



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 A PRODUCCIÓN DE FITOSANITARIOS

AUTOR: ESCRIG MONTOYA, ALBA

TUTOR: SANTAMARINA SIURANA, MARÍA CRISTINA

Selección

Curso Académico: 2014-15 



## **RESUMEN**

El objetivo de este Trabajo Final de Grado (TFG) estudio de un sistema de iluminación natural para una planta industrial del sector de fitosanitarios cuya localización geográfica se sitúa en Cheste, ciudad perteneciente a la Comunidad Valenciana y cercana a la ciudad de Valencia.

En la primera parte se presentará la planta estudiada dentro del contexto al que pertenece como es el proceso productivo, la distribución en planta, al igual, que se mostrará la situación en el contexto económico en el que se encuentra el sector de los fitosanitarios.

En la segunda parte de este trabajo se realizará un estudio de los sistemas de iluminación, distinguiendo así el sistema de iluminación natural y artificial.

Seguidamente, se realizará un estudio del sistema de iluminación natural que resulte más beneficioso para la planta industrial química seleccionada. Para ello, se expondrán varias propuestas donde la ubicación y propiedades de los lucernarios variarán. Todo ello, para poder escoger el modelo más adecuado de manera que sea energéticamente eficiente. Este estudio se realizará con la ayuda de un software específico para la creación de iluminación dentro de una planta, DIALux.

Para dar por finalizado el estudio, se expondrán dos modelos de iluminación mixta, en los que se encontrará en funcionamiento tanto la iluminación natural como la iluminación artificial con un porcentaje determinado, para poder realizar una comparativa económica con el sistema de iluminación artificial en funcionamiento completo sin la existencia de la iluminación natural.

**Palabras clave:** eficiencia energética, sistema de iluminación natural, artificial y mixta.



## **PRÓLOGO**

La elección de este Trabajo Final de Grado es debido al interés estimulado en la asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial impartida en la mención de Construcción y Seguridad Industrial de la titulación de Grado en Ingeniería Química. La asignatura presentaba una visión en profundidad de la construcción de los edificios y naves industriales desde cero prestando gran atención a la iluminación y seguridad en lo construido. En ella, se aprendió a manejar el programa DIALux desde los inicios hasta un nivel más avanzado.

Una vez finalizado dicho trabajo, cabe decir que ha sido una experiencia muy gratificante que despierta mi interés en el sector de la construcción y en la formación como ingeniero más especializado. Con todo ello, me planteo la posibilidad de adquirir más conocimientos de este sector y conseguir ser algún día un ingeniero superior especializado en la construcción y seguridad que ésta conlleva.

Por último, quería agradecer estas últimas líneas tanto a mi tutora como a mi familia. Primeramente, a mi tutora M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana por ejercer como profesora con ese entusiasmo por su asignatura que hace que los alumnos acabemos amándola tanto como ella. Y por último, a mi familia la cual siempre ha mostrado apoyo incondicional durante todo mi periodo de formación.



# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | 1  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | 3  |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS .....  | 4  |
| 1. OBJETIVOS .....  | 5  |
| 2. FITOSANITARIOS .....   | 6  |
| 3. SECTOR DE FITOSANITARIOS.....  | 7  |
| 3.1. Contexto económico de los fitosanitarios en España .....                   | 7  |
| 4. PLANTA DE FABRICACIÓN DE FITOSANITARIOS .....                                | 11 |
| 4.1. Proceso productivo .....   | 11 |
| 4.2. Distribución en planta .....   | 15 |
| 5. ILUMINACIÓN .....  | 17 |
| 5.1. Tipos de iluminación.....  | 17 |
| 5.2. Sistemas de iluminación natural.....                                       | 18 |
| 5.3. Fundamentos de iluminación natural .....                                   | 20 |
| 5.4. Requerimientos de la planta .....  | 21 |
| 5.5. Métodos de cálculo.....  | 23 |
| 5.5.1. Método analítico.....  | 23 |
| 5.5.2. Eficiencia energética en iluminación .....                               | 25 |
| 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL .....                              | 27 |
| 6.1. Introducción .....   | 27 |
| 6.2. Establecimiento de los requerimientos de la planta .....                   | 27 |
| 6.3. Estimación de superficie teórica de aberturas .....                        | 28 |
| 6.4. Presentación de las propuestas .....                                       | 28 |
| 6.5. Determinación de los niveles de iluminación en los planos de trabajo ..... | 34 |
| 6.6. Selección de la propuesta más adecuada.....                                | 44 |
| 6.7. Desarrollo de la propuesta seleccionada .....                              | 47 |
| 6.8. Iluminación artificial .....   | 48 |
| 6.9. Eficiencia energética con el sistema de iluminación natural.....           | 50 |
| 7. ANÁLISIS ECONÓMICO .....   | 52 |

