evaluar si son necesarias las 3 luminarias.             |  | HELIOS 30W a 6m  |
| 5                |                                                                                 |                                                                                      | HELIOS 30W a 6m  |
| 6                |                                                                                 |                                                                                      | HELIOS 30W a 6m  |
| 7                | Se encuentra instalada entre 3 – 4 m de altura.<br><br>Evaluar si es necesaria. |  | HELIOS 30 W a 6m |
| 8                | Se encuentran instaladas entre 2 – 3 m de altura. Uso peatonal.                 |  | ***              |
| 9                |                                                                                 |                                                                                      | ***              |

|    |                                                                                   |                                                                                      |                 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 10 | Se encuentra instalada entre 2 – 3 m de altura. Uso peatonal.                     |    | ***             |
| 11 | Se encuentra instalada entre 2 – 3 m de altura. Uso peatonal.                     |    | ***             |
| 12 | Fuera de servicio.                                                                |    | HELIOS 50W a 5m |
| 13 |                                                                                   |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 14 | Alumbrado seguridad.                                                              |   | HELIOS 30W a 6m |
| 15 |                                                                                   |  | HELIOS 50W a 5m |
| 16 | Alumbrado seguridad + grúa horquilla. Evaluar si son necesarias las 4 luminarias. |  | HELIOS 50W a 5m |
| 17 |                                                                                   |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 18 |                                                                                   |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 19 |                                                                                   |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 20 | Fuera de servicio.                                                                |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |

|    |                                                       |                                                                                      |                 |
|----|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 21 |                                                       |    | HELIOS 50W a 5m |
| 22 | Su remplazo debe alumbrar hacia la Mesa 3.            |    | HELIOS 50W a 5m |
| 23 | Alumbrado seguridad.                                  |    | HELIOS 30W a 6m |
| 24 | Reemplazadas por HELIOS 100 W.                        |                                                                                      |                 |
| 25 | Alumbrado seguridad.<br>Reemplazada por HELIOS 100 W. |   | HELIOS 30W a 6m |
| 26 |                                                       |  | HELIOS 50W a 5m |
| 27 | Su remplazo debe alumbrar hacia la Mesa 2.            |  | HELIOS 50W a 5m |

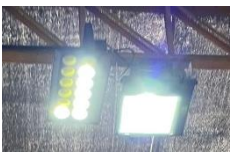
|    |                                                                                 |                                                                                      |                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 28 |                                                                                 |    | HELIOS 50W a 5m |
| 29 |                                                                                 |    | HELIOS 50W a 5m |
| 30 | Dos luminarias.<br>Evaluar si es necesario<br>agregar una tercera<br>luminaria. |    | HELIOS 50W a 5m |
| 31 |                                                                                 |  | HELIOS 50W a 5m |
| 32 | Doble. Retirar una.                                                             |  | HELIOS 50W a 5m |
| 33 |                                                                                 |  | HELIOS 50W a 5m |

|    |                                                                                                                    |                                                                                      |                 |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 34 | Reemplazo colocarlo en la misma horizontal de la actual, pero a la derecha. Para que no quede frente la 41.        |    | HELIOS 50W a 5m |
| 35 | Dos arriba, una abajo. Se encuentran instaladas entre 2 – 3 m de altura del segundo piso. Están dentro del galpón. |    | ***             |
| 36 |                                                                                                                    |                                                                                      | ***             |
| 37 |                                                                                                                    |                                                                                      | ***             |
| 38 | Se encuentran instaladas entre 2 – 3 m de altura del segundo piso. Están dentro del galpón.                        |    | ***             |
| 39 |                                                                                                                    |                                                                                      | ***             |
| 40 | Fue retirada.                                                                                                      |                                                                                      |                 |
| 41 | Reemplazo colocarlo en la misma horizontal de la actual, pero a la derecha. Para que no quede frente a la 34.      |  | HELIOS 50W a 5m |
| 42 | Evaluar si ubicación es correcta. Ya que se tapa con los IBC.                                                      |  | HELIOS 50W a 5m |
| 43 | Evaluar si ubicación es correcta. Ya que se tapa con los IBC.                                                      |  | HELIOS 50W a 5m |

