



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN NATURAL
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA
PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL
PINTADO DE PIEZAS PLÁSTICAS PARA LA
INDUSTRIA DE AUTOMOCIÓN.**

AUTORA: DINGDING SILVIA YE ZHU

TUTOR: M^º CRISTINA SANTAMARINA SIURANA

Curso Académico: 2016-17

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo se centra en el diseño y simulación de un sistema de iluminación, buscando la eficiencia energética de éste, partiendo desde la premisa de que la nave seleccionada trabaja con un sistema de iluminación 100% artificial.

La planta elegida, es una planta de pintura en base disolvente, de piezas plásticas para automoción.

Primeramente, se comienza con el desarrollo del marco teórico del trabajo, en el que se comentará brevemente el sector de la automoción, el proceso de pintura y la distribución de planta de la planta.

Posteriormente se introducirá el contexto de la iluminación, para centrar en medida de lo posible al lector, y facilitar la comprensión del trabajo. Tras la breve introducción, se simularan las diferentes propuestas de iluminación natural obteniendo unos resultados lumínicos que se analizaran con el fin de seleccionar la opción mas viable y optima en base a ellos.

Finalmente, se obtiene el presupuesto que supondría llevar a cabo el proyecto y el análisis económico, para analizar la rentabilidad del proyecto.

Palabras Clave: Iluminación natural, Automoción, planta de pintura, eficiencia energética.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

PRÓLOGO

Al iniciar el último curso de carrera, yo, como todos mis compañeros, empezamos a plantearnos sobre qué tema deberíamos escribir el último trabajo de la carrera, aquel trabajo que cerraría por completo esta etapa.

No fue hasta el segundo cuatrimestre, con la asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial de la mención de diseño, que se despertó en mí el interés sobre esta asignatura, y mi decisión de realizar el TFG basado en esta rama, que aún siendo una rama ingenieril, queda un poco más apartada de lo que es la ingeniería química.

Tras la finalización del TFG, me siento muy satisfecha con los resultados. Durante el proyecto he aprendido a lidiar con normas y normativas con las que no estaba muy familiarizada, y que se han tenido que emplear para el

Por último, me gustaría agradecer a mi tutora M^a Cristina Santamarina Siurana, el apoyo y la ayuda proporcionada durante el curso y durante la realización del proyecto.

También agradecer a mi familia, por apoyarme en todas mis decisiones y por que sin ellos, llegar hasta aquí no hubiera sido posible.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
1. OBJETIVOS	11
2. AUTOMOCIÓN	11
2.1. El sector	11
3. PLANTA DE PINTURA DE PIEZAS PLÁSTICA PARA AUTOMÓVILES	11
3.1. Proceso productivo	12
3.1.1. <i>Recepción de la materia prima</i>	12
3.1.2. <i>Carga</i>	12
3.1.3. <i>Desengrase</i>	12
3.1.4. <i>Horno de secado</i>	13
3.1.5. <i>Flameado</i>	13
3.1.6. <i>Imprimación</i>	13
3.1.7. <i>Base (o color)</i>	13
3.1.8. <i>Barniz</i>	13
3.1.9. <i>Flash-Off</i>	13
3.1.10. <i>Horno de curado o polimerizado</i>	13
3.1.11. <i>Descarga</i>	14
3.1.12. <i>Embalaje intermedio</i>	14
3.2. Diagrama de bloques del proceso	14
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	15
4.1. Distribución de planta	15
4.2. Sistema estructural	16
5. ILUMINACIÓN	16
5.1. Tipos de iluminación	16
5.2. Fundamentos de la iluminación natural	17
5.3. Requerimientos de planta	19
5.4. Hipótesis	21
5.5. Método de cálculo	22
5.6. Propuestas de iluminación	25

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

5.7. Resultados luminotécnicos.....	29
5.8. Selección de la propuesta óptima	30
5.9. Desarrollo de la propuesta óptima.....	32
5.10. Análisis de la iluminación artificial	38
5.11. Eficiencia energética del sistema de iluminación.....	38
6. ANÁLISIS ECONÓMICO	40
6.1. Presupuesto para un sistema de iluminación 100% natural	40
6.2. Balance económico	41
6.2.1. Presupuesto para un sistema de iluminación artificial 100%.....	41
6.2.2. Presupuesto para un sistema de iluminación mixto	46
6.4. Análisis económico.....	49
7. CONCLUSIONES	52
8. BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXO 1- PRESUPUESTO.....	55
ANEXO 2- PLANOS	61
ANEXO 3- LUMINARIAS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grados de reflexión de los elementos.	21
Tabla 2. Parámetros de los lucernarios.	21
Tabla 3. Niveles de iluminación requeridas por sección.	23
Tabla 4. Valores de iluminación de diferentes ciudades para el 10 de diciembre, 10:00h a.m.	24
Tabla 5. Resultados luminotécnicos de la propuesta 1.	29
Tabla 6. Resultados luminotécnicos de la propuesta 2.	29
Tabla 7. Resultados luminotécnicos de la propuesta 3.	29
Tabla 8. Tabla comparativa del nivel de iluminación interior para las tres propuestas.	30
Tabla 9. Tabla comparativa del nivel de iluminación máxima para las tres propuestas.	30
Tabla 10. Tabla comparativa del grado de uniformidad para las tres propuestas.	30
Tabla 11. Tabla de resultados luminotécnicos de la propuesta 3.	37
Tabla 12. Análisis de iluminación y uniformidad para la zona crítica.	37
Tabla 13. Resultados lumínicos del sistema de iluminación artificial.	38
Tabla 14. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.	39
Tabla 15. Eficiencia energética del sistema 20%-80%.	39
Tabla 16. Eficiencia energética del sistema 30%-70%.	39
Tabla 17. Eficiencia energética del sistema 40%-60%.	39
Tabla 18. Presupuesto final para la instalación de un sistema de iluminación 100% natural.	40
Tabla 19. Presupuesto final para el mantenimiento de lucernarios.	40
Tabla 20. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% natural.	40
Tabla 21. Potencia requerida en planta sin tener en cuenta las luminarias.	41
Tabla 22. Potencia total requerida en planta.	41
Tabla 23. Términos de potencia y energía en función de los periodos de facturación.	41
Tabla 24. Discriminación horaria de la tarifa 3.1A (2017)	42
Tabla 25. Horas trabajadas por periodos. Días trabajados al año.	43
Tabla 26. Cálculo del término de potencia.	43
Tabla 27. Cálculo del término de energía.	44
Tabla 28. Estimación del importe total anual factura eléctrica.	44
Tabla 29. Presupuesto final para la renovación de un sistema de iluminación 100% artificial.	45
Tabla 30. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% artificial.	45

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Tabla 31. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 20%-80%.....	46
Tabla 32. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias en el sistema 20%-80%.....	47
Tabla 33. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 20%-80%.....	47
Tabla 34. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 20%-80%.	47
Tabla 35. Presupuesto estimado final para el sistema 20%-80%.	47
Tabla 36. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 30%-70%.....	47
Tabla 37. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias para el sistema 30%-70%. .	48
Tabla 38. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 30%-70%.....	48
Tabla 39. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 30%-70%.	48
Tabla 40. Presupuesto estimado final para el sistema 30%-70%.	48
Tabla 41. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 40%-60%.....	48
Tabla 42. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias para el sistema 40%-60%. .	49
Tabla 43. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 40%-60%.....	49
Tabla 44. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 40%-60%.	49
Tabla 45. Presupuesto estimado final para el sistema 40%-60%.	49
Tabla 46. Comparación del ahorro de los distintos sistemas de iluminación.	50
Tabla 47. Obtención del VAN y TIR para los diferentes sistemas de iluminación.	51
Tabla 48. Cálculo de la rentabilidad de los diferentes sistemas de iluminación.	51
Tabla 49. Cuadro de precios descompuestos.....	57
Tabla 50. Cuadro de mediciones.....	58
Tabla 51. Cuadro de presupuestos parciales.....	58
Tabla 52. Presupuesto final para la instalación de un sistema de iluminación 100% natural....	58
Tabla 53. Cuadro de precios descompuestos.....	59
Tabla 54. Cuadro de mediciones.....	59
Tabla 55. Cuadro de presupuestos parciales.....	59
Tabla 56. Presupuesto final para el mantenimiento de lucernarios.	59
Tabla 57. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% natural.....	59
Tabla 58. Cuadro de precios descompuestos.....	60
Tabla 59. Cuadro de mediciones.....	60
Tabla 60. Cuadro de presupuestos parciales.....	60
Tabla 61. Presupuesto final para la renovación de un sistema de iluminación 100% artificial..	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de pintura.....	14
Figura 2. Distribución en planta.	15
Figura 3. Sistema de iluminación.....	17
Figura 4. Fundamentos de luz natural.....	18
Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas.	19
Figura 6. Efectos de la incidencia de la luz en función del ángulo con el ojo humano.....	20
Figura 7. Zonificación por requerimientos lumínicos.	23
Figura 8. Distribución de ventanales de la propuesta 1.	26
Figura 9. Distribución de lucernarios de la propuesta 1.....	26
Figura 10. Iluminación natural en verano de la propuesta 1.....	26
Figura 11. Distribución de ventanales cenitales de la propuesta 2.....	27
Figura 12. Distribución de ventanales laterales de la propuesta 2.	27
Figura 13. Distribución de lucernarios de la propuesta 2.....	27
Figura 14. Iluminación natural en verano de la propuesta 2.....	28
Figura 15. Distribución de ventanales cenitales de la propuesta 3.....	28
Figura 16. Distribución de lucernarios de la propuesta 3.....	29
Figura 17. Iluminación natural en verano de la propuesta 3.....	29
Figura 18. Posible deslumbramiento zona carga-descarga.	31
Figura 19. Posible deslumbramiento zona verificado.	31
Figura 20. Ejemplo nave industrial con un sistema de iluminación empleando claraboyas.	32
Figura 21. Colores falsos para la simulación en junio (12:00h)	33
Figura 22. Resultados en gama de grises en junio (12:00h)	33
Figura 23. Colores falsos para la simulación en diciembre (09:00h)	34
Figura 24. Resultados en gama de grises en diciembre (09:00h)	34
Figura 25. Colores falsos para la simulación en diciembre (10:00h)	35
Figura 26. Resultados en gama de grises en diciembre (10:00h)	35
Figura 27. Colores falsos para la simulación en diciembre (11:00h)	36
Figura 28. Resultados en gama de grises en diciembre (11:00h)	36

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

1. OBJETIVOS

Se pretenden alcanzar con este proyecto los siguientes objetivos:

- Conocer las necesidades de iluminación de una planta de pintura para el sector automoción y proponer tres alternativas de sistema de iluminación natural, en función de la superficie de la aberturas y su posición, empleando los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas relacionadas, cursadas durante la carrera.
- Familiarizarse con el software DIALux, a partir del cual se obtendrán los resultados lumínicos necesarios para la elección de la propuesta óptima.
- Analizar la eficiencia energéticos de los sistemas simulados con el fin de definir la propuesta óptima.
- En base al sistema elegido, se diseñan diferentes sistemas de iluminación combinando en diferentes proporciones luz artificial y luz natural, buscando siempre la eficiencia energética de ellos.
- Elaborar un presupuesto del proyecto con el objetivo de poder estudiar la viabilidad de llevarlo a cabo y en el caso de que sea posible, el periodo de retorno del capital de inversión.

2. AUTOMOCIÓN

2.1. El sector

El sector del automóvil es vital para la economía española, ya que tanto la producción de automóviles como de los componentes, representan alrededor del 10% del Producto Interior Bruto de España.

Para hacernos una idea, en base a los datos reflejados en la Asociación Española de Fabricantes de automóviles y camiones (ANFAC, 2017), España a nivel mundial se encuentra en la octava posición por delante de países europeos como por ejemplo Italia, Francia y Reino unido, mientras que a nivel Europeo, España se ha convertido en el segundo mayor fabricante de coches y componentes solamente superado por Alemania.

3. PLANTA DE PINTURA DE PIEZAS PLÁSTICA PARA AUTOMÓVILES

La nave elegida para realizar el estudio de iluminación, se trata de una nave de pintura de piezas plásticas para automoción ubicada en Liria (Valencia). Dicha nave pertenece a una empresa proveedora de empresas (Tier 1) de automoción como SEAT, General Motors, Ford, Audi, etc.. Por lo que es una empresa que fabrica a gran escala y con un elevado número de empleados.

La nave de pintura esta en funcionamiento las 24 horas del día de lunes a viernes durante todos los días del año, excluyendo festivos locales, una semana en navidad y dos semanas en agosto,

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

principalmente para realizar tareas de mantenimiento que requieren paradas de la línea mas largas.

El proceso de pintura consiste en pintar piezas plásticas inyectadas en función de los requerimientos específicos de clientes. Para ello, la línea de pintura cuenta con cuatro cabinas: La primera para flamear las piezas y las tres restantes para pintarlas, empleando en todas ellas, robots automatizados.

La pintura utilizada en esta nave, es una pintura en base disolvente, lo cual es un dato importante, ya que el proceso de pintura para pinturas en base agua, difiere en algunos aspectos y maquinaria utilizada.

El proceso esta diseñado para que la línea funcione en automático con intervención limitada de empleados, excluyendo algunas etapas como la carga y descarga de las piezas, que requieren la presencia de empleados.

3.1. Proceso productivo

3.1.1. Recepción de la materia prima

La materia prima del proceso productivo son las piezas inyectadas en la misma empresa. El departamento de inyección es responsable de suministrar al menos un 60% de su producción diaria al almacén intermedio que alimenta la línea de pintura. El transporte desde la planta de inyección hasta el almacén intermedio en la línea de pintura será constante y diario y lo realizaran operarios contratados para esa función.

3.1.2. Carga

Es la primera etapa del proceso productivo, y a partir de ésta, las piezas entran en el proceso de pintura. Esta etapa consiste en posicionar las piezas en unos útiles específicos por modelo de pieza inyectada, denominados perchas. Estas perchas están a su vez, posicionadas en un mástil anclado a un carro responsable de transportar las piezas a lo largo del proceso. El mástil, aparte de la función de transporte, también gira, de modo que ayuda a los operarios a realizar la carga de las piezas plásticas.

Al haber una percha por referencia de pieza, hay una etapa previa a la carga, que consiste en el cambio de percha, aprovechando para decaparlas y almacenarlas para su próximo uso.

Debido a las grandes dimensiones de las perchas se requiere la presencia de dos operarios. Ambos operarios se encuentran en el mismo lado del proceso, de modo que primero se posicionan las piezas en la cara A (tanto en la zona baja como la zona alta) del carro y posteriormente, éste gira para permitir a los operarios posicionar el resto de piezas en la cara B.

3.1.3. Desengrase

Esta fase es de suma importancia ya que influye en el acabado final de la pieza. Consiste en la eliminación de polvo y suciedad que ha sido arrastrada desde la inyección del plástico hasta el transporte de éste al almacén intermedio previo a la carga. La secuencia es la siguiente:

- Limpieza con agua más desengrasante, para eliminar toda la suciedad que ha sido arrastrada desde el proceso de inyección hasta el almacén intermedio.
- Limpieza con agua desmineralizada como enjuague de las piezas.

- Ecurrido de las piezas mediante unas mesas vibratorias, para eliminar las gotas de agua.

3.1.4. Horno de secado

En esta fase, las piezas pasan por un horno de secado con flujo caliente para eliminar los restos de agua.

El horno se encuentra a 80°C aproximadamente y las piezas están 20 minutos. Cuando las piezas salen del horno pasan por una etapa de tránsito antes de entrar a la siguiente etapa, en la que la temperatura de las piezas se estabiliza hasta llegar a la temperatura ambiente.

3.1.5. Flameado

El proceso de flameado consiste en, mediante una llama oxidante, abrir los poros del plásticos facilitando la adherencia de las capas de pintura al material. Algunos tipos de plásticos requieren este proceso, en este caso las piezas de polipropileno, para facilitar la adherencia de las capas de pintura al sustrato.

3.1.6. Imprimación

La imprimación consiste en la adición de la primera capa de pintura al plástico, para garantizar la adherencia del sustrato a las capas de pintura. A nivel microscópico, lo que se consigue es, nivelar el sustrato, rellenando con la primera capa de pintura los poros que se han abierto en la etapa anterior.

3.1.7. Base (o color)

Esta etapa consiste en aplicar la capa de color requerido por el cliente a las piezas plásticas. Es la etapa más crítica debido a que una pequeña desviación de los parámetros puede influir en mayor medida en los requisitos de color exigidos por el cliente.

3.1.8. Barniz

En esta etapa se aplica la capa de barniz a las piezas. Proporciona a las piezas brillo y resistencia mecánica (ya sea para resistir golpes, cambios bruscos de temperatura, etc....) y química (ya sea para resistir rayos UV, lluvia ácida, etc.)

Las etapas de flameado, imprimación, color y barniz se realizan en cabinas automatizadas con robots a ambos lados de las vías. Las condiciones de las cabinas son 25°C y 65% de humedad relativa.

3.1.9. Flash-Off

Tras la aplicación de cualquier capa de pintura, ya sea la de imprimación, base o barniz, las piezas pasan por una zona de tránsito a las mismas condiciones a las que están las cabinas durante 10-15 minutos, en la que se evapora el disolvente de la pintura aplicada. Esta fase se denomina Flash-Off.

3.1.10. Horno de curado o polimerizado

El objetivo de esta etapa es eliminar las sustancias volátiles, como pueden ser, los disolventes y curar las piezas para que las capas de pintura consigan una película sólida y homogénea. Las piezas pasan por el horno de curado durante 45 minutos y a una temperatura de 90°C.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Al salir del horno, las piezas pasan por una etapa de enfriado hasta alcanzar la temperatura ambiente, para proceder a su descarga.