|        |                              |    |
|--------|------------------------------|----|
| 7.1.   | Presupuesto .....            | 52 |
| 7.2.   | Balance económico .....      | 54 |
| 7.2.1. | Iluminación artificial ..... | 56 |
| 7.2.2. | Iluminación mixta .....      | 64 |
| 7.2.3. | Análisis económico .....     | 77 |
| 8.     | CONCLUSIONES .....           | 79 |
| 9.     | BIBLIOGRAFÍA.....            | 80 |
|        | ANEXO 1 - LUMINARIA.....     | 81 |
|        | ANEXO 2 - PLANOS .....       | 83 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Niveles medios de iluminación difusa de la bóveda celeste. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial..... | 21 |
| Tabla 2. Número de puntos mínimo dependiendo del parámetro k. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.....       | 26 |
| Tabla 3. Niveles de iluminación interior. Fuente: Norma UNE-EN 12464.1 .....  | 27 |
| Tabla 4. Hipótesis previas del método analítico.....  | 28 |
| Tabla 5. Coeficientes de reflexión según los objetos empleados. ....  | 34 |
| Tabla 6.Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 1.....   | 37 |
| Tabla 7. Resultados gráficos (E) diferenciando las zonas para la propuesta 1.....   | 37 |
| Tabla 8. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 2.....  | 39 |
| Tabla 9.Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 2. ....  | 39 |
| Tabla 10. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 3.....   | 41 |
| Tabla 11. Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 3. ....  | 41 |
| Tabla 12. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 4.....   | 43 |
| Tabla 13. . Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 4. ....  | 43 |
| Tabla 14. Valores óptimos de los factores de iluminación para las propuestas. ....  | 44 |
| Tabla 15. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 1. ....  | 44 |
| Tabla 16. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 2. ....  | 45 |
| Tabla 17. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 3. ....  | 45 |
| Tabla 18. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 4. ....  | 45 |
| Tabla 19. Resumen de los valores óptimos de las 3 propuestas para el 10 de Diciembre a las 11:00 de la mañana.....  | 46 |
| Tabla 20.Resumen de los valores óptimos de las 3 propuestas para el 23 de Junio a las 12:00 del mediodía.....   | 46 |
| Tabla 21. Resultados obtenidos para cielo parcialmente nublado para la propuesta 3. ....  | 47 |
| Tabla 22. Resultados obtenidos para cielo parcialmente nublado para la propuesta 4. ....  | 47 |
| Tabla 23. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial. ....   | 49 |
| Tabla 24. VEEI 100% iluminación artificial.....   | 50 |
| Tabla 25. VEEI 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural. ....   | 50 |
| Tabla 26. VEEI 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural. ....   | 51 |
| Tabla 27. Cuadro precios descompuestos. ....  | 53 |
| Tabla 28. Cuadro de mediciones. ....  | 53 |
| Tabla 29. Cuadro del presupuesto parciales.....   | 54 |
| Tabla 30. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural.....  | 54 |
| Tabla 31. Potencias de la planta industrial. ....   | 55 |
| Tabla 32. Valores término de energía y término de potencia.....   | 56 |
| Tabla 33. Horas diarias trabajadas según la tarifa 6.1A.....  | 57 |
| Tabla 34. Término de potencia.....  | 58 |
| Tabla 35. Término de energía eléctrica.....   | 59 |
| Tabla 36.Impuesto sobre electricidad.....   | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 37. Cálculo del IVA. ....   | 61 |
| Tabla 38. Importe total factura eléctrica. ....   | 62 |
| Tabla 39. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 100% artificial. ....                               | 62 |
| Tabla 40. Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial. ....  | 63 |
| Tabla 41. Cuadro de precios parciales con iluminación 100% artificial. ....                                   | 63 |
| Tabla 42. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural con iluminación 100% artificial. .... | 63 |
| Tabla 43. Gasto anual en iluminación con iluminación 100% artificial. ....                                    | 63 |
| Tabla 44. Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de los lucernarios. ....                          | 64 |
| Tabla 45. Cuadro de mediciones del mantenimiento de los lucernarios. ....                                     | 64 |
| Tabla 46. Cuadro de precios parciales del mantenimiento de los lucernarios. ....                              | 64 |
| Tabla 47. Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios. ....   | 65 |
| Tabla 48. Potencias de la planta industrial con un 30% iluminación artificial. ....                           | 66 |
| Tabla 49. Término de potencia con un 30% iluminación artificial. ....   | 67 |
| Tabla 50. Término de energía eléctrica con un 30% iluminación artificial. ....                                | 67 |
| Tabla 51. Impuesto sobre electricidad con un 30% de iluminación artificial. ....                              | 68 |