|    |                             |                                                                                      |                 |
|----|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 44 | HELIOS 100 W.               |    | HELIOS 50W a 5m |
| 45 |                             |    | HELIOS 50W a 5m |
| 46 |                             |    | HELIOS 50W a 5m |
| 47 |                             |   | HELIOS 50W a 5m |
| 48 | HELIOS 100 W.               |  | HELIOS 50W a 5m |
| 49 | Fuera de servicio. Retirar. |  |                 |
| 50 |                             |  | HELIOS 50W a 5m |
| 51 |                             |  | HELIOS 50W a 5m |

|    |                             |                                                                                      |                 |
|----|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 52 |                             |    | HELIOS 50W a 5m |
| 53 |                             |    | HELIOS 50W a 5m |
| 54 | Fuera de servicio. Retirar. |                                                                                      |                 |
| 55 |                             |    | HELIOS 50W a 5m |
| 56 |                             |  | HELIOS 50W a 5m |
| 57 |                             |  | HELIOS 50W a 5m |
| 58 |                             |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 59 |                             |  | HELIOS 50W a 5m |

|    |                      |                                                                                      |                 |
|----|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 60 |                      |    | HELIOS 50W a 5m |
| 61 |                      |    | HELIOS 50W a 5m |
| 62 |                      |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 63 | HELIOS 100 W.        |    | HELIOS 50W a 5m |
| 64 |                      |   | HELIOS 50W a 5m |
| 65 |                      |  | HELIOS 50W a 5m |
| 66 |                      |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 67 | Alumbrado seguridad. |  | HELIOS 30W a 6m |
| 68 |                      |                                                                                      | HELIOS 30W a 6m |

|    |                    |                                                                                      |                 |
|----|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 69 |                    |    | HELIOS 50W a 5m |
| 70 | Fuera de servicio. |    | HELIOS 50W a 5m |
| 71 | Fuera de servicio. |    | HELIOS 50W a 5m |
| 72 |                    |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 73 |                    |   | HELIOS 50W a 5m |
| 74 | En mal estado.     |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 75 |                    |  | HELIOS 50W a 5m |
| 76 | En mal Estado.     |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 77 |                    |  | HELIOS 50W a 5m |
| 78 | En mal estado.     |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 79 |                    |  | HELIOS 50W a 5m |
| 80 |                    |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |

|    |                                                                        |                                                                                      |                    |
|----|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 81 |                                                                        |    | HELIOS 50W a 5m    |
| 82 |                                                                        |    | HELIOS 50W a 5m    |
| 83 |                                                                        |    | HELIOS 50W a 5m    |
| 84 |                                                                        |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m    |
| 85 |                                                                        |    | HELIOS 50W a 5m    |
| 86 | HELIOS 100W.                                                           |   | HELIOS 50W a 5m    |
| 87 |                                                                        |  | HELIOS 100W a 6m   |
| 88 |                                                                        |                                                                                      | HELIOS 100W a 6m   |
| 89 | Alumbrado seguridad.<br>Evaluar si son necesarias<br>las 3 luminarias. |  | HELIOS 30W a 6m    |
| 90 |                                                                        |                                                                                      | HELIOS 30W a 6m    |
| 91 |                                                                        |                                                                                      | HELIOS 30W a 6m    |
| 92 |                                                                        |  | HELIOS 100W a 6.5m |

|    |                                                               |                                                                                      |                  |
|----|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 93 | Se encuentra instalada entre 2 – 3 m de altura. Uso peatonal. |    | ***              |
| 94 | Alumbrado peatonal.                                           |    | HELIOS 30W a 12m |
| 95 | Alumbrado peatonal.                                           |   | HELIOS 30W a 12m |
| 96 | Alumbrado peatonal.                                           |  | HELIOS 30W a 12m |
| 97 | Su remplazo debe alumbrar hacia la Mesa 3.                    |  | HELIOS 50W a 5m  |

|     |                                            |                                                                                      |                 |
|-----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 98  | Su remplazo debe alumbrar hacia la Mesa 2. |    | HELIOS 50W a 5m |
| 99  |                                            |    | HELIOS 50W a 5m |
| 100 |                                            |    | HELIOS 50W a 5m |
| 101 |                                            |    | HELIOS 50W a 5m |
| 102 |                                            |   | HELIOS 50W a 5m |
| 103 |                                            |  | HELIOS 50W a 5m |
| 104 |                                            |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 105 |                                            |                                                                                      | HELIOS 50W a 5m |
| 106 |                                            |  | HELIOS 50W a 5m |

|     |  |                                                                                    |                 |
|-----|--|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 107 |  |  | HELIOS 50W a 5m |
|-----|--|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|