3.1.11. Descarga

Al igual que en la etapa de carga de piezas, en la etapa de descarga se requiere la presencia de dos operarios, de modo que se descarga primero la cara B, tanto la zona alta como la baja, y posteriormente la zona A.

Tras la descarga, las piezas pasan al área de inspección donde se determinará el estado de las piezas. El estado puede ser:

- Pieza NOK: Son piezas con pequeños defectos que se pueden solucionar pasando por la etapa de pulido. Esta etapa está en línea por lo que no se requiere ningún transporte entre plantas. Tras la etapa de pulido, pasan a ser piezas OK y se embalan.
- Piezas OK: Piezas en buen estado que directamente pasan a ser embaladas.
- Piezas defectuosas: Son piezas desechables que pasan a ser Scrap, es decir, piezas reciclables en algunos casos, y en otros desechables.

3.1.12. Embalaje intermedio

Se denomina embalaje intermedio, debido a que son transportadas directamente a la planta de montaje, donde los operarios montaran las piezas y las embalaran en el embalaje final para su expedición.

Al igual que en la recepción de materia prima, las piezas están en constante movimiento, y al poco tiempo de descargarlas de la maquina, se transportan a la zona de montajes, por lo que no se requiere ningún almacén intermedio tras la descarga.

3.2. Diagrama de bloques del proceso

El proceso de pintura viene resumido en el diagrama de bloques adjunto:

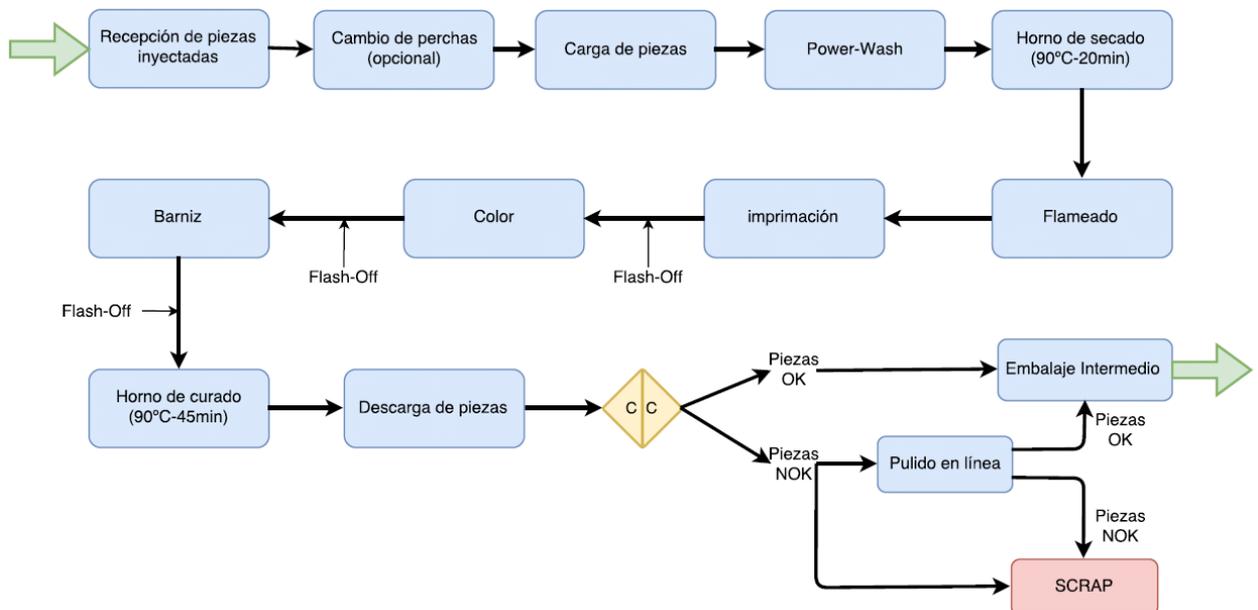


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de pintura.

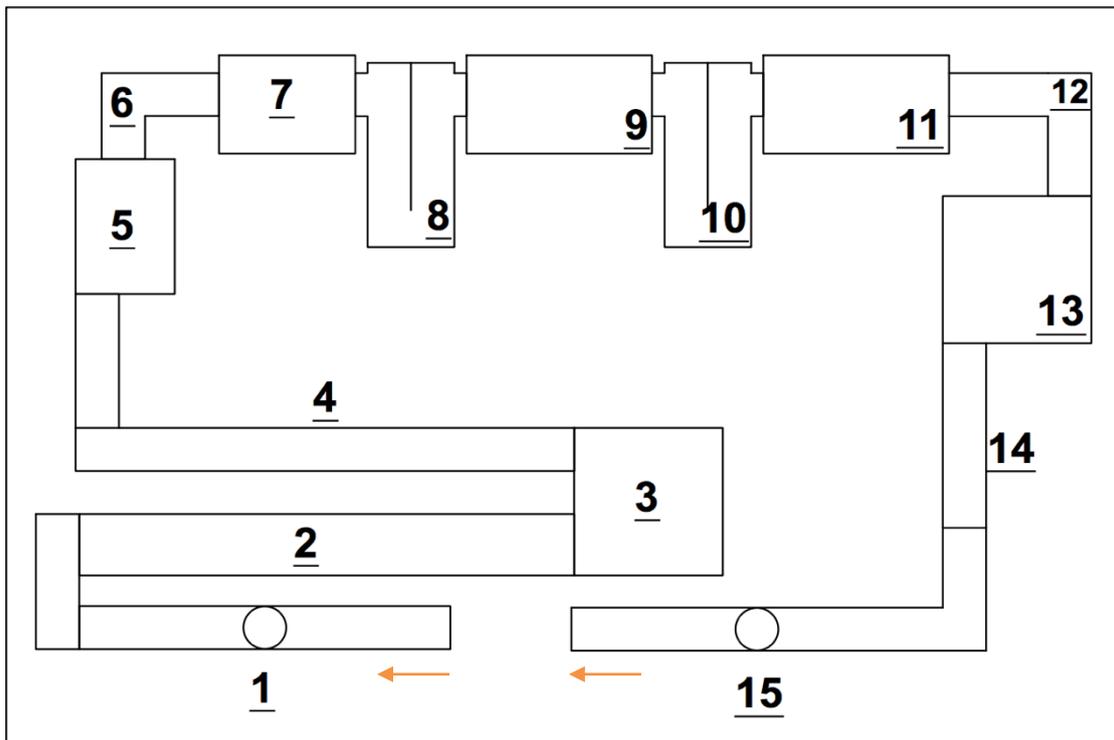
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En los siguientes apartados se estudiará la distribución de la planta y el sistema estructural de la misma.

4.1. Distribución de planta

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, el proceso productivo de pintura es un proceso en línea, en el que las piezas plásticas van pasando de etapa en etapa hasta la obtención del producto final que es, en este caso, la pieza pintada.

La distribución en planta queda definida según la Figura 2 adjunta a continuación. El orden del proceso viene reflejado por numeración de la figura adjunta.



Elementos Proceso productivo			
1	Carga de piezas	9	Cabina de base
2	Desengrase	10	Flash-Off
3	Horno de secado	11	Cabina de barniz
4	Cooling Zone	12	Flash-Off
5	Cabina Flameo	13	Horno de curado
6	Cooling Zone	14	Cooling Zone
7	Cabina de imprimación	15	Descarga de piezas
8	Flash-Off		

Figura 2. Distribución en planta.

4.2. Sistema estructural

Dado que no es objeto del proyecto entrar en detalles en el sistema estructural de la nave de pintura, se comentara brevemente este punto.

Las dimensiones de la nave de pintura son 60m x 90m, alcanzando una superficie de 5400 m², con una altura de cumbrera de 8 metros.

La luz de la nave mide 60 metros, por lo que el sistema estructural de la nave se resuelve constructivamente a base de dos naves gemelas adosadas, de 30 metros de luz cada una.

Otro dato que nos interesa tener es la pendiente de la cubierta de la nave, en este caso, la pendiente es del 20%, dato que se empleará más adelante para calcular unos parámetros.

5. ILUMINACIÓN

La correcta iluminación en los puestos trabajos es un factor de elevada importancia, sobretodo en aquellos puestos, donde se requiera la presencia de empleados. Una buena iluminación es imprescindible para poder facilitar unas condiciones de visibilidad adecuadas para la realización de una tarea o función laboral. Así mismo, al estar bien iluminada una zona de trabajo, se contribuye a formar un buen ambiente de trabajo seguro y visualmente apropiado, de modo que reduce la fatiga de los empleados y la probabilidad de riesgo en la seguridad y salud, reduciendo problemas de salud e incrementado el bienestar, resultando en un aumento del rendimiento de los empleados.

El nivel de iluminación se define como cuando a un metro cuadrado le llega un flujo luminoso de un lumen. La unidad se mide en luxes (lúmenes/ m²) y depende de factores como la zona geográfica, la estación del año, hora del día, edificación existente alrededor, etc.

Como ya se ha comentado, la iluminación es un factor principal ya que una mala iluminación en el área de trabajo, puede afectar tanto a las funciones visuales fisiológicas como a las psicológicas de los empleados pudiendo causar grandes problemas a la salud y seguridad de éstos.

Debido a la importancia de este factor, la norma UNE 12464.1 “Norma Europea sobre iluminación para interiores”, determina los valores que satisfacen los niveles de iluminación medios requeridos en función de la tarea a realizar en las etapas de producción en distintos ámbitos industriales. Aparte de la actividad a realizar, también influyen factores como: distancia del ojo a los objetos observados, el tamaño de los objetos, el tiempo empleado en la observación, la movilidad de los objetos, etc.

Por ejemplo, actividades en las que se requiere la manipulación de objetos pequeños implican mayor esfuerzo visual, por lo que se requerirá de una iluminación media mayor a la de una tarea de embalaje de producto final, que requerirá de una más baja.

5.1. Tipos de iluminación

Según la fuente lumínica, la iluminación se puede clasificar en:

- Iluminación natural: Es aquella proveniente del sol. Son obvias las ventajas de la luz natural al ser humano, ya que benefician a la salud desde el punto fisiológico y

psicológico, además del ahorro energético que supone. El Código Técnico de la Edificación exige aprovechar la luz natural siempre y cuando sea posible, recurriendo a la luz artificial en los casos en los que los niveles de iluminación no alcancen el mínimo requerido para desempeñar la tarea.

- Iluminación artificial: Es aquella proveniente de elementos que transforma fuentes de energía en luz.
- Iluminación mixta: Es una combinación entre las dos anteriores. Es la más común en las plantas industriales debido a que se puede aprovechar las horas de luz a lo largo del día, mientras que en horas puntuales en las que la iluminación no sea la requerida, se puede hacer uso de la iluminación artificial. El porcentaje definido de cada tipo de iluminación en un sistema mixto es muy flexible, ya que dependerá de la zona geográfica entre otros factores, ya que hay países en los que el día es más largo y tienen más horas de luz aprovechables.

Según el grado de uniformidad, la iluminación se clasifica en:

- Iluminación generalizada: Cuando se ilumina de forma uniforme sin tener en cuenta los puestos de trabajo.
- Iluminación localizada: Cuando se ilumina una zona en concreto para satisfacer los niveles altos de iluminación requeridos.
- Iluminación generalizada y localizada: Es una combinación de las dos primeras.

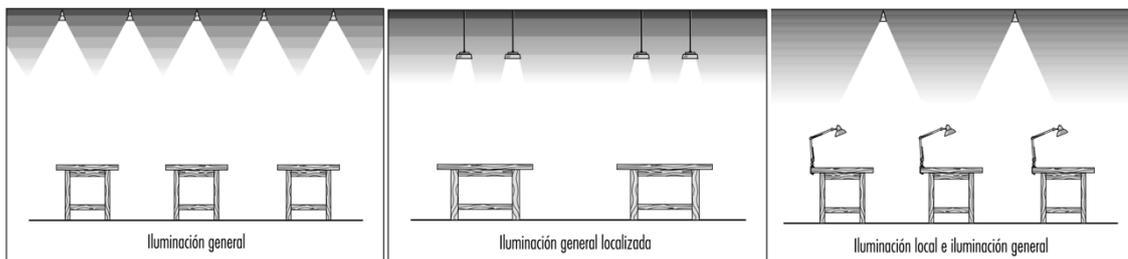


Figura 3. Sistema de iluminación.

Fuente: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Cap. 46 (J. Guasch, 2001)

5.2. Fundamentos de la iluminación natural

La iluminación natural se puede encontrar de las siguientes maneras:

- Radiación directa: es la que proviene directamente del sol. Esta radiación varía a lo largo del año ya que depende de la posición del sol.
- Radiación difusa: es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma.
- Radiación reflejada: Es aquella que se obtiene tras reflejarse en diversas superficies o elementos presentes.

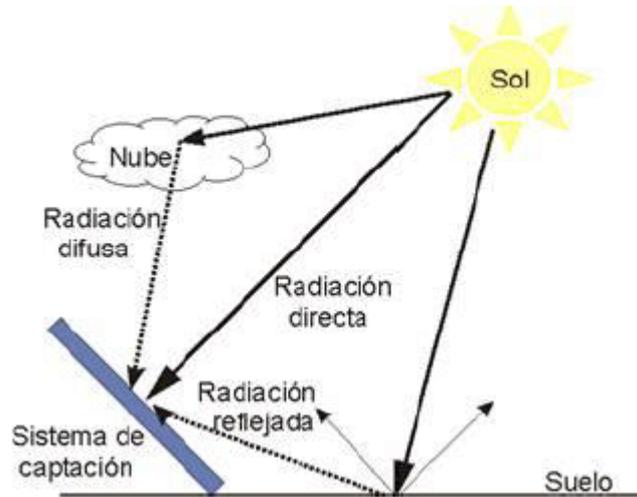


Figura 4. Fundamentos de luz natural.

Fuente: Apuntes PoliformaT de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.

Debido a se quiere conseguir el mayor aprovechamiento de la luz del sol posible, la disposición de los elementos que permiten la entrada de luz es un aspecto muy importante.

En función de cómo se coloquen estos elementos, los sistemas de iluminación se puede clasificar generalmente en:

- Cenital: Es aquella iluminación proveniente de elementos colocados en la cubierta de la nave. Con este tipo de disposición generalmente se consigue una mayor uniformidad en la nave y otra ventaja es que hay menos probabilidad de riesgo de deslumbramientos.
- Lateral: Es aquella iluminación proveniente de elementos colocados en las superficies laterales. Con este tipo de disposición hay que asegurarse que los puestos de trabajo no estén muy próximos a los ventanales para evitar deslumbramientos.
- Combinada: Es aquella que tiene elementos tanto cenitales como laterales.

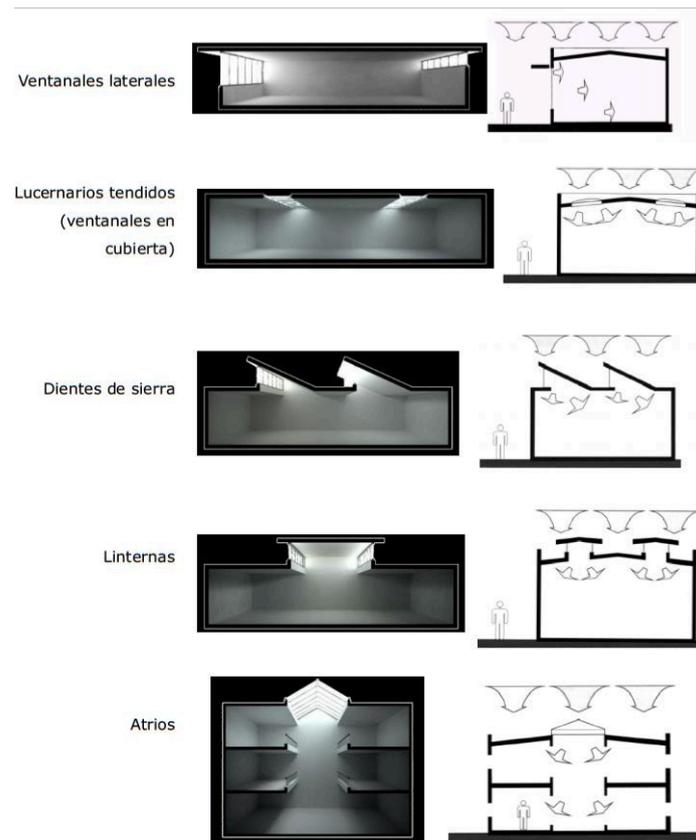


Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas.

Fuente: Apuntes PoliformaT de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.

5.3. Requerimientos de planta

Para poder presentar las diferentes propuestas de iluminación y realizar el estudio de iluminación natural, es necesario conocer previamente una serie de parámetros que nos ayudaran a definir las diferentes propuestas:

- Iluminación media interior, $E_m(lx)$: Representa en valor del nivel medio de iluminación necesario en una planta industrial para satisfacer las condiciones de visibilidad requeridas que serán más o menos estrictas en función a las tareas laborales que se lleven a cabo en ella.

Para poder calcular la iluminación media en el plano de trabajo, es necesario conocer la iluminación media de cada zona y el área que abarca. Como hemos comentado antes, esa información viene recogida en la norma UNE 12464.1 "Norma europea sobre la iluminación para interiores", concretamente el punto 5. Industria Química, plásticos y caucho y de la siguiente expresión:

$$E_m(lx) = \sum_i \frac{E_{int} \cdot S_i}{S_T} \quad [1]$$

Donde,

E_{int_i} = Iluminación media interior de cada zona, en el plano de trabajo (lx)

S_i = Superficie de cada zona (m²)

S_T = Superficie total de la nave (m²)

E_m = Iluminación media en el plano de trabajo (lx)

Como se puede observar en la norma, los requerimientos de iluminación varían en función del sector al que pertenezca la empresa, y a la vez dentro del mismo sector, en función de la tarea que se esté realizando. Por ejemplo, no se necesitará la misma iluminación en la etapa del lavado de piezas, ya que está automatizada y no se precisa de ninguna supervisión; en cambio, durante la descarga de piezas se verifican las piezas tanto de defectos de calidad como de color, definiendo así, si son piezas vendibles o no.