| Tabla 52. Cálculo del IVA con un 30% de iluminación artificial. ....  | 69 |
| Tabla 53. Importe total factura eléctrica con un 30% de iluminación artificial. ....                          | 69 |
| Tabla 54. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 30% artificial. ....                                | 70 |
| Tabla 55. Cuadro de mediciones con iluminación 30% artificial. ....   | 70 |
| Tabla 56. Cuadro de precios parciales con iluminación 30% artificial. ....                                    | 70 |
| Tabla 57. Presupuesto del mantenimiento con iluminación 30% artificial. ....                                  | 71 |
| Tabla 58. Presupuesto del mantenimiento total por año con iluminación 30% artificial. ....                    | 71 |
| Tabla 59. Gasto anual en iluminación con iluminación 30% artificial. ....                                     | 71 |
| Tabla 60. Potencias de la planta industrial con un 20% iluminación artificial. ....                           | 72 |
| Tabla 61. Término de potencia con un 20% iluminación artificial. ....   | 73 |
| Tabla 62. Término de energía eléctrica con un 20% iluminación artificial. ....                                | 74 |
| Tabla 63. Impuesto sobre electricidad con un 20% de iluminación artificial. ....                              | 74 |
| Tabla 64. Cálculo del IVA con un 20% de iluminación artificial. ....  | 75 |
| Tabla 65. Importe total factura eléctrica con un 20% de iluminación artificial. ....                          | 76 |
| Tabla 66. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 20% artificial. ....                                | 76 |
| Tabla 67. Cuadro de mediciones con iluminación 20% artificial. ....   | 76 |
| Tabla 68. Cuadro de precios parciales con iluminación 20% artificial. ....                                    | 76 |
| Tabla 69. Presupuesto del mantenimiento con iluminación 20% artificial. ....                                  | 77 |
| Tabla 70. Presupuesto del mantenimiento total por año con iluminación 20% artificial. ....                    | 77 |
| Tabla 71. Gasto anual en iluminación con iluminación 20% artificial. ....                                     | 77 |
| Tabla 72. Tabla resumen del ahorro en el sistema de iluminación. ....   | 77 |
| Tabla 73. VAN y TIR. ....   | 78 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Áreas de competencia de los coordinadores de sanidad vegetal. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España. ....                                   | 9  |
| Figura 2. Diagramas de los procesos de producción.....  | 14 |
| Figura 3. Distribución en planta.....   | 15 |
| Figura 4. Tipo de cielos. Fuente: IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. .   | 18 |
| Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial. .... | 19 |
| Figura 6. Radiación directa y difusa. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial. ....  | 20 |
| Figura 7. Resultado prueba 1.....   | 30 |
| Figura 8. Resultado propuesta 2.....  | 31 |
| Figura 9. Resultado propuesta 3.....  | 32 |
| Figura 10. Resultado propuesta 4.....   | 33 |
| Figura 11. Diferenciación de zonas en la planta industrial. ....  | 35 |
| Figura 12. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.   | 36 |
| Figura 13. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.   | 36 |
| Figura 14. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de Junio. ....  | 36 |
| Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.   | 38 |
| Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.   | 38 |
| Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de Junio. ....  | 38 |
| Figura 18. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.   | 40 |
| Figura 19. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.   | 40 |
| Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de Junio. ....  | 40 |
| Figura 21. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.   | 42 |
| Figura 22. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.   | 42 |
| Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11:00h del día 23 de Junio. ....  | 42 |
| Figura 24. Tipos de luminarias. Fuente: CIE (Comisión Internacional de la Iluminación). ....  | 48 |
| Figura 25. Distribución de las luminarias para el empleo de iluminación artificial en la planta. ....   | 49 |
| Figura 26. Discriminación horaria. ....   | 56 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1. Principales categorías de fitosanitarios 2013. Fuente: Ministerio de Agricultura, Gobierno de España .....  | 7  |
| Gráfico 2. Comercialización de fitosanitarios en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España .....   | 8  |
| Gráfico 3. Certificados fitosanitarios emitidos por PIF en 2014. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España. ....                                   | 10 |
| Gráfico 4. Curva del factor característico de reducción ventana-muro. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial. .... | 24 |