- Uniformidad $\left[\frac{E_{min}}{E_{max}} \right]$: Se trata de la relación del valor máximo de iluminación con el mínimo de ésta. La iluminación de la nave tiene que ser lo más uniforme posible de modo que en el mismo puesto de trabajo no existan grandes contrastes de luz entre zonas provocando sombras, deslumbramientos u otros efectos que puedan empeorar las condiciones de visibilidad del empleado y provocar algún riesgo contra la salud y el bienestar de este. Cuanto más próximo sea el valor a la unidad, mayor es la uniformidad de la zona.
- Deslumbramiento: El deslumbramiento es la sensación molesta o incómoda de la luz en una persona. El deslumbramiento puede afectar al rendimiento de un empleado, debido a que puede reducir su visibilidad produciendo algún percance que puede poner en riesgo su salud y seguridad. Se produce deslumbramiento cuando el ángulo del haz de luz incidente con el ojo humano es inferior a 30°.

Existen dos tipos de deslumbramiento: Directo e indirecto. El deslumbramiento directo es aquel que existe cuando la luz incide directamente al ojo humano sin tener ningún obstáculo en el cual reflejarse o dispersarse; el deslumbramiento indirecto es el caso contrario, y se produce cuando la luz se ha reflejado previamente sobre algún objeto, superficie, etc.. Generalmente, al resolver un sistema de iluminación de naves industriales con ventanales cenitales y al ser las alturas tan elevadas, la posibilidad de riesgo de deslumbramiento es muy baja.

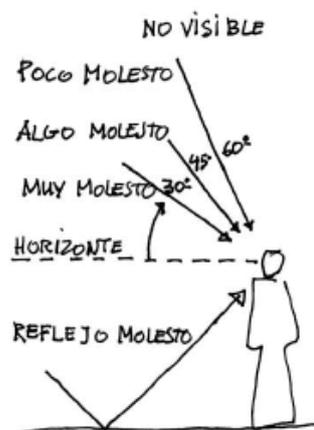


Figura 6. Efectos de la incidencia de la luz en función del ángulo con el ojo humano.

Fuente: Apuntes PoliformaT de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.

5.4. Hipótesis

Las hipótesis de partida para poder valorar las tres son las siguientes:

- Época: Las simulaciones se llevarán a cabo en fechas puntuales reflejando los casos extremos de máxima y mínima iluminación natural que son en concreto en las fechas siguientes: En la época de invierno, el día 21 de diciembre a las 9:00h de la mañana y en la época de verano el día 23 de junio a las 12:00h del mediodía.
- Localización: La planta está ubicada en Valencia que se encuentra situada a una longitud de $-0,40^\circ$ y latitud $39,50^\circ$ y con una orientación hacia el norte de 45° .
- Modelo de cielo: Generalmente, para estudios de iluminación en Valencia, se simularía basándose en un modelo de cielo descubierto con lucernarios translúcidos que introducen unas pérdidas de carga. Como DIALux no tiene esa opción de simulación, se simula basándose en un modelo de cielo cubierto que equivale al modelo de cielo descubierto con lucernarios translúcidos. El objetivo de utilizar el modelo de cielo cubierto es también por que estima los niveles de iluminación mínima del cielo garantizando un nivel de iluminación natural adecuada para trabajar durante el máximo tiempo posible del año.
- Introducción de valores en DIALux: Previo a las simulaciones, DIALux requiere la introducción de cierta información como hipótesis de trabajo en los que se basará posteriormente para poder reflejar los resultados de cada propuesta. Dicha información viene reflejada en las tablas 2 y 3.

Por ejemplo, DIALux pide asignar el material de las superficies de la nave asignando automáticamente un grado de reflexión acorde al material, que influye directamente en los resultados luminotécnicos. Hay que notar que todos los objetos de la nave tendrán un grado de reflexión del 60%, debido a que se supone que están todos pintados de color mate ya que de este modo, se disminuye la probabilidad a riesgo por deslumbramiento.

	Techo	Paredes	Suelo	Objetos
Material	Acero	Acero	Hormigón	Pintados color mate
Grado reflexión	60	60	27	60

Tabla 1. Grados de reflexión de los elementos.

Los lucernarios y ventanales, están fabricados de policarbonato celular. Con este material se obtienen unos lucernarios y ventanales translúcidos, blanquecinos y plásticos. Gracias a estas características, la luz no pasa directamente, sino que transforma la luz directa en difusa, que es el efecto que se quiere conseguir, ya que al ser luz difusa se consigue una iluminación más generalizada. Los parámetros que pide DIALux para los lucernarios y ventanales están reflejados en la tabla 3.

Grado de transmisión	Factor de contaminación (o degradación)	Factor de división con travesaños	Factor de ventanas	Grado de reflexión	Grado de transparencia
45%	0,5	0,9	0,937	12%	45%

Tabla 2. Parámetros de los lucernarios.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Las tres propuestas se simularán mediante el software DIALux obteniendo unos resultados luminotécnicos a partir de los cuales se podrá determinar cuál de las tres es la óptima y la más adecuada para una mayor eficiencia y ahorro energético de la planta.

El criterio para definir la alternativa óptima, será aquella que cumpla o más de ajuste a los siguientes requisitos:

- El valor E_m obtenido en DIALux, tiene que ser igual o superior al valor E_m calculado con la expresión [1].
- El valor E_{max} obtenido en DIALux, tiene que ser igual o inferior a 2000 lx. Debido a que si se supera, habría demasiada iluminación y podría causar malestar trabajar bajo esas condiciones.
- El valor de uniformidad tiene que ser el más elevado, lo que equivale a menor contraste de iluminación en las diferentes zonas de trabajo.
- No deslumbramientos.

5.5. Método de cálculo

Primeramente, se tiene que obtener el número de ventanales o lucernarios necesarios para obtener unos niveles de iluminación mínimos en el plano de trabajo. Una vez obtenida la superficie de ventanales o lucernarios, se puede comenzar el diseño de los diferentes sistemas de iluminación.

Para poder definir el número necesario de ventanales o lucernarios, existen dos métodos: El método analítico y el método simplificado.

El método que se va a emplear es el analítico que consiste en determinar la superficie de ventanas fijando un nivel de iluminación exterior horizontal mínimo y estableciendo los requerimientos de iluminación horizontal media en el plano de trabajo, que como hemos comentado en el apartado 5.2, varían en función del sistema productivo y del sector industrial.

Para estimar el nivel de iluminación medio en el plano de trabajo de la instalación, se emplea la siguiente expresión:

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s} \quad [2]$$

Dónde,

E_m = Iluminación media en el plano de trabajo (lx)

E_a = Es el valor de iluminación que llega a una superficie horizontal al aire libre pero en el mismo punto geográfico en el que está situada la nave industrial (lx).

f = Es el factor de ventanas.

f' = Es el factor característico de reducción ventana-muro.

η = Es el coeficiente de reflexión medio de las paredes.

S_v = Es la superficie de ventanas, que es el valor que queremos obtener.

S_s = Es la superficie del suelo de la nave, en este caso, 90 x 60 m².

- La **iluminación media** se obtiene con la expresión [1]. Los niveles de iluminación mínimos requeridos según la norma UNE 12464.1 “Norma europea sobre la iluminación para interiores” son los reflejados en la tabla 4:

Sección	Área Sección (m)	Emi (lx)	Sección * Emi
Zona 1. Descarga	520	1000	520000
Zona 2. Carga	650	750	487500
Zona 3. Cabinas (Flameado, imprimación, base y barniz)	416	750	312000
Zona 4. Resto instalación (incluye pasillos)	3814	150	572100
Área Total de la nave	5400		

Tabla 3. Niveles de iluminación requeridas por sección.

Para obtener de forma más visual una idea, de los niveles requeridos por zonas en la planta de pintura, se adjunta la siguiente figura. La zona más crítica, es la Zona 1, que corresponde a la descarga de piezas, seguida por las zonas 2 y 3 en cuanto a niveles de iluminación requeridos, y por último la zona 4, cuyos requerimientos son los menos estrictos, ya que corresponden a la zona del desengrase, hornos, incluyendo pasillos y las unidades de aire, que son zonas de la planta con poca frecuencia de paso.

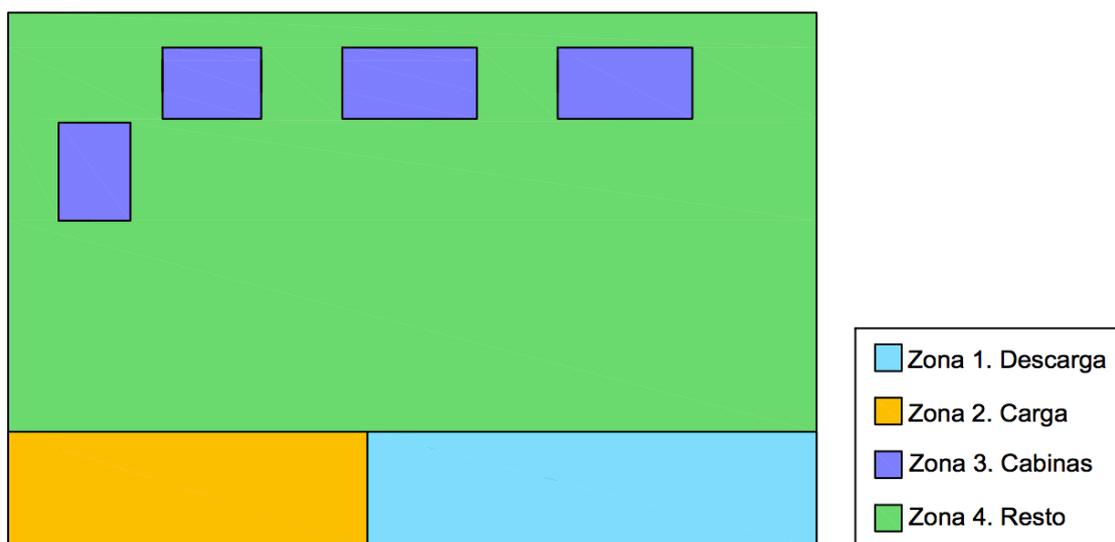


Figura 7. Zonificación por requerimientos lumínicos.

De modo que, aplicando la expresión [1], la iluminación media interior es de 350,3 lx.

- La **iluminación exterior** depende de la ubicación de la nave, como refleja la tabla 1, extraída de los apuntes de PoliformaT de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial. Se observa que la iluminación externa varía en función de la zona geográfica y de la época del año. Esta tabla en cuestión, refleja los niveles de iluminación medios exteriores de diferentes ciudades para el día 10 de diciembre a las 10:00 am.

Ciudad	Latitud	Intensidad solar (lux)
Alicante	37	9650
Barcelona	42	8000
Bilbao	43	7800
Bremen	53	4300
Burdeos	45	7200
Cádiz	36	10000
Canarias	29	12400
Casablanca	33	11000
Copenhague	56	3450
Estocolmo	59	2650
Frankfurt	50	5400
Goteborg	58	2900
Helsinki	60	2450
Lisboa	38	9350
Londres	52	4600
Lyon	46	6800
Madrid	41	8450
Paris	49	5750
Valencia	39	8554
Viena	48	6100
Zúrich	47	6450

Tabla 4. Valores de iluminación de diferentes ciudades para el 10 de diciembre, 10:00h a.m.

Fuente: Apuntes PoliformaT de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.

Según la tabla 1, los niveles de iluminación considerados para una nave ubicada en Valencia el día 10 de diciembre a las 10:00h son 8554 luxes. Debido a que la planta que se va a utilizar para el estudio de iluminación está situada en Liria, a unos 28km de Valencia, se podrían considerar 8000 luxes. No obstante, la intención es que la planta de pintura pueda aprovechar el máximo número de horas de luz natural, por lo que se estima para el cálculo una iluminación exterior de 3000 lx, que corresponde al nivel de iluminación que hay el día 21 de diciembre a las 9:00h. El día 21 de diciembre, tal y como se ha comentado en el apartado de hipótesis, es el caso más desfavorable, de modo se podría asegurar que si la planta alcanza los niveles de iluminación en el caso más desfavorable, también lo hará para el resto de casos.

- El **factor de ventanas** varía en función de cómo se distribuyen los ventanales en la nave, ya que representa la reducción de la bóveda celeste en función de la disposición del lucernario o ventanales. Tal y como se ha definido previamente, la pendiente de la nave de pintura es del 20%. Aplicando pues las leyes de trigonometría y la expresión [3], se obtiene el factor de ventanas.

$$\operatorname{tg}\beta = 0,20 \rightarrow \beta = 11,31^\circ$$

$$\beta=11,31^\circ \rightarrow f = \frac{\alpha}{180} = \frac{180-11,31}{180} = \frac{168,7}{180} = 0,937 \quad [3]$$

- El ***factor característico de reducción ventana-muro***, representa el posible paso de la radiación solar por el grosor de la fachada. Debido a que solemos trabajar con placas, y elementos cuyo espesor es muy estrecho y este valor para edificaciones industriales es la unidad.
- El ***coeficiente de reflexión medio de las paredes*** es el rendimiento del recinto, que para un recinto rectangular como el de la nave en cuestión, se toman generalmente del orden de 40-50%. Para este estudio se estima un coeficiente de reflexión de 45%.

Una vez definidos todos los parámetros, se procede a despejar el parámetro S_v de la expresión [2], que corresponde a la superficie de ventanas necesarias para que exista la iluminación media requerida en la nave.

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_s}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} = \frac{350,3 \cdot 90 \cdot 60}{3000 \cdot 0,937 \cdot 1 \cdot 0,45} = 1495,39 \text{ m}^2 \cong 1500 \text{ m}^2$$

5.6. Propuestas de iluminación

Conociendo la superficie de ventanas necesarias para satisfacer los niveles de iluminación requeridos, se procede a plantear tres propuestas de iluminación natural para poder analizarlas y optar por aquella que más se ajuste a los requisitos definidos.

Dado que con los sistemas de iluminación cenitales podemos conseguir situaciones de no-deslumbramientos, debido a que la nave tiene una altura muy elevada y también debido a que los lucernarios están hechos de policarbonato que transforma la luz directa en difusa y a no ser que hubiera algún fallo o rotura, no debería de ocasionar deslumbramientos, se proponen dos sistemas de iluminación cenitales y uno mixto para poder comparar resultados.

Una vez definidas las propuestas, se simulan previamente de manera orientativa sin tener en cuenta los objetos presentes en la nave, con el fin de estimar cuál es la propuesta óptima que más se ajusta a los requisitos indicados, reduciendo así el tiempo computacional. Tras esta simulación previa, se simula de manera estándar el sistema elegido, teniendo en cuenta todos los factores y objetos presentes en la nave para obtener los resultados exactos.

➤ Propuesta 1

La primera propuesta consiste en un sistema de iluminación cenital, es decir, todos los ventanales están ubicados en la cubierta de la nave.

Este sistema se resuelve con 40 ventanales de dimensiones 3,75 metros de ancho y 10 metros de largo distribuidos uniformemente en toda la cubierta abarcando una superficie total de ventanas de 1500 m^2 . La distribución viene reflejada en la siguiente imagen:

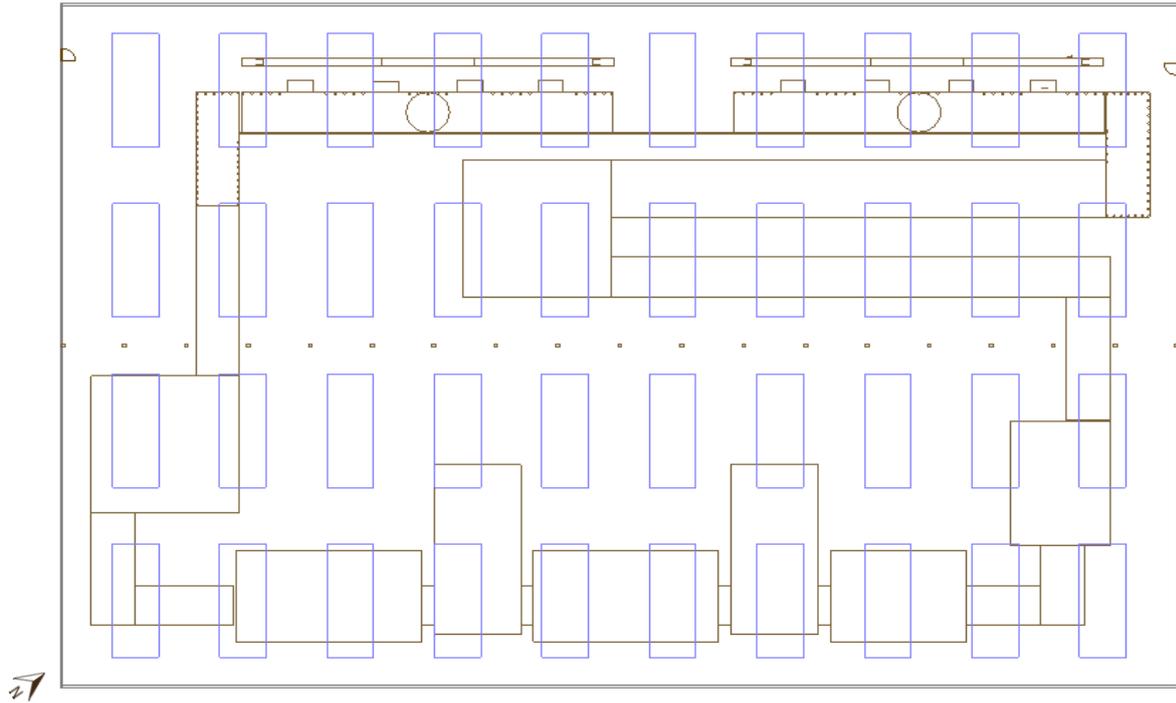


Figura 8. Distribución de ventanales de la propuesta 1.

El modelado en 3D tiene el siguiente aspecto:

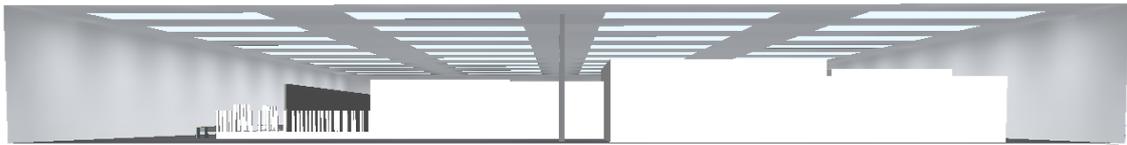


Figura 9. Distribución de lucernarios de la propuesta 1.

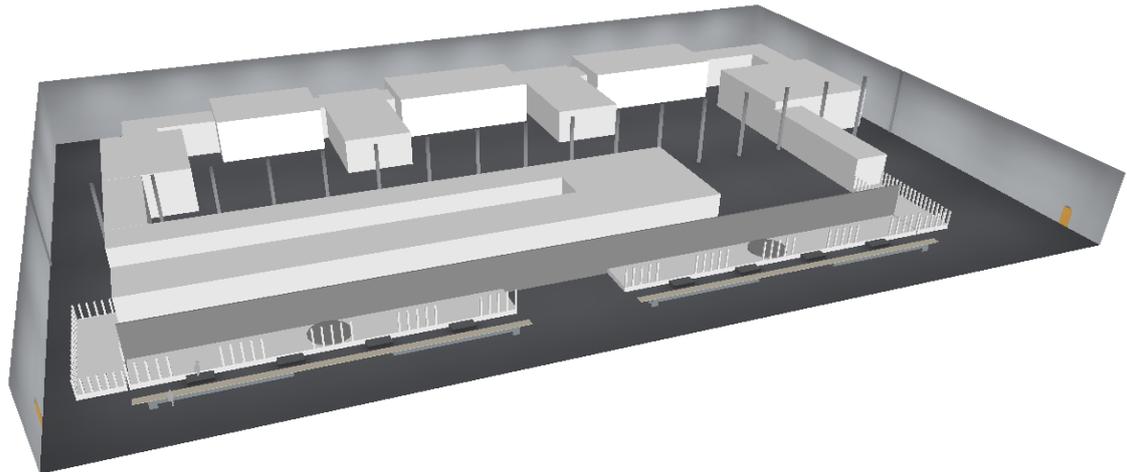


Figura 10. Iluminación natural en verano de la propuesta 1.

➤ Propuesta 2

La segunda propuesta consiste en un sistema de iluminación mixto, es decir con ventanales ubicados tanto en la cubierta como en las paredes. Este sistema se resuelve con 64 ventanales cenitales de dimensiones 2 metros de ancho y 10 metros de largo y 8 ventanales laterales de dimensiones 3 metros de ancho y 10 metros de largo, ubicados solamente en una de las paredes de la nave, para potenciar la iluminación natural en la etapa que más lo requiere que es la de carga y descarga de piezas. La superficie total de ventanas es $1520 m^2$.

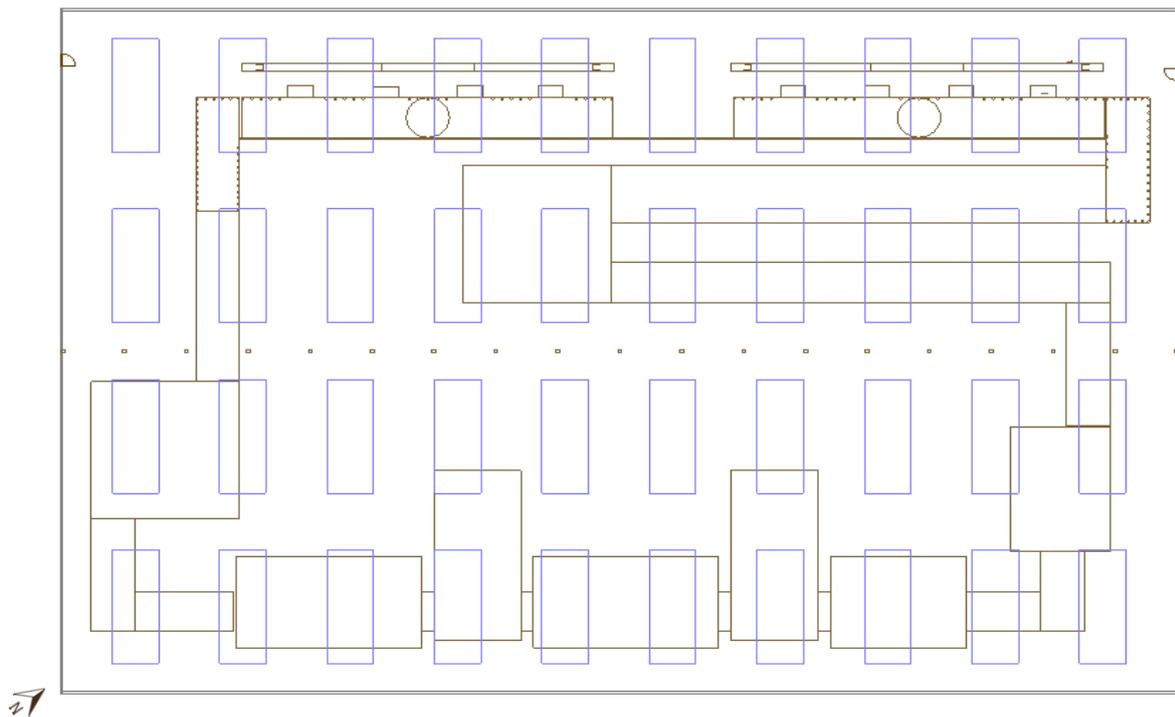


Figura 11. Distribución de ventanales cenitales de la propuesta 2.

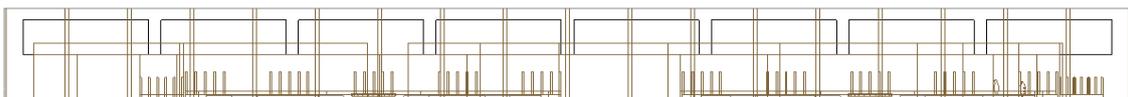


Figura 12. Distribución de ventanales laterales de la propuesta 2.

El modelado en 3D tiene el siguiente aspecto:



Figura 13. Distribución de lucernarios de la propuesta 2.

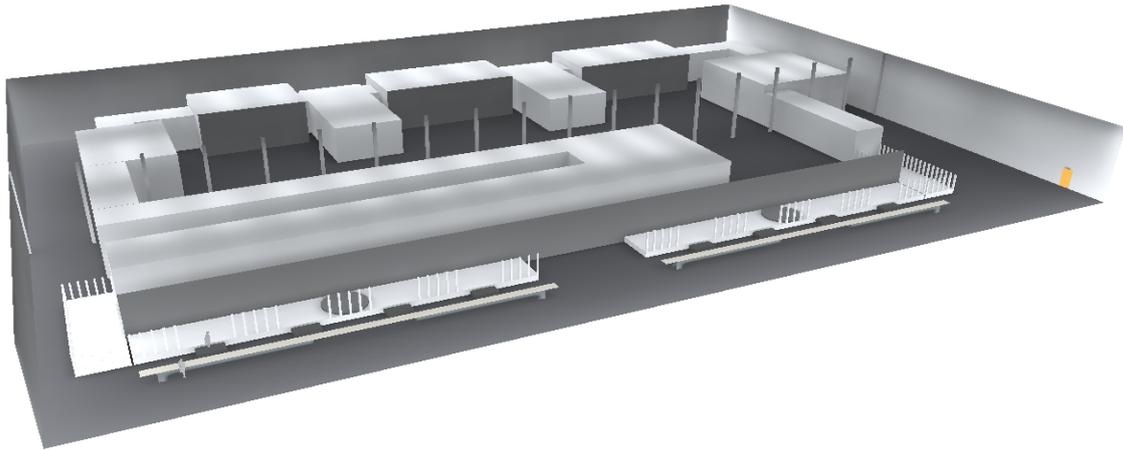


Figura 14. Iluminación natural en verano de la propuesta 2.

➤ Propuesta 3

La tercera propuesta consiste en un sistema de iluminación cenital que se resuelve con 152 ventanales cenitales de dimensiones 2 metros de ancho y 5 metros de largo, abarcando una superficie total de ventanas de 1520 m^2 . La distribución viene reflejada en la siguiente imagen:

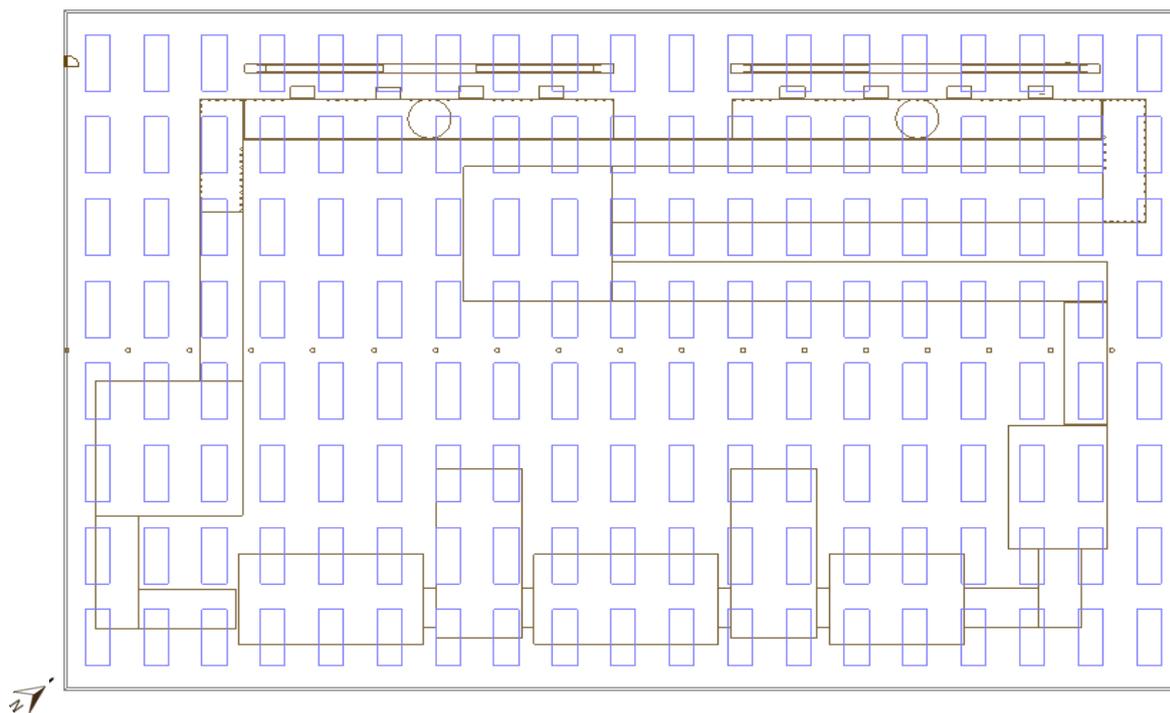


Figura 15. Distribución de ventanales cenitales de la propuesta 3.

El modelado en 3D tiene el siguiente aspecto:



Figura 16. Distribución de lucernarios de la propuesta 3.

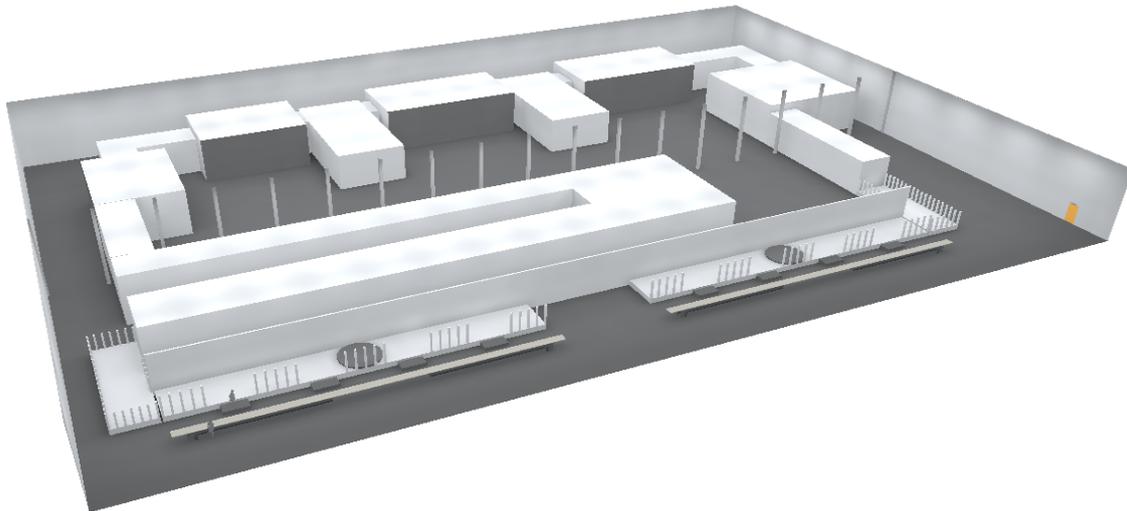


Figura 17. Iluminación natural en verano de la propuesta 3.

5.7. Resultados luminotécnicos

Tras finalizar las simulaciones de las diferentes propuestas, se extraen los resultados lumínicos de las tablas de resultados de DIALux para poder analizarlos y seleccionar la propuesta óptima.

➤ Propuesta 1

Época	Em (lx)	E máx. (lx)	E min (lx)	Emin/Em	Emin/Emax	Deslumbramientos
21 Diciembre 9:00h	128	170	45	0,356	0,267	No
23 Junio 12:00h	958	1278	341	0,356	0,267	

Tabla 5. Resultados luminotécnicos de la propuesta 1.

➤ Propuesta 2

Época	Em (lx)	E máx. (lx)	E min (lx)	Emin/Em	Emin/Emax	Deslumbramientos
21 Diciembre 9:00h	218	856	26	0,117	0,030	Posibles
23 Junio 12:00h	1635	6406	191	0,117	0,030	

Tabla 6. Resultados luminotécnicos de la propuesta 2.

➤ Propuesta 3

Época	Em (lx)	E máx. (lx)	E min (lx)	Emin/Em	Emin/Emax	Deslumbramientos
21 Diciembre 9:00h	135	155	57	0,426	0,366	No
23 Junio 12:00h	997	1161	425	0,426	0,366	

Tabla 7. Resultados luminotécnicos de la propuesta 3.

5.8. Selección de la propuesta óptima

Para la selección de la propuesta óptima, se han de comprobar los puntos mencionados en el apartado 5.4, en los que se describen los requisitos que tienen que cumplir las simulaciones.

- En cuanto al **nivel de iluminación medio interior** obtenido en DIALux, las tres propuestas llegan al nivel de iluminación interior requerido en verano, pero en invierno no se cumple para ninguna propuesta. Aún así, se puede observar que la segunda propuesta es la que más se acerca a los 350,3 lx.

	Época	Requerido	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Valor (lx)	Invierno	350,3	128	218	135
	Verano	350,3	958	1635	997

Tabla 8. Tabla comparativa del nivel de iluminación interior para las tres propuestas.

- En cuanto al **nivel de iluminación máxima**, se exige que no sobrepase los 2000lx. Este requisito lo cumplen tanto la propuesta 1 como la 3 a diferencia de la propuesta 2, cuyo valor dista mucho del nivel requerido y por lo tanto, en este punto se descartaría esta propuesta.

	Época	Requerido	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Valor (lx)	Invierno	< 2000	170	856	155
	Verano	< 2000	1278	6406	1161

Tabla 9. Tabla comparativa del nivel de iluminación máxima para las tres propuestas.

- En cuanto a la **uniformidad**,

	Requerido	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Valor (lx)	El más elevado	0,267	0,03	0,366

Tabla 10. Tabla comparativa del grado de uniformidad para las tres propuestas.

Cuanto más próximo a la unidad sea el valor, mayor uniformidad existe en la planta. Se puede observar que la uniformidad tanto en la propuesta 1 como en la 3, es parecida, mientras que en la 2 es un valor muy bajo, esto puede deberse a que como en la propuesta 2 se incluyen ventanas laterales, entre mucha más iluminación en una zona, ocasionando un contraste brusco en varios puntos de la nave.

- Por último, se tienen en cuenta el posible riesgo por **deslumbramiento**. Como ya se ha comentado anteriormente, generalmente con ventanales cenitales no hay riesgo de deslumbramiento debido a que en la zona crítica, no incide la luz directamente por presencia de obstáculos. No obstante, esta comprobación se realiza en caso de que el policarbonato de los lucernarios fallen o pierdan sus propiedades, en el resto de casos, al ser translúcido la luz que pasa es difusa y provoca riesgo por deslumbramiento. El único caso con posibilidad a riesgo por deslumbramiento es la propuesta 2 ya que está resuelto con un sistema de iluminación mixto con presencia de ventanales laterales.

Para poder estimar si se produce o no riesgo por deslumbramiento, como no existe ningún método que calcule el deslumbramiento exacto, se estima teniendo en cuenta la posición del empleado durante su jornada laboral, la ubicación de los ventanales laterales, tal y como se observa en las figuras 18 y 19.