## 1. OBJETIVOS

Los objetivos de dicho Trabajo Final de Grado son los siguientes:

- Diseñar un sistema pasivo de iluminación natural, en la edificación de una planta industrial del sector químico.
- Analizar el diseño basado en iluminación natural para una planta dedicada a la producción de fitosanitarios.
- Realizar un análisis de la eficiencia energética en iluminación para varios sistemas de iluminación mixta como es la natural y la artificial.
- Realizar un presupuesto acorde con el sistema de iluminación natural escogido.
- Ejecutar el modelo más adecuado para la planta de manera que sea energéticamente eficiente.
- Familiarizarse con la normativa vigente sobre sistemas de iluminación natural.
- Formarse en el uso del programa DIALux específico para el estudio de sistemas de iluminación natural y sistemas de iluminación artificial.

## 2. FITOSANITARIOS

La principal función de los fitosanitarios es la prevención de la actuación de insectos, ácaros, moluscos, roedores, hongos, malas hierbas, bacterias y otros seres vivos animales o vegetales perjudiciales para la salud pública y para la agricultura. Otra función a destacar sería la de fitorreguladores. El producto que contiene un fitorregulador regulará el crecimiento de las plantas estimulando o paralizando el desarrollo de las raíces y de las partes superiores de la planta.

Como se realizan fitosanitarios de todo tipo cabe distinguir primeramente entre los insecticidas y los herbicidas y dentro de ellos entre los líquidos y los sólidos. La mayor producción de la planta química escogida es de insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos y sólidos.

Los líquidos pueden ser en base agua o en base orgánica. Los líquidos en base agua están compuestos por una materia activa no disuelta que hay que molerla primeramente, una vez realizado este paso se añade el disolvente que es el agua y los tensoactivos necesarios para realizar la homogenización. En cuando a los compuestos en base orgánica se forman por la mezcla de la materia activa con la disolución orgánica pertinente, el disolvente necesario y los tensoactivos necesarios. Unas de las materias activas empleadas son los carbamatos, los organofosforados, los polisulfuros de calcio, los fosfuros de aluminio, los cobres, los azufres y los clorpirifos, entre otros.

En cuanto a los compuestos sólidos pueden distinguirse la línea de no micronizados o de micronizados. Ambas pasan por una mezcladora rotativa de palas introduciendo los componentes con un orden específico. La diferencia es que los sólidos micronizados tienen que pasar anteriormente por una molienda y después de la mezcladora de palas por una segunda mezcladora, un molino jet y una tercera mezcladora asegurando así la micronización del producto. Sin embargo, los sólidos no micronizados después de la mezcladora de palas pasan por una segunda mezcladora simplemente acabando aquí el recorrido de la producción.

En este caso, hay que saber distinguir entre los diversos tipos de fitosanitarios que se fabrican en la planta como podían ser los gránulos dispersables en agua (WG), los polvos humectables (WP) o las suspensiones concentradas (SC).

Los **gránulos dispersables en agua** (WG) están incorporados con los dispersantes y otros componentes de la formulación en forma similar a un polvo mojable, pero la presentación es en forma de gránulos que se mezclan con el agua. Poseen alto contenido de materia activa. El tamaño de las partículas es muy pequeño y es fácil de dosificar por volumen o peso.

Los **polvos humectables** (WP) forman con el agua un sistema heterogéneo de dos fases, separables por medios mecánicos o reposo. Son partículas finamente divididas que llevan absorbida la materia activa, generalmente insoluble en agua, y pueden mojarse.

Las **suspensiones concentradas** (SC) son utilizadas cuando la materia activa es insoluble en agua y en solventes orgánicos. Es una suspensión preformada de un producto sólido en un líquido. El sistema consta de dos fases, la dispersa (sólido) y la dispersante (líquido).

### 3. SECTOR DE FITOSANITARIOS

#### 3.1. Contexto económico de los fitosanitarios en España

La Estadística sobre Comercialización de productos fitosanitarios recoge las cuantías de sustancias activas, por categoría de productos y clasificación química, abarcados en los productos fitosanitarios distribuidos en nuestro país.