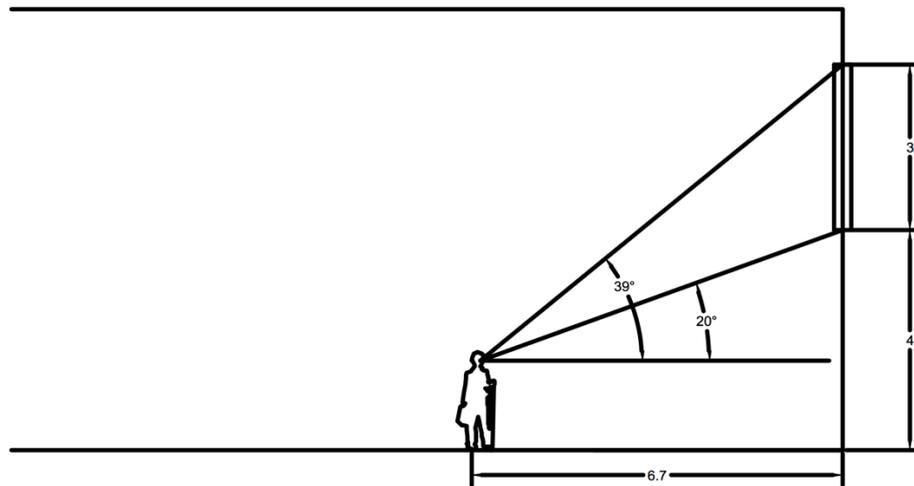


Figura 18. Posible deslumbramiento zona carga-descarga.

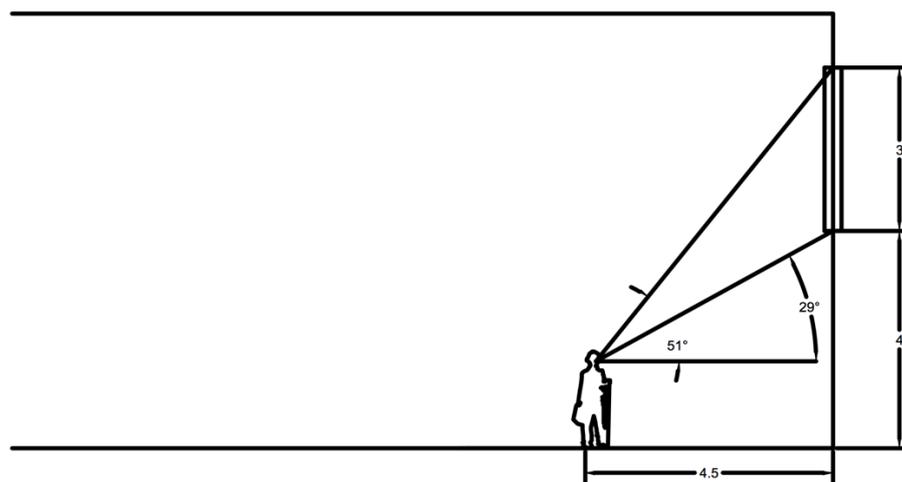


Figura 19. Posible deslumbramiento zona verificado.

En base a los puntos analizados:

- La propuesta 2 se descarta por no cumplir dos de los puntos analizados: probabilidad a riesgo por deslumbramiento y niveles de iluminación máxima mayor al requerido.
- Las propuestas 1 y 3 tienen unos resultados similares no cumpliendo ambas con un punto: el nivel de iluminación media mínima requerida no se alcanza en invierno.

Se observa que los niveles de iluminación de la propuesta 1 no difieren mucho de la propuesta 3, y se consiguen con una cantidad menor de lucernarios lo cual supondría una inversión menor para realizar el proyecto. No obstante, debido a que la uniformidad de la propuesta 3 es más elevada y por lo tanto la luz en la nave es más uniforme y generalizada y por lo tanto, se opta por la **propuesta 3**.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Para justificar que a pesar del elevado número de lucernarios, la propuesta podría llevarse a cabo como un proyecto real, se adjunta a continuación un ejemplo real de una nave industrial con un sistema de iluminación que emplea un elevado número de elementos, en este caso, claraboyas, distribuidas por toda la cubierta, muy similar a la propuesta 3.



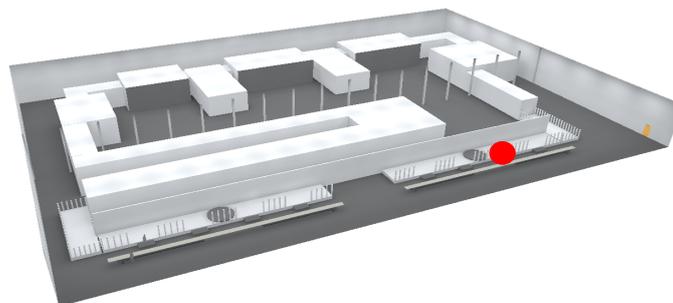
Figura 20. Ejemplo nave industrial con un sistema de iluminación empleando claraboyas.

5.9. Desarrollo de la propuesta óptima

Se procede a analizar los resultados de la propuesta elegida ya que es la que presenta el mayor nivel de uniformidad y evita deslumbramientos lo cual contribuye a un ambiente de trabajo visualmente apropiado.

Es cierto, que a horas tempranas del día, los niveles de iluminación no alcanzan los requeridos, pero eso se puede solucionar aumentando el tamaño de los lucernarios. Para analizar a partir de qué hora podría estar la planta operativa empleando un sistema de iluminación 100% natural, se simula la misma distribución de ventanales en invierno para las 10:00h, 11:00h y 12:00h del mismo día obteniendo los siguientes resultados lumínicos.

Se recuerda que la zona más crítica de la planta de pintura es la zona de descarga de piezas, debido a que también se realiza el verificado de aspecto y color cuando se requiere.



Se adjuntan los resultados en gama de grises, y las figuras de la planta en colores falsos, para las diferentes escenas de luz.

➤ Verano 12:00h

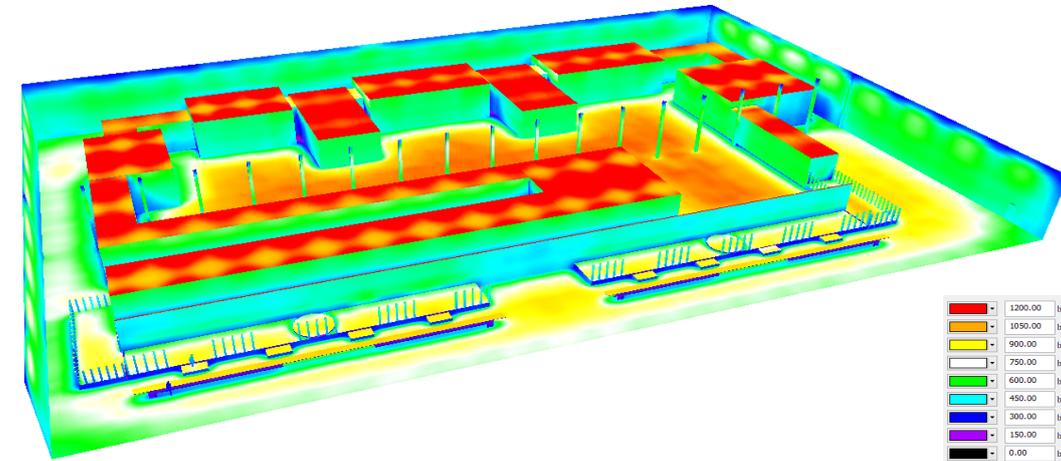


Figura 21. Colores falsos para la simulación en junio (12:00h)

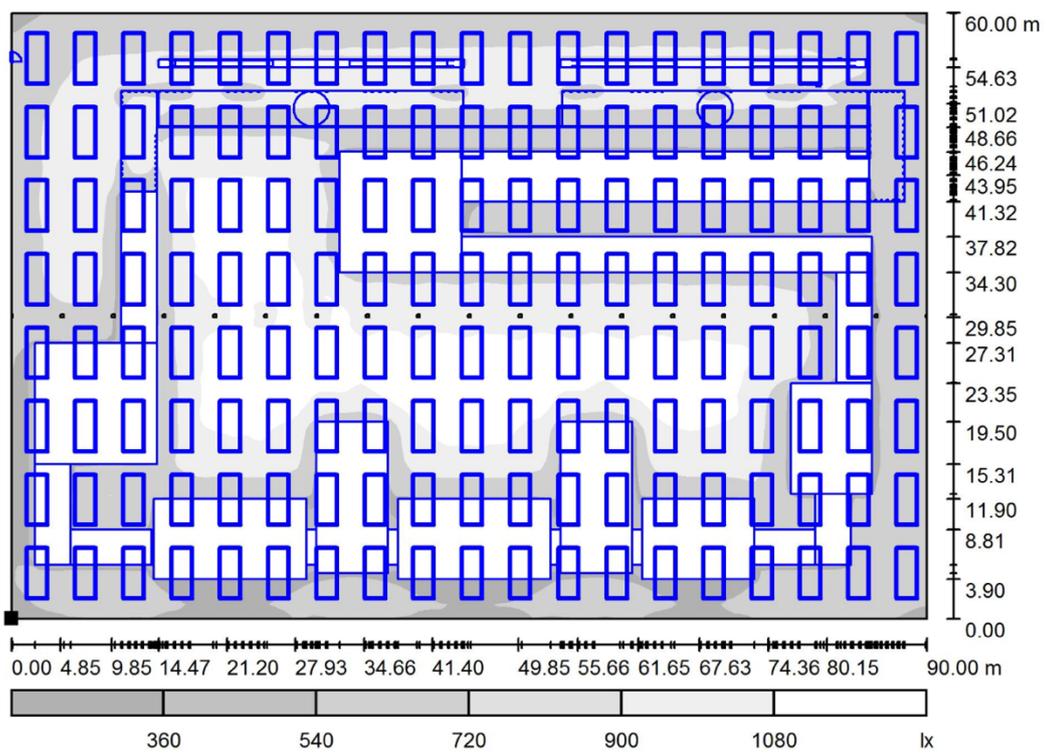


Figura 22. Resultados en gama de grises en junio (12:00h)

➤ Invierno 9:00h

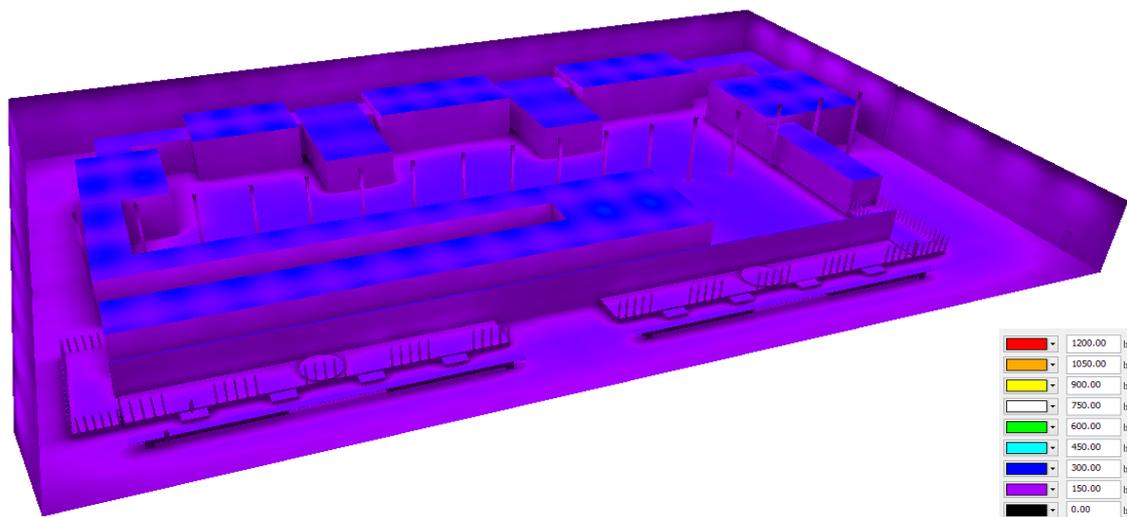


Figura 23. Colores falsos para la simulación en diciembre (09:00h)

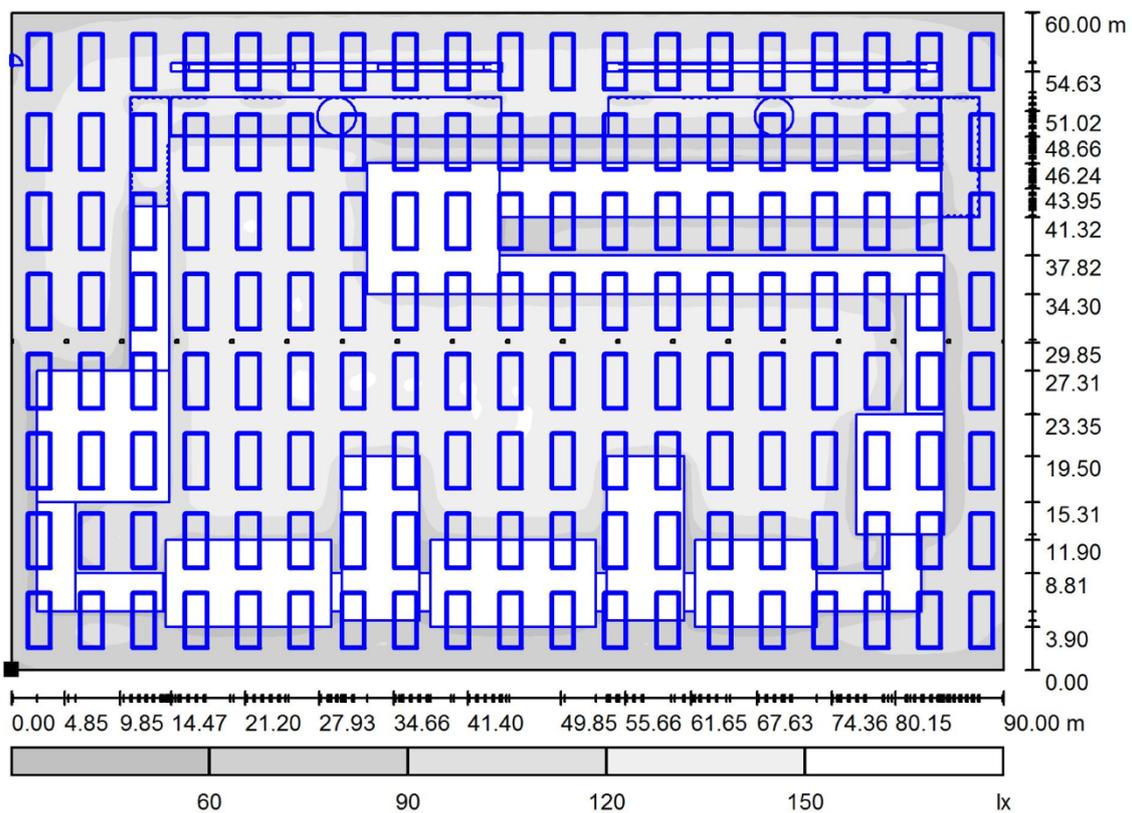


Figura 24. Resultados en gama de grises en diciembre (09:00h)

➤ Invierno 10:00h

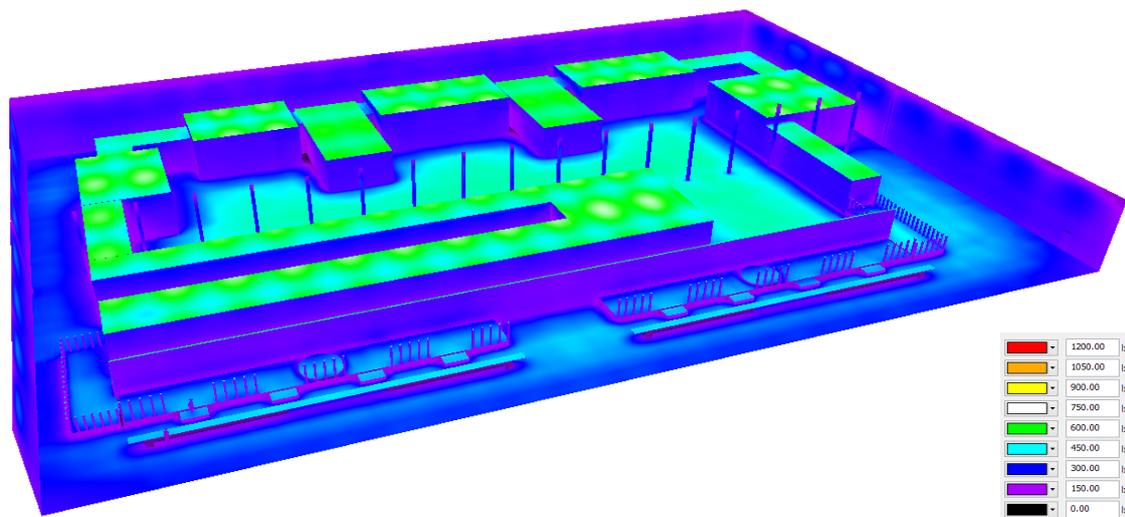


Figura 25. Colores falsos para la simulación en diciembre (10:00h)