Los fungicidas inorgánicos son los fitosanitarios más demandados dado que representan el 83,1% del total de fungicidas y bactericidas y el 37,6% del total de sustancias activas comercializadas.

Por el contrario, los molusquicidas y reguladores del crecimiento representan entre un 0,5% y un 1%. Provocando que ciertas industrias de fitosanitarios no pongan medidas para la fabricación de estos ya que la obtención de beneficios es menor.

A continuación, se puede observar los principales grupos de fitosanitarios destacados en España.

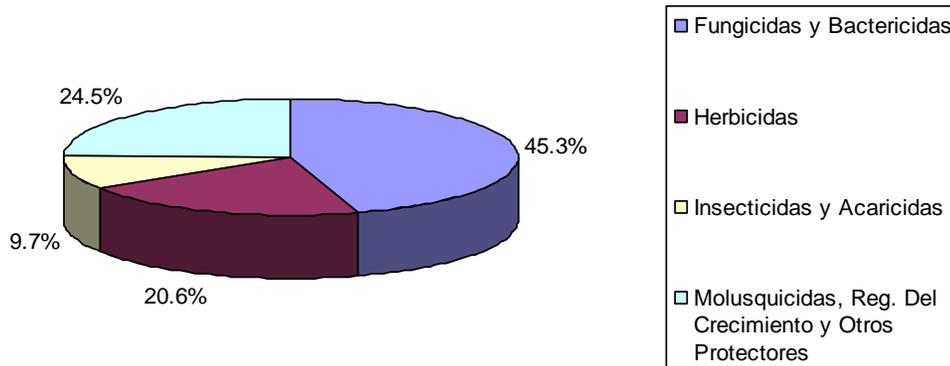
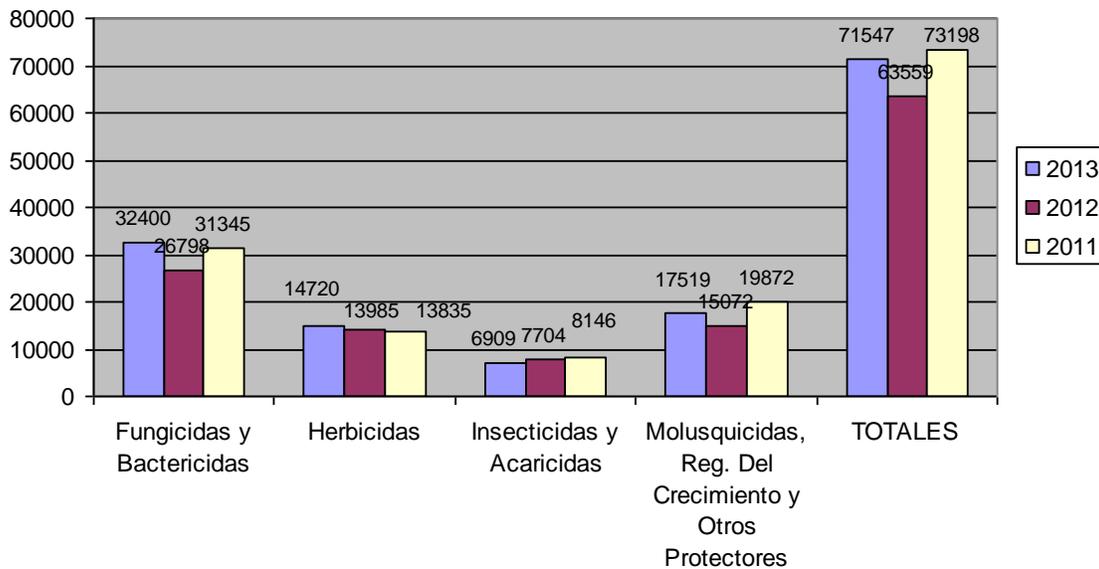


Gráfico 1. Principales categorías de fitosanitarios 2013. Fuente: Ministerio de Agricultura, Gobierno de España

En la siguiente figura se puede percibir la comparativa de varios años con las toneladas de fitosanitarios comercializados en España.