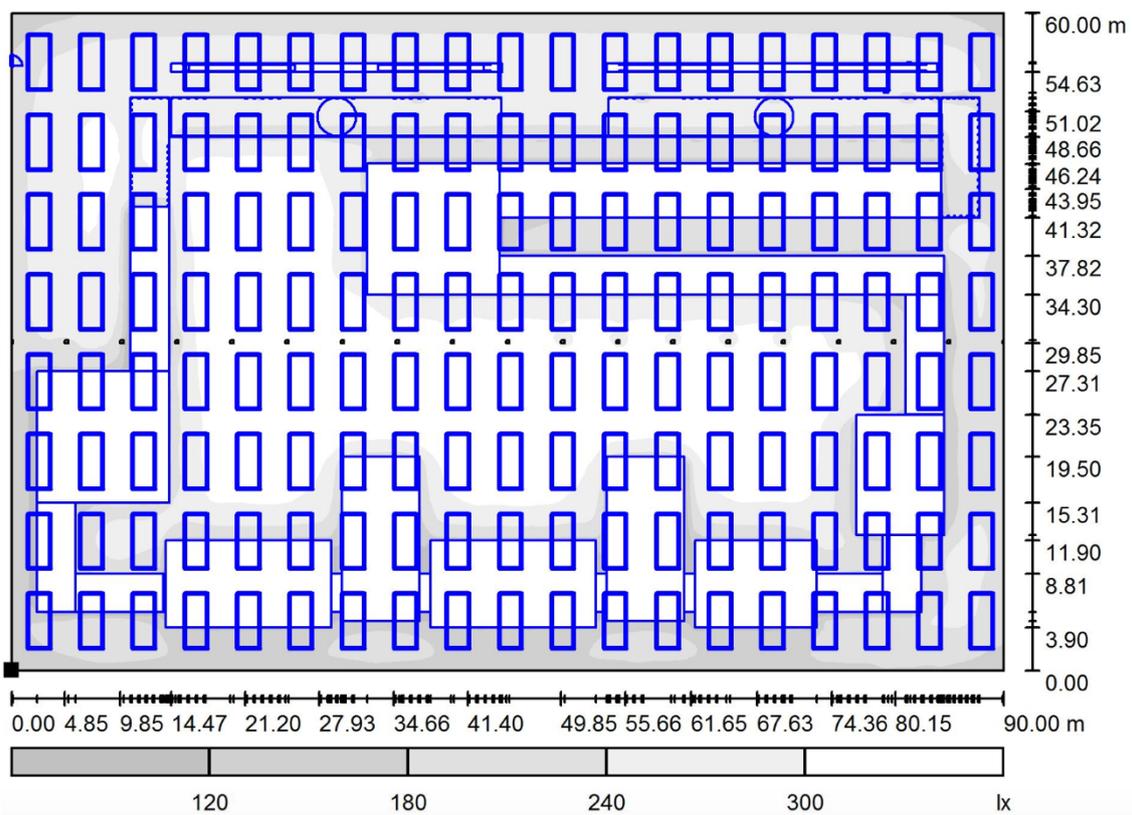


Figura 26. Resultados en gama de grises en diciembre (10:00h)

➤ Invierno 11:00h

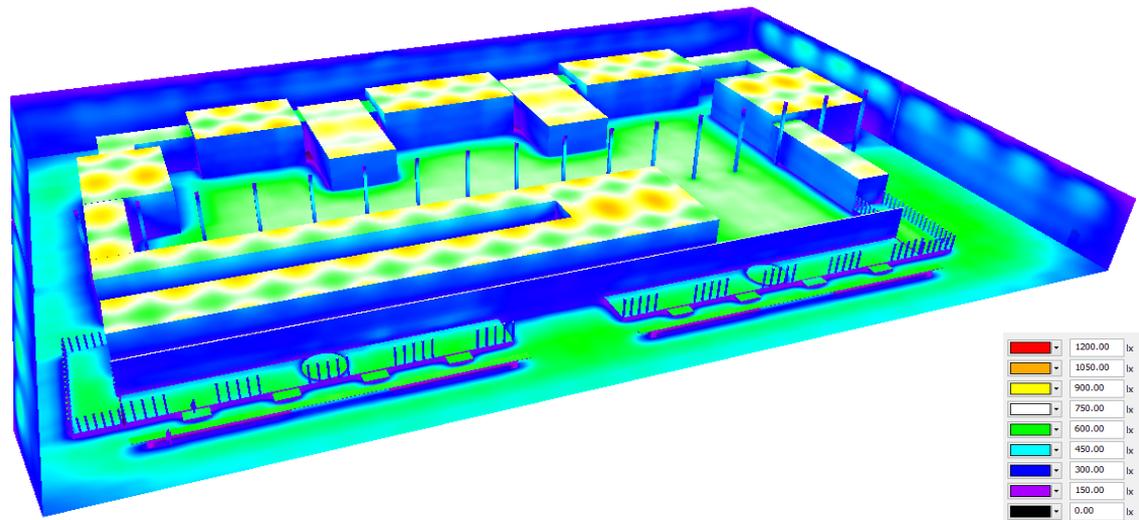


Figura 27. Colores falsos para la simulación en diciembre (11:00h)

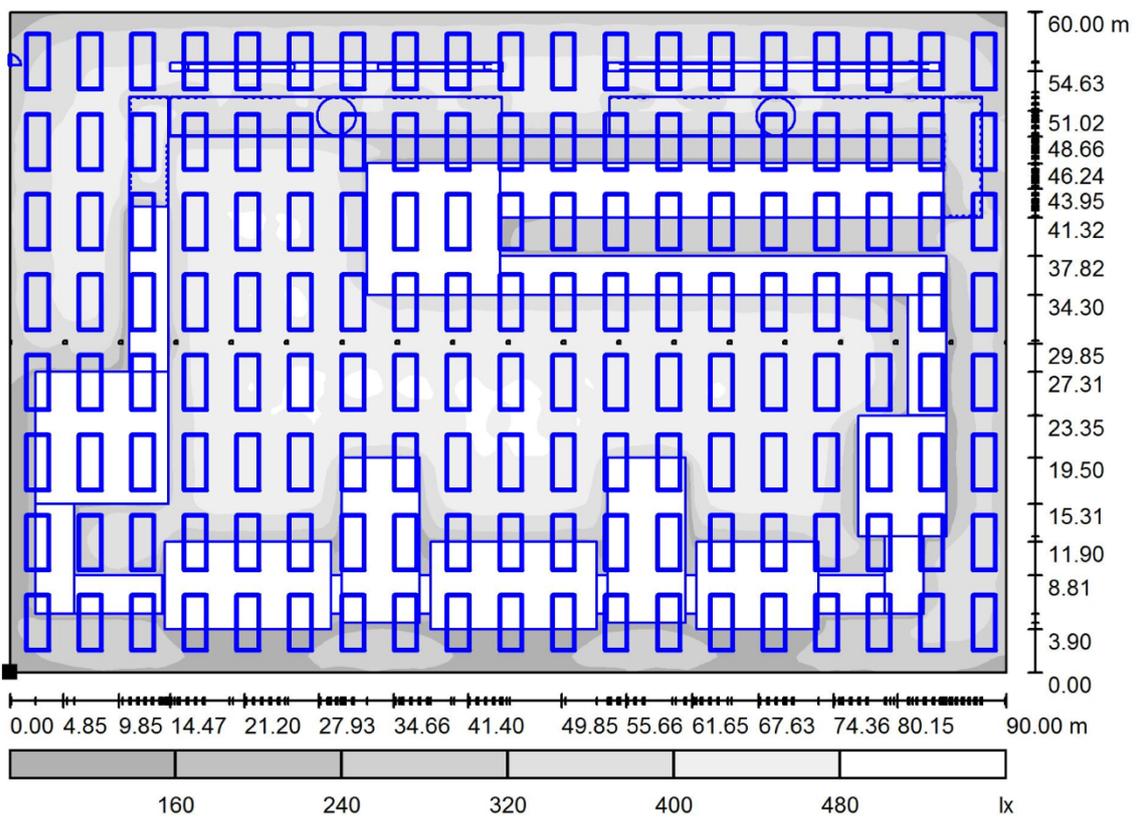


Figura 28. Resultados en gama de grises en diciembre (11:00h)

En resumen a los resultados en gama de grises y a las figuras en colores falsos, extraídos de DIALux, se adjunta la siguiente tabla:

Época	Em (lx)	E max (lx)	E min (lx)	Emin/Em	Emin/Emax	Deslumbramientos
21 Diciembre 9:00h	135	155	57	0,426	0,366	No
21 Diciembre 10:00h	257	349	128	0,426	0,366	
21 Diciembre 11:00h	367	498	182	0,426	0,366	
21 Diciembre 12:00h	508	592	217	0,426	0,366	
23 Junio 12:00h	997	1161	425	0,426	0,366	

Tabla 11. Tabla de resultados luminotécnicos de la propuesta 3.

En la tabla 11, se puede observar que a las 10:00h los niveles de iluminación son 257 lx, que no alcanzan el mínimo requerido, pero que a partir de las 11:00h se puede trabajar solamente con iluminación natural, alcanzando unos niveles de 367 lx.

Teniendo en cuenta estos valores, e interpolando para tener una estimación, se puede decir que a partir de las **10:51h** se podría trabajar, prescindiendo de las luminarias instaladas en planta.

La iluminación media obtenida en planta viene reflejada en la tabla de resultados, al igual que la uniformidad general de la planta. A continuación se obtendrán estos valores centrándonos solamente en la zona de descarga de la nave de pintura para comprobar que se alcanza los valores requeridos.

Para el cálculo de la uniformidad e iluminación localizada en la zona comentada, se recurre a la tabla de datos (E), de DIALux, donde se pueden observar los niveles de iluminación alcanzados en cada punto de trabajo de la planta.

Si nos centramos en la zona de descarga, obtenemos el siguiente análisis de iluminación y uniformidad para la zona en cuestión:

Época	Em	Emin	Emax	Emin/Emax
Verano 9:00h	933,14	755	1007	0,750
Invierno 9:00h	126,03	86	139	0,619
Invierno 10:00h	277,66	194	314	0,618
Invierno 11:00h	483,88	324	448	0,723

Tabla 12. Análisis de iluminación y uniformidad para la zona crítica.

Para los casos de invierno a las 9:00h y 10:00h de la mañana, los niveles de iluminación no se alcanzan tal y como ocurría al estudiar los resultados luminotécnicos globales, mientras que para los otros dos casos, no es necesario recurrir a la iluminación artificial para poder trabajar en condiciones luminotécnicas óptimas.

Tal y como hemos deducido anteriormente, a partir de las 10:51h se podría trabajar sin emplear luminarias, pero debido a que la nave de pintura está operativa durante las 24h, es necesario diseñar un sistema de iluminación mixto para las horas en las que no se alcancen las condiciones óptimas.

5.10. Análisis de la iluminación artificial

El caso ideal sería poder aprovechar las 24 horas de luz natural sin tener que emplear luminarias para iluminar la planta. Obviamente, este caso es inviable debido a que, en función de la época del año en la que estemos, existe un 20-40% de horas nocturnas que nos impiden funcionar con luz natural, debido a que las condiciones de visibilidad no son las adecuadas para trabajar. Esto se puede solucionar añadiendo al sistema de iluminación, un alumbrado artificial para las horas en las que no se alcancen las condiciones necesarias.

Para poder estudiar y comparar los diferentes sistemas de iluminación, se comenzará por analizar el caso más desfavorable, que es el sistema de luz 100% artificial, en el cual, no existirán lucernarios y la planta será iluminada empleando solamente luminarias. Para poder analizar este sistema de iluminación, se necesita conocer el número de luminarias que serían necesarias en la nave de pintura. Para ello, se empleará de software DIALux Light que es una variante del software DIALux, pero enfocado al estudio de la luz artificial.

Dado que no es objeto de estudio de este proyecto, nos centraremos en obtener la información que necesitamos para el análisis, sin entrar en grandes detalles.

Para poder estimar el número de luminarias, DIALux Light pide la siguiente información:

- Dimensiones de la nave
- Factor de contaminación
- Grado de reflexión de paredes, suelo y techo
- Iluminación media requerida

Aparte de esta información relacionada con la planta, DIALux Light también permite escoger el tipo de luminaria que se va a emplear para iluminar la nave, en este caso, se elige una luminaria cuya área de iluminación es mayor, denominada DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN cuya potencia es de 420 W.

Con toda la información comentada, DIALux Light estima 99 luminarias distribuidas uniformemente, para alcanzar el nivel de iluminación requerido. Los resultados luminotécnicos para este sistema de iluminación son los siguientes:

Superficie	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Emin/Emax
PLANO ÚTIL	399	175	477	0,440

Tabla 13. Resultados lumínicos del sistema de iluminación artificial.

5.11. Eficiencia energética del sistema de iluminación

Pese a que el caso ideal sería poder diseñar un sistema de iluminación 100% natural, ya se ha justificado en el apartado anterior lo inviable que es para satisfacer la demanda durante la jornada laboral. Esto demuestra la necesidad de diseñar un sistema de iluminación mixto.

Una forma eficaz y rápida de poder comparar y evaluar que sistema es el mas efectivo, en términos de energía, es empleando el término de eficiencia energética (VEEI).

La eficiencia energética (VEEI) se define como la potencia requerida para iluminar un metro cuadrado de superficie con un nivel de iluminación de 100 luxes y se calcula empleando la siguiente expresión:

$$VEEI \left[\frac{(W/m^2)}{100 \text{ lux}} \right] = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad [4]$$

Dónde,

P = Potencia conjunta de la lámpara y el equipo auxiliar (W)

S = Superficie a iluminar (m^2)

E_m = Nivel de iluminación medio mantenido (lx)

Se calcula la eficiencia energética para los diferentes sistemas de iluminación, definidos teniendo en cuenta que por la zona geográfica en la que está ubicada la planta de pintura, el aprovechamiento de luz natural está entre 60-80%.

- Iluminación artificial 100%

Potencia total	Superficie	Em (lx)	VEEI
41580	5400	350,3	2,198

Tabla 14. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.

- Iluminación mixta: 20% luz artificial y 80% luz natural

Potencia total	Superficie	Em (lx)	VEEI
8316	5400	350,3	0,439

Tabla 15. Eficiencia energética del sistema 20%-80%.

- Iluminación mixta: 30% luz artificial y 70% luz natural

Potencia total	Superficie	Em (lx)	VEEI
12474	5400	350,3	0,659

Tabla 16. Eficiencia energética del sistema 30%-70%.

- Iluminación mixta: 40% luz artificial y 60% luz natural

Potencia total	Superficie	Em (lx)	VEEI
16632	5400	350,3	0,879

Tabla 17. Eficiencia energética del sistema 40%-60%.

Como se puede comprobar, a mayor porcentaje de luz natural en el sistema de iluminación más bajo es el valor de eficiencia energética. El caso ideal, sería obtener un VEEI de $0 \frac{(W/m^2)}{100 \text{ lux}}$, lo cual quiere decir, que cuanto más próximo a 0 sea el valor, menor consumo energético se produce.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

En los casos expuestos, el caso más favorable sería el sistema que aplica un 20% de luz artificial y un 80% de luz natural.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se realizará el estudio económico para averiguar qué sistema de iluminación es el más rentable. Lo que se pretende es analizar el consumo eléctrico de la planta antes y después de la instalación del sistema de iluminación natural para comprobar que se produce una mejora y un ahorro energético.

Para ello se comienza presupuestando la instalación de los lucernarios en la planta, posteriormente se analiza el coste que supondría mantener la planta iluminada con luminarias y finalmente se proponen diferentes sistemas mixtos analizando el gasto de cada uno de ellos.

6.1. Presupuesto para un sistema de iluminación 100% natural

La instalación del sistema de iluminación natural consiste en realizar los huecos en el techo de la nave, acondicionarlos, colocar los lucernarios y soldarlos. El desarrollo del presupuesto para la obtención del coste total viene reflejado en el **Anexo 1**.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	111.990,65 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	135.508,69 €
Presupuesto base de licitación	163.965,51 €

Tabla 18. Presupuesto final para la instalación de un sistema de iluminación 100% natural.

El presupuesto de explotación correspondiente al mantenimiento de los lucernarios es el reflejado a continuación. Para calcular dicho presupuesto, se tiene en cuenta que el mantenimiento de los lucernarios en las naves industriales se realiza como mínimo cada 3 años. Se estima que se realiza cada 5 años para el estudio de iluminación (Véase **Anexo 1**).

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	1.024,30 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	1.239,40 €
Presupuesto base de licitación	1.499,67 €
Presupuesto base de licitación anual	299,93 €

Tabla 19. Presupuesto final para el mantenimiento de lucernarios.

Mantener una nave con un sistema de iluminación 100% natural, supondría un coste de inversión muy elevado como se puede observar en la tabla 20, debido al elevado coste que supone instalar los lucernarios en la nave de pintura.

Gasto de instalación de lucernarios	163.965,51 €
Gasto mantenimiento de lucernarios anual	299,93 €
GASTO TOTAL	164.265,45 €

Tabla 20. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% natural.

6.2. Balance económico

En este apartado se realizará la comparación del coste de instalar un sistema de iluminación natural con la factura necesaria para un sistema de iluminación artificial 100%.

Para ello, se parte del supuesto de que la nave de pintura funciona con un sistema de iluminación artificial como referencia de análisis, en el cual se emplean solamente luminarias para la iluminación completa de ésta.

6.2.1. Presupuesto para un sistema de iluminación artificial 100%

Para poder obtener el consumo energético de la planta que emplea luz artificial durante las 24h del día, se necesitan conocer varios datos: La potencia demandada de planta, la cual llevará a elegir la tarifa adecuada para la factura de luz y el calendario laboral de la planta de pintura.

El dato de potencia demandada de la planta es un dato facilitado por la empresa:

	P (kW)	N	Total (kW)
Receptores alumbrado	1,55	1	1,55
Receptores otros usos	16	1	16
Receptores fuerza motriz	157,5	1	157,5
			175,05

Tabla 21. Potencia requerida en planta sin tener en cuenta las luminarias.