**COMPARATIVA 2013,2012 Y 2011 (expresado en toneladas)**

**Gráfico 2. Comercialización de fitosanitarios en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España**

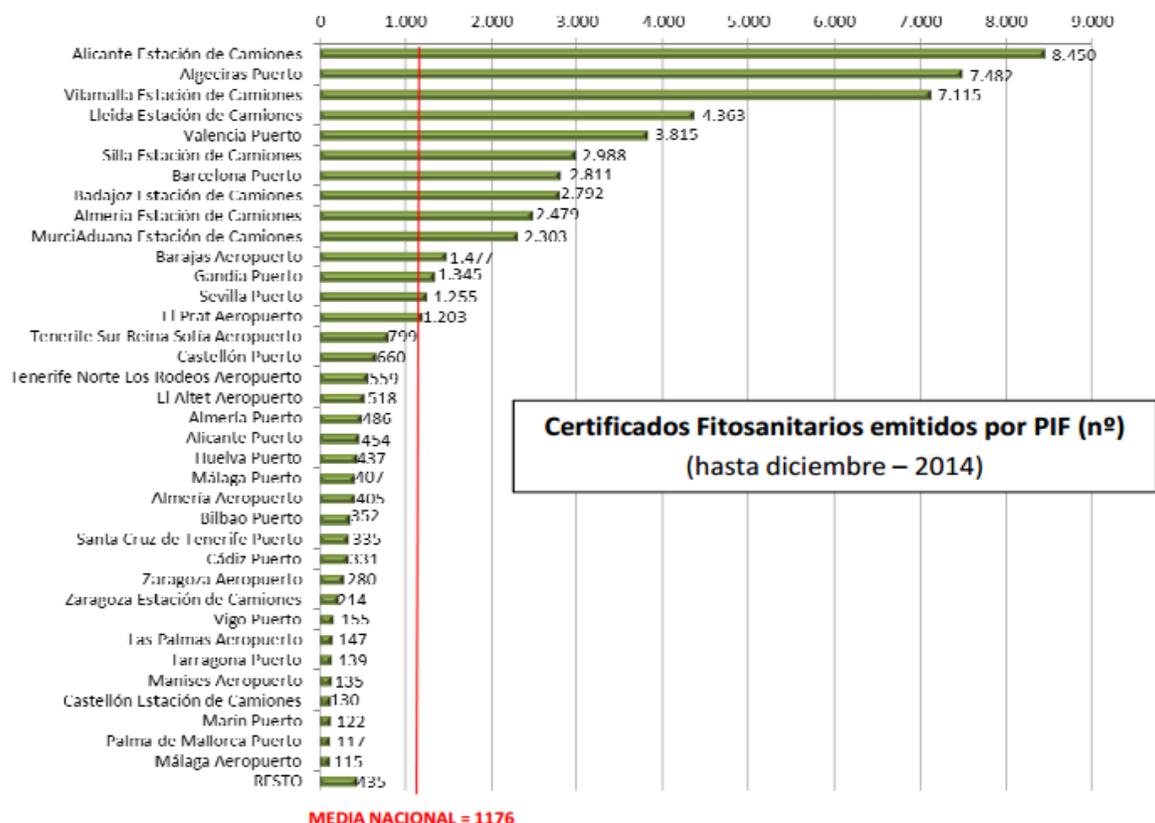
Como ya se ha indicado anteriormente, los fitosanitarios y los alimentos vegetales van unidos. Esto es debido, a que el comercio exterior de España con terceros países para vegetales, productos vegetales u otros objetos, están sometidos a requisitos fitosanitarios no debiendo exceder ciertas cantidades de las materias activas. Esto se debe cumplir tanto para la introducción del producto en la Unión Europea como para los productos españoles exportados a terceros países.

Por ello, hay que realizar unos controles de alimentos que se llevan a cabo en los puntos de inspección fronteriza (PIF) de sanidad vegetal, indicando si la manera de entrada de los productos es por medio de puerto o de aeropuerto.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios



Figura 1. Áreas de competencia de los coordinadores de sanidad vegetal. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.



**Gráfico 3. Certificados fitosanitarios emitidos por PIF en 2014. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.**

En este gráfico se observa los certificados fitosanitarios emitidos en todo el 2014. En él se puede observar cómo las ciudades que poseen puertos son las que han generado más de estos certificados. Esto es debido a que una de las principales entradas y salidas de mercancía es mediante la vía marítima, seguida de las carreteras. Las ciudades principales que realizan importaciones y exportaciones de fitosanitarios son: Alicante, Algeciras, Vilamalla, Lleida y Valencia.

## **4. PLANTA DE FABRICACIÓN DE FITOSANITARIOS**

A continuación se explicará el proceso productivo y distribución en planta de una producción de fitosanitarios, tanto insecticidas líquidos como sólidos y herbicidas. Poseyendo dicha planta una media de producción anual de 15000 toneladas.

### **4.1. Proceso productivo**

En el proceso de industrialización se pueden observar diversas zonas diferenciadas donde se realiza un proceso productivo concreto, al igual que cualquier otra empresa de producción de fitosanitarios.

#### **- Recepción de la materia prima**

Diariamente se realiza la descarga de materia prima que conservan los camiones en su interior. Dicha descarga se realiza con la ayuda de carretillas elevadoras eléctricas o retráctiles para facilitar la descarga. Posteriormente, se almacena en la nave de almacenamiento de materias primas, en su zona correspondiente. Dichas materias primas pueden ser desde materias activas, tensoactivos, disolventes y productos químicos de limpieza hasta recipientes de envasado. Las que se tratan de materias activas pasarán por un proceso de certificado de calidad para comprobar que el producto recibido cumple con las condiciones exigidas.

#### **- Preparación de los líquidos herbicidas en base agua**

Los líquidos herbicidas en base agua se producen primeramente introduciendo en el tanque de formulación el agua y la materia activa, en agitación continua. Una vez transcurridos los tiempos delimitados y se halle homogeneizada la mezcla, se introduce el emulgente, continuando la agitación hasta homogeneización completa.

#### **- Preparación de los líquidos herbicidas en base orgánica**

En cuanto a la preparación de los líquidos herbicidas en base orgánica, se incorpora en el tanque de formulación el disolvente orgánico y la materia activa, en agitación continua. Una vez transcurridos los tiempos delimitados y se encuentre homogeneizada la mezcla, se introducen los emulgentes, continuando la agitación hasta homogeneización completa de igual manera que en los líquidos herbicidas en base agua.

- Preparación de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas sólidos

El proceso de fabricación de sólidos es algo más complejo ya que depende de dos tipos de líneas las cuales son:

- Línea de No Micronizados: Se trata de una línea de mezcla de componentes. A través de una boca de carga se introducen los distintos componentes de la formulación, que van a una primera mezcladora rotativa de palas. El orden de introducción de componentes es, generalmente, inertes, materia activa, mojante y dispersante. Una vez concluido el tiempo de mezcla se pasa a una segunda mezcladora y de ahí a la tolva de envasado.
- Línea de Micronizados: Se trata de una línea con molienda por micronización con aire comprimido. A través de una boca de carga se introducen los distintos componentes de la formulación, que van a una primera mezcladora rotativa de palas. El orden de introducción de componentes es, de la misma manera que el caso anterior. Una vez concluido el tiempo de mezcla se pasa a una segunda mezcladora y de ahí se traspa al molino jet, produciéndose la micronización de la mezcla. El producto micronizado se deposita en una tercera mezcladora, que tras homogeneización descarga a la tolva de envasado.

- Preparación de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos en base agua

Los líquidos en base agua poseen una materia activa sólida que habrá que molerla primeramente en el molino jet. Cuando se ha ejecutado dicho proceso se añade el agua y los tensoactivos necesarios para la realización de un producto homogéneo pero siempre introduciéndolos con un orden lógico. Una vez transcurrido el tiempo de homogenización en los tanques de reposo se produce el envasado y etiquetado.

- Preparación de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos en base orgánica

En cuando a los compuestos en base orgánica se forman por la mezcla de la materia activa con la disolución orgánica pertinente, el disolvente necesario y los tensoactivos necesarios. Siempre en el orden en el que se ha nombrado. Cuando transcurre el tiempo de homogenización se realizan las funciones de envasado y etiquetado del producto final.

Como se ha observado anteriormente, cada modalidad de fitosanitario tiene un proceso de producción diferente por ello, se mostrará un diagrama de bloques del sistema productivo. El diagrama constará de las preparaciones de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos en base agua y en base orgánica, ya que son los introducidos en la sección de planta a estudiar.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

- Análisis de control de calidad

Una vez terminados los procesos de preparación de los productos pertinentes se realizará un análisis de control de calidad. Esto se ejecuta para comprobar que todos los productos obtenidos cumplen las especificaciones que se querían lograr y que no haya tenido ningún percance mientras se realizaba la preparación del producto final.

- Proceso de envasado, etiquetado y embalaje

Cuando el producto final se encuentra acabado perfectamente, se procede a la realización del envasado. Se hace uso de un grifo situado en los tanques para que exista mayor facilidad de manejo del producto y dependiendo del tipo de producto que se haya obtenido, su material de envasado será uno u otro pudiendo ser desde botellas de plástico hasta sacos de papel.