Para obtener la potencia total demandada por la planta, se tiene que tener en cuenta la potencia requerida para la correcta iluminación de la planta de pintura. Para ello, la luminaria que se empleará para el estudio de iluminación es la denominada DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN cuyas dimensiones son (LxBxH) 0.420 x 0.420 x 0.420 m y cuya potencia es de 420W (**Véase Anexo 3**). Teniendo en cuenta las luminarias, la potencia total requerida es de **216,63 kW**.

	P (kW)	N	Total (kW)
Potencia demandada por la planta	175,05	1	175,05
Potencia Luminarias	0,42	99	41,58
Potencia total			216,63

Tabla 22. Potencia total requerida en planta.

En base a la tabla 22, la potencia demandada de planta es de 216,63 kW. Con este valor, la tarifa eléctrica contratada es la tarifa 3.1^a que es una tarifa de alta tensión ($\geq 1\text{ kV}$ y $< 36\text{ kV}$; Potencia contratada $\leq 450\text{ kW}$). Esta tarifa tiene un sistema de discriminación horaria que establece tres periodos de facturación que son P1 (punta), P2 (llano) y P3 (valle). Cada periodo a su vez tienen precios diferentes en términos de potencia y energía, que vienen recogidos en la tabla 23.

TARIFA 3.1A					
TP €/kW y año		Δ (*)	TE €/kWh		Δ (*)
P1:	59,173468	0,00%	P1:	0,014335	0,00%
P2:	36,490689		P2:	0,012754	
P3:	8,3677310		P3:	0,007805	

Tabla 23. Términos de potencia y energía en función de los periodos de facturación.

Fuente: IDEA, 2017.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Estos son los valores de aplicación vigentes en 2017, que mantienen los valores del 2016 sin haber producido ninguna variación con respecto a los valores de las tarifas anteriores.

Esta empresa de pintura trabaja las 24h de lunes a viernes durante todo el año, a excepción de una semana en diciembre por Navidad, y dos semanas en agosto por vacaciones de verano. Las paradas de mantenimiento durante producción se consideran despreciables, debido a aquellas que requieren un paro de la línea muy largo se realizan en los cierres de la empresa por festividades o los fines de semana. Para poder obtener las horas correspondientes a cada periodo se recurre a la siguiente tabla:

Horas diarias	00_01	01_02	02_03	03_04	04_05	05_06	06_07	07_08	08_09	09_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24	Horas diarias
Enero	P3	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Enero															
Febrero	P3	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Febrero															
Marzo	P3	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Marzo															
El cambio de horario de VERANO se produce el último domingo de Marzo según la directiva Europea 2000/84																									
Abril	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Abril														
Mayo	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Mayo														
Junio	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Junio														
Julio	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Julio														
Agosto	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Agosto														
Septiembre	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Septiembre														
Octubre	P3	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Octubre														
El cambio de horario de INVIERNO se produce el último domingo de Octubre según la directiva Europea 2000/84																									
Noviembre	P3	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Noviembre															
Diciembre	P3	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	Diciembre															
Sábado, Domingo y Festivos Nacionales	P3	P2																							

P1 Punta **P2** Llano **P3** Valle

Tabla 24. Discriminación horaria de la tarifa 3.1A (2017)

Fuente: <http://ucsenergia.com>

Teniendo en cuenta la discriminación horaria de la tarifa definida, de la tabla 24 y los horarios laborales de la planta de pintura, se obtiene la siguiente tabla, que hace referencia las horas trabajadas por periodos. Al año, se trabajan un total de 238 días, que se obtienen del calendario laboral 2017 de la Comunidad Valenciana que tiene en cuenta los fines de semana y los festivos oficiales nacionales y locales.

Mes	P1	P2	P3	Días trabajados
Enero	126	210	168	21
Febrero	120	200	160	20
Marzo	138	230	184	23
Abril	108	180	144	18
Mayo	132	220	176	22
Junio	132	220	176	22
Julio	126	210	168	21
Agosto	78	130	104	13
Septiembre	126	210	168	21
Octubre	120	200	160	20
Noviembre	126	210	168	21

Diciembre	96	160	128	16
Total Anual	1428	2380	1904	238

Tabla 25. Horas trabajadas por periodos. Días trabajados al año.

Dado que ya se han obtenido todos los datos necesarios, se procede a estudiar el gasto anual para un sistema de iluminación 100% artificial.

Se tiene en cuenta que, para el cálculo del gasto anual para un sistema en el que solo se emplea luz artificial, suma tanto la factura eléctrica como el mantenimiento y renovación de las luminarias instaladas en planta.

FACTURACIÓN ANUAL

Para obtener el coste de la factura de luz para un periodo anual, hay que tener en cuenta varios parámetros:

- Término de potencia (Valor fijo en función de la potencia requerida de planta)
- Término de energía (Valor variable en función del consumo)
- Impuestos
- Alquiler del equipo de medida (En función de la tarifa contratada)

TÉRMINO DE POTENCIA

Para obtener el término de potencia, se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Término de potencia (€)} = \sum_i P_T(kW) \cdot P_i \left(\frac{\text{€}}{kW \cdot \text{año}} \right) \quad [5]$$

Dónde,

P_T = Potencia total demandada en la planta

P_i = Precio anual de cada periodo

i = Número del periodo

	P1 - Punta	P2 - Llano	P3 - Valle
Término de potencia	12818,75	7904,98	1812,70
SUBTOTAL (€)	22.536,43 €		

Tabla 26. Cálculo del término de potencia.

TÉRMINO DE ENERGÍA

El término de energía varía en función del consumo energético, teniendo en cuenta que durante las 24h toda la maquinaria está en funcionamiento y que solamente se emplea luz artificial para iluminar la planta y las luminarias están las 24h encendidas, la potencia total es un valor constante.

$$\text{Término de energía (€)} = \sum_i P_T(kW) \cdot P_i \left(\frac{\text{€}}{kW \cdot h} \right) \cdot h_i (h) \quad [6]$$

Dónde,

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

P_T = Potencia total demandada en la planta

P_i = Precio por hora de cada periodo

h_i = Horas por periodo

i = Número del periodo

	P1 - Punta	P2 - Llano	P3 - Valle
Término de energía	4434,50	6575,70	3219,28
SUBTOTAL (€)	14.229,48 €		

Tabla 27. Cálculo del término de energía.

A ambos términos calculados, se le suma un impuesto de electricidad que se cobra por la empresa suministradora de energía, remitiéndose posteriormente al gobierno. Para el cálculo de este impuesto se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Impuesto de electricidad (€)} = (TP + TEE) \cdot 1,051127 \cdot 4,864\% \quad [7]$$

Dónde,

TP = Término de potencia

TEE = Término de energía eléctrica

A parte de este impuesto, se tiene que tener en cuenta un coste fijo que es el alquiler del equipo de medida, que para la tarifa 3.1A, el precio es de 29€/mes fijado por el gobierno. Al año el coste del alquiler son 348€.

Por último, se tiene en cuenta el término correspondiente al IVA.

$$\text{IVA (€)} = (TP + TEE + \text{Impuesto de electricidad} + \text{Alquiler eq. medida}) \cdot 21\% \quad [8]$$

El importe total de la factura estimado para un periodo anual viene reflejado en la tabla siguiente:

	Subtotal (€)	Total (€)
Término de potencia	22536,43	
Término de energía	14229,48	
Alquiler equipo de medida	348,00	
Impuesto de electricidad	1879,72	
IVA	8188,66	
		47.182,29 €

Tabla 28. Estimación del importe total anual factura eléctrica.

PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN DE LUMINARIAS

Para obtener el presupuesto de mantenimiento y renovación de las luminarias, se tiene que tener en cuenta:

- Tipo de luminaria
- Cantidad de luminarias
- Potencia de las luminarias
- Vida útil de las luminarias

Como se ha comentado anteriormente, el tipo de luminaria que se empleará para el estudio de iluminación es la denominada DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN cuyas dimensiones son (LxBxH) 0.420 x 0.420 x 0.420 m y cuya potencia es de 420W.

Para poder realizar una estimación de la cantidad de luminarias para poder iluminar toda la planta y alcanzar el mínimo de iluminación requerida se emplea el Software DIALux Light. Mediante la introducción de datos como las dimensiones de la nave, factor de contaminación y Nivel de iluminación requerida, el software calcula el numero de luminarias necesarias, en este caso se estima una cantidad de 99 luminarias.

La vida útil de las luminarias esta comprendida entre 8000 y 12000 horas. Tomamos un valor medio de 10000 horas para realizar el cálculo. El calculo se realiza empleando la siguiente expresión:

$$Vida\ útil = \frac{horas\ de\ vida\ útil}{horas\ de\ uso} = \frac{10000\ horas}{238 \cdot 24\ horas/años} = 1,75\ años \quad [9]$$

En el caso de que la nave funcionara solamente con luz artificial, la renovación de las luminarias se daría cada 1,75 años.

Para esta caso específico, el presupuesto total para el mantenimiento y renovación es el mostrado a continuación (Se recuerda que el desarrollo del presupuesto está en el **Anexo 1**).

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	8.266,22 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	10.002,13 €
Presupuesto base de licitación	12.102,58 €
Presupuesto base de licitación anual	6.915,76 €

Tabla 29. Presupuesto final para la renovación de un sistema de iluminación 100% artificial.

El presupuesto total de un sistema 100% artificial, que incluye la factura eléctrica y el presupuesto de mantenimiento y renovación queda reflejado en la siguiente tabla:

Gasto de electricidad anual	47.182,29 €
Gasto renovacion luminarias anual	6.915,76 €
GASTO TOTAL	54.098,05 €

Tabla 30. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% artificial.

6.2.2. Presupuesto para un sistema de iluminación mixto

La situación ideal sería poder emplear el máximo de horas de luz para poder iluminar la nave de pintura, lo cual produciría un ahorro tanto energético como económico considerable. Pero es inevitable tener que emplear luz artificial en horas donde los niveles de iluminación no lleguen a los requeridos, ya sea por condiciones meteorológicas, o en horas nocturnas.

En el caso concreto de la Comunidad Valencia, durante las épocas de verano, se puede estimar entre un 80-90% de horas luz al día entre la salida y la puesta de sol, mientras que en invierno ese porcentaje puede bajar a un 60-70% de horas de luz al día.

Por ello, se calculará el coste que supondría tener la nave iluminada para los siguientes casos:

- SISTEMA 1 → Iluminación mixta: 20% luz artificial y 80% luz natural
- SISTEMA 2 → Iluminación mixta: 30% luz artificial y 70% luz natural
- SISTEMA 3 → Iluminación mixta: 40% luz artificial y 60% luz natural

Una vez obtenido los costes de mantener la nave iluminada con los sistemas de iluminación mixta comentados, se procederá a analizar qué método sería más conveniente instalar en la nave.

A términos prácticos, que el sistema de iluminación tenga un 20%, 30% y 40% de luz artificial significa que se emplean un 20%, 30% y 40% de las luminarias instaladas en planta para iluminar la planta. El hecho de utilizar menos luminarias que en el caso anterior implica una disminución de la potencia demandada de planta la cual afecta al término de potencia y energía, lo cual a su vez varía el gasto total para mantener un sistema de iluminación en planta. Aparte de afectar en la factura eléctrica, la disminución del número de luminarias utilizadas, también influye en el presupuesto de mantenimiento y renovación de las luminarias, que se calcula en cada uno de los casos expuestos a continuación. Notar que los gastos y la vida útil se mantienen constantes.

- SISTEMA 1 → Iluminación mixta: 20% luz artificial y 80% luz natural

En este caso, la potencia demandada de planta es **183,37 kW**. Teniendo en cuenta la disminución de la potencia, a continuación se refleja el coste estimado de la factura eléctrica anual.

	P1 - Punta	P2 - Llano	P3 - Valle	Subtotal (€)	Total (€)
Término de potencia	10850,40	6691,15	1534,36	19.075,91 €	
Término de energía	3753,57	5565,99	2724,95	12.044,51 €	
Alquiler equipo de medida				348,00 €	
Impuesto de electricidad				1.591,09 €	
IVA				6.942,50 €	
					40.002,01 €

Tabla 31. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 20%-80%.

Se presupuesta también el coste del mantenimiento y renovación de las luminarias:

De la tabla 58 en el **Anexo 1**, tenemos el precio descompuesto para la renovación de luminarias, que se mantiene constante y es **83,50 €**.

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	Instalación luminarias nuevas						
	Ud	Luminaria	20				20	
								20

Tabla 32. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias en el sistema 20%-80%.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Instalación luminarias nuevas	1669,94	
			1669,94

Tabla 33. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 20%-80%.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	1.669,94 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	2.020,63 €
Presupuesto base de licitación	2.444,97 €
Presupuesto base de licitación anual	1.397,12 €

Tabla 34. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 20%-80%.

Teniendo ambos datos calculados, el gasto total para este sistema de iluminación en concreto viene reflejado en la siguiente tabla:

Gasto de electricidad anual	40.002,01 €
Gasto renovación luminarias anual	1.397,12 €
GASTO TOTAL	41.399,13 €

Tabla 35. Presupuesto estimado final para el sistema 20%-80%.

- SISTEMA 1 → Iluminación mixta: 30% luz artificial y 70% luz natural

En este caso, la potencia demandada de planta es **187,52 kW**.

	P1 - Punta	P2 - Llano	P3 - Valle	Subtotal (€)	Total (€)
Término de potencia	11096,45	6842,88	1569,15	19.508,48 €	
Término de energía	3838,69	5692,20	2786,74	12.317,63 €	
Alquiler equipo de medida				348,00 €	
Impuesto de electricidad				1.627,17 €	
IVA				7.098,27 €	
					40.899,54 €

Tabla 36. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 30%-70%.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

Se presupuesta también el coste del mantenimiento y renovación de las luminarias teniendo en cuenta que el precio descompuesto para la renovación de luminarias es **83,50€**:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud.	Instalación luminarias nuevas						
	Ud.	Luminaria	30				30	
								30

Tabla 37. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias para el sistema 30%-70%.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Instalación luminarias nuevas	2479,87	
			2479,87

Tabla 38. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 30%-70%.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	2.479,87 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	3.000,64 €
Presupuesto base de licitación	3.630,77 €
Presupuesto base de licitación anual	2.074,73 €

Tabla 39. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 30%-70%.

El gasto total para este sistema de iluminación en concreto viene reflejado en la siguiente tabla:

Gasto de electricidad anual	40.899,54 €
Gasto renovación luminarias anual	2.074,73 €
GASTO TOTAL	42.974,27 €

Tabla 40. Presupuesto estimado final para el sistema 30%-70%.

➤ SISTEMA 3 → Iluminación mixta: 40% luz artificial y 60% luz natural

En este caso, la potencia demandada de planta es **191,68 kW**. Teniendo en cuenta la disminución de la potencia, a continuación se refleja el coste estimado de la factura eléctrica anual.

	P1 - Punta	P2 - Llano	P3 - Valle	Subtotal (€)	Total (€)
Término de potencia	11342,49	6994,61	1603,94	19.941,04 €	
Término de energía	3923,80	5818,42	2848,53	12.590,75 €	
Alquiler equipo de medida				348,00 €	
Impuesto de electricidad				1.663,25 €	
IVA				7.254,04 €	
					41.797,08 €

Tabla 41. Importe total anual factura eléctrica para el sistema 40%-60%.

Se presupuesta también el coste del mantenimiento y renovación de las luminarias teniendo en cuenta que el precio descompuesto para la renovación de luminarias es **83,50€**:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	Instalación luminarias nuevas						
	Ud	Luminaria	40				40	
								40

Tabla 42. Cuadro de mediciones para la instalación de luminarias para el sistema 40%-60%.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Instalación luminarias nuevas	3306,49	
			3306,49

Tabla 43. Cuadro de presupuestos parciales para el sistema 40%-60%.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	3.306,49 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	4.000,85 €
Presupuesto base de licitación	4.841,03 €
Presupuesto base de licitación anual	2.766,30 €

Tabla 44. Presupuesto para la instalación de luminarias para el sistema 40%-60%.

Gasto de electricidad anual	41.797,08 €
Gasto renovación luminarias anual	2.766,30 €
GASTO TOTAL	44.563,38 €

Tabla 45. Presupuesto estimado final para el sistema 40%-60%.

6.4. Análisis económico

Se procede a valorar cual de los sistemas de iluminación es el más viable para la nave de pintura, estudiando la rentabilidad y el ahorro económico y energético marcando como referencia la instalación con un sistema de iluminación 100% artificial.

Primeramente, en la tabla adjunta a continuación se puede observar la comparación de los sistemas de iluminación, marcando como referencia la nave con el sistema de iluminación inicial.

El gasto que se considera en la instalación 100% artificial tiene en cuenta tanto la factura eléctrica como el mantenimiento y renovación de luminarias. Estos datos vienen recogidos en la tabla adjunta:

Sistema de iluminación	Gasto (€)	Ahorro (€)
100% artificial	54.098,05 €	- €
40% artificial + 60% natural	44.563,38 €	9.534,67 €
30% artificial + 70% natural	42.974,27 €	11.123,78 €
20% artificial + 80% natural	41.399,13 €	12.698,92 €

Tabla 46. Comparación del ahorro de los distintos sistemas de iluminación.

Como se puede observar, a medida que aumenta el aprovechamiento de horas de luz natural, el ahorro es mayor, lo cual tiene sentido ya que al aumentar el aprovechamiento de luz natural, el consumo eléctrico disminuye considerablemente alargando el tiempo de utilización de las luminarias y por lo tanto disminuyendo el presupuesto anual de mantenimiento y renovación de luminarias.

Con los datos obtenidos en la tabla 46, podemos calcular el VAN (Valor Actual Neto), que hace referencia al estudio de la rentabilidad del proyecto. Un proyecto es rentable cuando el valor actual neto es positivo.

Posteriormente, se procederá al cálculo del término TIR (Tasa Interna de Rentabilidad), que hace referencia a la tasa de rendimiento del proyecto. El TIR se puede calcular cuando el VAN = 0.

La vida útil del proyecto se estima en unos 25 años, para poder realizar los cálculos.

Las expresiones que se emplearan para el cálculo de ambos términos son respectivamente las siguientes:

$$VAN = -I_0 + \frac{r_t [1 - (1 + i)^{-n}]}{i} \quad [10]$$

$$0 = -I_0 + \sum_i^T \frac{r_t}{(1 + TIR)^n} \quad [11]$$

Dónde,

I_0 = Inversión inicial

r_t = Movimiento de fondos de cada periodo

i = Interés

n = Horizonte temporal

Dado que no se conoce el riesgo que la empresa quiere asumir, se plantean varias hipótesis variando el porcentaje de intereses que se le aplicaría, obteniendo pues el VAN para los diferentes casos. De modo que el análisis de la rentabilidad vendría reflejado tal que así:

Artificial + Natural	VAN 1%	VAN 2%	VAN 3%	VAN 4%	VAN 5%	VAN 6%	TIR
40% + 60%	-22.993,15	-46.826,96	-66.948,05	-84.025,28	-98.595,55	-111.091,57	
30% + 70%	12.004,09	-15.802,01	-39.276,62	-59.200,06	-76.198,70	-90.777,40	1,41%
20% + 80%	46.693,65	14.950,17	-11.848,47	-34.593,10	-53.998,76	-70.641,82	2,54%

Tabla 47. Obtención del VAN y TIR para los diferentes sistemas de iluminación.

Como podemos observar, el sistema de iluminación 40% - 60% no es rentable, ya que a ningún porcentaje de intereses el proyecto sale positivo y por lo tanto no se puede obtener el TIR.

Los otros dos sistemas son rentables para el 1% de intereses, pero solamente el sistema 20%-80% permite asumir a la empresa hasta un riesgo del 2,54% manteniendo el proyecto rentable.

Además de obtener la rentabilidad del proyecto, es muy importante analizar el tiempo que tiene que transcurrir para poder recuperar el capital invertido en el proyecto. Para ello, se recurre al término del Payback estático (PB), que contabiliza los años para recuperar el capital invertido.

	Gasto total (€)	Anualidad (€/año)	Periodo Retorno (años)
40% artificial + 60% natural	44.563,38 €	9.534,67 €	4,7
30% artificial + 70% natural	42.974,27 €	11.123,78 €	3,9
20% artificial + 80% natural	41.399,13 €	12.698,92 €	3,3

Tabla 48. Cálculo de la rentabilidad de los diferentes sistemas de iluminación.

Como se puede observar en la siguiente tabla, la propuesta del sistema de iluminación con un 20% de luz artificial, es el proyecto en el que el capital invertido se recupera con mayor rapidez.

En vista de los resultados, se podría optar por el sistema 20%-80% por los siguientes motivos:

- Económicamente es el más rentable, permitiendo asumir hasta un 2,54% de intereses.
- Con este sistema, el periodo de retorno del capital invertido es el más corto, por lo que se empezaría a obtener beneficios más temprano en comparación con los otros dos sistemas.
- En términos lumínicos, con este sistema conseguiríamos un mayor aprovechamiento de luz natural y menor uso de luz artificial que es lo que se quiere conseguir debido a los numerosos beneficios que la luz natural proporciona a los empleados afectando directamente al rendimiento de estos.

7. CONCLUSIONES

- En base al estudio de iluminación, se ha podido comprobar que las naves industriales con un sistema de iluminación cenital obtienen mejores resultados lumínicos, en lo que se refiere a la uniformidad en planta y menor probabilidad de deslumbramiento, que en sistemas de iluminación con elementos laterales.
- Se comprueba, que a pesar de ser el caso ideal y debido a que independientemente de la ubicación de la planta y de la época del año, siempre existen horas al día en las que los niveles de iluminación no lleguen a los exigidos para alcanzar unas condiciones de visibilidad adecuadas para trabajar, y por lo tanto, no es viable tener una nave industrial que emplee un sistema de iluminación 100% natural y se tiene que recurrir a sistemas de iluminación mixtos.
- Obviamente, se ha podido comprobar que partiendo de una nave donde solo se emplea luz artificial e instalando un sistema de iluminación natural, se ve una mejora notable, lo cual produce un ahorro energético a pesar de su elevado coste de inversión. Y no solo eso, sino que al aprovechar mayor número de horas de luz natural afecta directamente al bienestar y salud de los empleados, lo cual afecta directamente al rendimiento de ellos.
- En un sistema de iluminación mixto, a medida que el aprovechamiento de luz natural aumenta, mayor ahorro energético se produce, debido a que el coste de la factura eléctrica y del mantenimiento y renovación de las luminarias.
- En cuanto a eficiencia energética, también se concluye que el sistema que mayor aprovechamiento de luz natural supone, es el más eficiente.
- Después del estudio económico, se observa que el sistema más rentable es el sistema con mayor aprovechamiento de luz natural, es decir, el sistema con 20% de luz artificial y 80% de luz natural, que es un sistema que podría acoplarse en la Comunidad valenciana, donde el aprovechamiento de luz natural está en torno al 60-80%.
- A pesar del alto coste de inversión que produce instalar un sistema de luminarias como el propuesto en el proyecto, se observa en el análisis económico, que el ahorro frente a un sistema artificial es muy elevado. Gracias a los términos del VAN y el TIR se puede averiguar si es aconsejable el llevar a cabo este proyecto.
- En este caso, se puede decir que el proyecto es rentable para el sistema 20%-80%, hasta unos intereses en torno al 2% y que se puede recuperar el capital invertido en un corto periodo de tiempo que es en torno a los 3,3 años.

8. BIBLIOGRAFÍA

- UNE 12464.1. "Norma Europea sobre iluminación para interiores." Agencia Española de Normativa. 2002
- IVE. "Bases de precios 2016" Instituto Valenciano de la Edificación. Valencia, 2016.
- IDAE. "Guía técnica: Aprovechamiento de la luz natural" Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid, 2015.
- IDAE. "Informe de precios energéticos regulados" Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid, 2017.
- Santamarina, M. C. "Iluminación natural". Universitat Politècnica de València. S.f.
- J. Guasch "Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo". Madrid, 1998.
- González, M. C., Sánchez, M. A., Gómez-Senent, E. "Introducción al proyecto y documentos del proyecto". 2014

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

ANEXO 1- PRESUPUESTO

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

PRESUPUESTO INSTALACIÓN LUCERNARIOS

Para obtener los precios unitarios de mano de obra y de maquinaria y poder presupuestar la instalación de un sistema de iluminación natural en la nave de pintura se recurre a la base de datos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) del 2016, ya que es la más actualizada hasta el momento.

Los tiempos estimados para la realización de cada tarea vendrán definidos por el proyectista.

COD.	UD	RESUMEN	Rend.	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m2	Realización del hueco				
	h	Oficial 1º carpintería	0,1500	16,49	2,47	
	h	Ayudante carpintería	0,1500	12,95	1,94	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,1500	57,68	8,65	
	%	Costes directos complementarios	0,0200	13,07	0,26	13,33
01.02	m2	Acondicionamiento del hueco				
	m	Perfil de aluminio	1,0000	8,37	8,37	
	h	Oficial 1º carpintería	0,1500	16,49	2,47	
	h	Ayudante carpintería	0,1500	12,95	1,94	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,1500	57,68	8,65	
	%	Costes directos complementarios	0,0200	21,44	0,43	21,87
01.03	m2	Colocación policarbonato celular				
	m2	Placa policarbonato 10mm	1,0000	46,35	46,35	
	h	Oficial 1º vidrio	0,0500	16,49	0,82	
	h	Ayudante vidrio	0,0500	12,95	0,65	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,0500	57,68	2,88	
	%ç	Costes directos complementarios	0,0200	50,71	1,01	51,72
01.04	m2	Soldado				
	h	Especialista metal	0,2000	16,49	3,30	
	h	Ayudante carpintería	0,2000	12,95	2,59	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,2000	57,68	11,54	
	%	Costes directos complementarios	0,0200	17,42	0,35	17,77

Tabla 49. Cuadro de precios descompuestos.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

COD.	UD	RESUMEN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m2	Realización del hueco						
	m2	Lucernarios	152	5	2		1520	
								1520
01.02	m2	Acondicionamiento del hueco						
	m2	Lucernarios	152	5	2		1520	
								1520
01.03	m2	Colocación policarbonato celular						
	m2	Lucernarios	152	5	2		1520	
								1520
01.04	m2	Soldado						
	m2	Lucernarios	152	5	2		1520	
								1520

Tabla 50. Cuadro de mediciones.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Realización del hueco	20260,28	
01.02	Acondicionamiento del hueco	33237,13	
01.03	Colocación policarbonato celular	78614,58	
01.04	Soldado	27014,17	
			159.126,17 €

Tabla 51. Cuadro de presupuestos parciales.

(*) Las unidades de obra incluyen el uso de una elevadora de tijera para una altura menor de 10 metros, y se emplea como máximo durante dos turnos (16h).

El valor que se obtiene en el cuadro de presupuestos parciales es el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), que se necesita para poder obtener el Presupuesto de Ejecución Contrata (PEC). Para calcular el PEC, se le sumará al PEM el 15% que hacen referencia a los gastos generales y el 6% que hacen referencia a los beneficios industriales.

Para finalizar, se incluye al PEC el 21% del IVA, obteniendo así el presupuesto en base de licitación. El presupuesto final para la instalación del sistema de iluminación natural se recoge en la siguiente tabla:

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	159.126,17 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	192.542,67 €
Presupuesto base de licitación	232.976,63 €

Tabla 52. Presupuesto final para la instalación de un sistema de iluminación 100% natural.

PRESUPUESTO EXPLOTACIÓN - MANTENIMIENTO LUCERNARIOS

A parte de la instalación de los lucernarios hay que mantenerlos limpios para que sean igual de eficientes, por lo que se calcula el presupuesto de mantenimiento. El mantenimiento de los lucernarios en las naves industriales se realiza como mínimo cada 3 años. Se estima que se realiza cada 5 años para el estudio de iluminación.

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	Rend.	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m2	Limpieza de lucernarios				
	h	Peón especializado vidrio	0,0500	10,81	0,54	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,0500	57,68	2,88	
	%	Costes directos complementarios	0,0200	3,42	0,07	3,49

Tabla 53. Cuadro de precios descompuestos.

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m2	Limpieza de lucernarios						
	m2	Lucernarios	152	5	2		1520	
								1520

Tabla 54. Cuadro de mediciones.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Limpieza de lucernarios	5309,34	
			5309,34

Tabla 55. Cuadro de presupuestos parciales.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	5.309,34 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	6.424,31 €
Presupuesto base de licitación	7.773,41 €
Presupuesto base de licitación anual	1.554,68 €

Tabla 56. Presupuesto final para el mantenimiento de lucernarios.

Gasto de instalación de lucernarios	232.976,63 €
Gasto mantenimiento de lucernarios anual	1.554,68 €
GASTO TOTAL	234.531,31 €

Tabla 57. Presupuesto final para un sistema de iluminación 100% natural.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

PRESUPUESTO EXPLOTACIÓN - MANTENIMIENTO Y RENOVACION DE LUMINARIAS

Dado la necesidad de implantar un sistema de iluminación mixto, es imprescindible realizar un mantenimiento de las luminarias instaladas, que incluye la renovación de éstas.

El coste requerido para esta tarea viene desarrollado a continuación.

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	Rend.	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	Instalación luminarias nuevas				
	Ud	Luminaria	1	60	60	
	h	Oficial 1º electricidad	0,2500	16,58	4,15	
	h	Peón electricidad	0,2500	13,18	3,30	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,2500	57,68	14,42	
	%	Costes directos complementarios	0,0200	81,86	1,64	83,50

Tabla 58. Cuadro de precios descompuestos.

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	Instalación luminarias nuevas						
	Ud	Luminaria	99				99	
								99

Tabla 59. Cuadro de mediciones.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Instalación luminarias nuevas	8266,22	
			8266,22

Tabla 60. Cuadro de presupuestos parciales.

Presupuesto Ejecución Material (PEM)	8.266,22 €
Presupuesto Ejecución Contrata (PEC)	10.002,13 €
Presupuesto base de licitación	12.102,58 €
Presupuesto base de licitación anual	6.915,76 €

Tabla 61. Presupuesto final para la renovación de un sistema de iluminación 100% artificial.

ANEXO 2- PLANOS

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al pintado de piezas plásticas para la industria de la automoción.

ANEXO 3- LUMINARIAS

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN / Hoja de datos de luminarias



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 70 97 100 100 70

SDK 102-400 W-IC Hallen-Reflektorleuchte mit Natriumdampf-Lampe

1 x SON 400 W Hochdruck-Natriumdampf-Lampe,
KVG kompensiert.
Industrie-Reflektorleuchte, tiefbreitstrahlend.
Abmessungen D x H: 424 x 484 mm.

Leuchtenkörper aus schwarzem Phenol-Kunststoff,
bis 140°C hitzebeständig, mit dem Vorschaltgerä-
te-Gehäuse aus Aluminium-Druckguß wieder lös-
bar verschraubt. Mit integriertem Tragegriff.
Asymmetrische Anordnung von Leuchtenkörper und
Reflektor für optimale Wärmeableitung und beste
Betriebsbedingungen.

Integrierte Universal-Aluminium-Montageschiene.
Anschlußfertig verdrahtet mit wärmebeständigen
Leitungen, fest montierte Schraubanschlußklemme
5 x 4 mm². Leitungseinführung durch Kabelver-
schraubung PG16. Durchgangsverdrahtung über aus-
brechbare Öffnung für zweite PG16-Verschraubung
möglich.

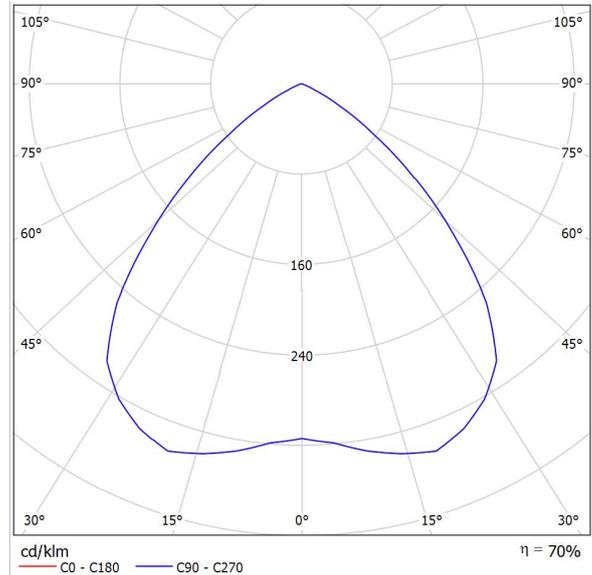
Aluminium-Reflektor semihochglänzend eloxiert,
tiefbreitstrahlend. Bajonettverschlußartige
Aufnahme des rotationssymmetrischen Reflektors.

Offene Ausführung:
Zwangsventilation im Reflektor/Leuchtenkörper
durch ausbrechbare Öffnungen im Kunststoffge-
häuse oberhalb der Keramikfassung E 40 erlaubt
den Einsatz in Umgebungstemperaturen bis 45°C.
Gleichzeitiger Selbstreinigungseffekt durch
vertikale Staubableitung.

Geschlossene Ausführung:
Für Umgebungstemperaturen bis 40°C auch wahlwei-
se mit Abdeckung aus temperaturwechselbestän-
digem Sicherheitsglas mit umlaufender Profil-
gummidichtung und werkzeuglos bedienbaren Ver-
schlüssen aus rostfreiem Stahl zur Erhöhung der
Schutzart auf IP 54.

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

Emisión de luz 1:



Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	26.5	27.5	26.8	27.7	27.9	26.5	27.5	26.8	27.7	27.9
	3H	26.4	27.3	26.7	27.5	27.8	26.4	27.3	26.7	27.5	27.8
	4H	26.3	27.2	26.6	27.4	27.7	26.3	27.2	26.6	27.4	27.7
	6H	26.3	27.0	26.6	27.3	27.6	26.3	27.0	26.6	27.3	27.6
	12H	26.2	26.9	26.6	27.2	27.6	26.2	26.9	26.6	27.2	27.6
4H	2H	26.5	27.3	26.8	27.5	27.8	26.5	27.3	26.8	27.5	27.8
	3H	26.4	27.0	26.7	27.4	27.7	26.4	27.0	26.7	27.4	27.7
	4H	26.3	26.9	26.7	27.2	27.6	26.3	26.9	26.7	27.2	27.6
	6H	26.2	26.7	26.6	27.1	27.5	26.2	26.7	26.6	27.1	27.5
	12H	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
8H	4H	26.2	26.7	26.6	27.0	27.4	26.2	26.7	26.6	27.0	27.4
	6H	26.1	26.5	26.6	26.9	27.4	26.1	26.5	26.6	26.9	27.4
	8H	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3
	12H	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3
12H	4H	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
	6H	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3
	8H	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+1.1 / -2.2		+1.1 / -2.2		+1.1 / -2.2		+1.1 / -2.2		+1.1 / -2.2		
S = 1.5H	+2.6 / -6.8		+2.6 / -6.8		+2.6 / -6.8		+2.6 / -6.8		+2.6 / -6.8		
S = 2.0H	+4.4 / -11.9		+4.4 / -11.9		+4.4 / -11.9		+4.4 / -11.9		+4.4 / -11.9		
Tabla estándar	BK00					BK00					
Sumando de corrección	6.8					6.8					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 55500lm Flujo luminoso total											