Una vez envasado se le aplicará la etiqueta correspondiente al producto y se embalará en pallets de madera uniendo varios envasados de producto hasta no formar más de un metro y medio de altura.

A continuación, se observará el diagrama de bloques de los dos procesos de producción realizados en la sección de planta que se va a estudiar.

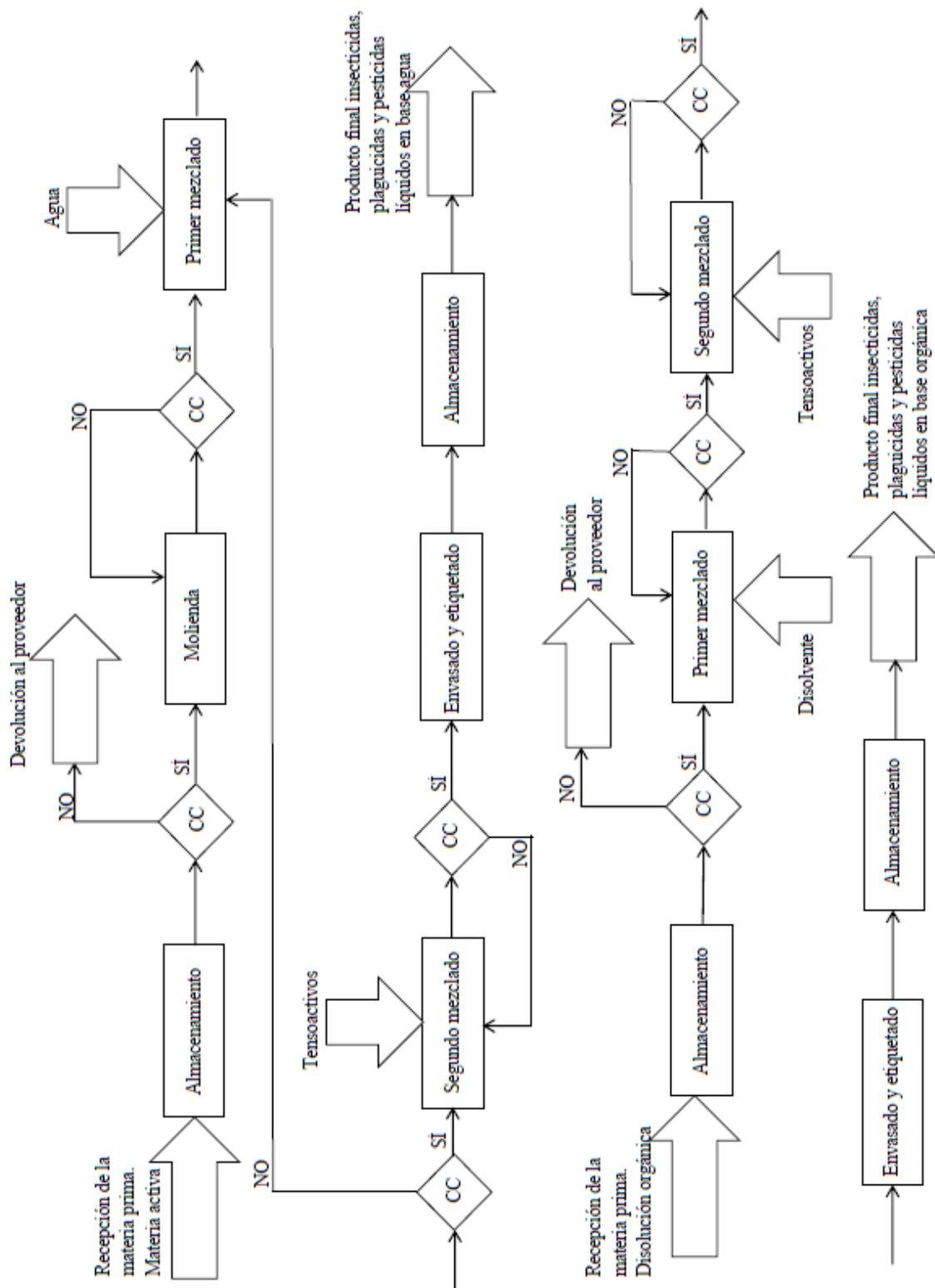


Figura 2. Diagramas de los procesos de producción

#### 4.2. Distribución en planta

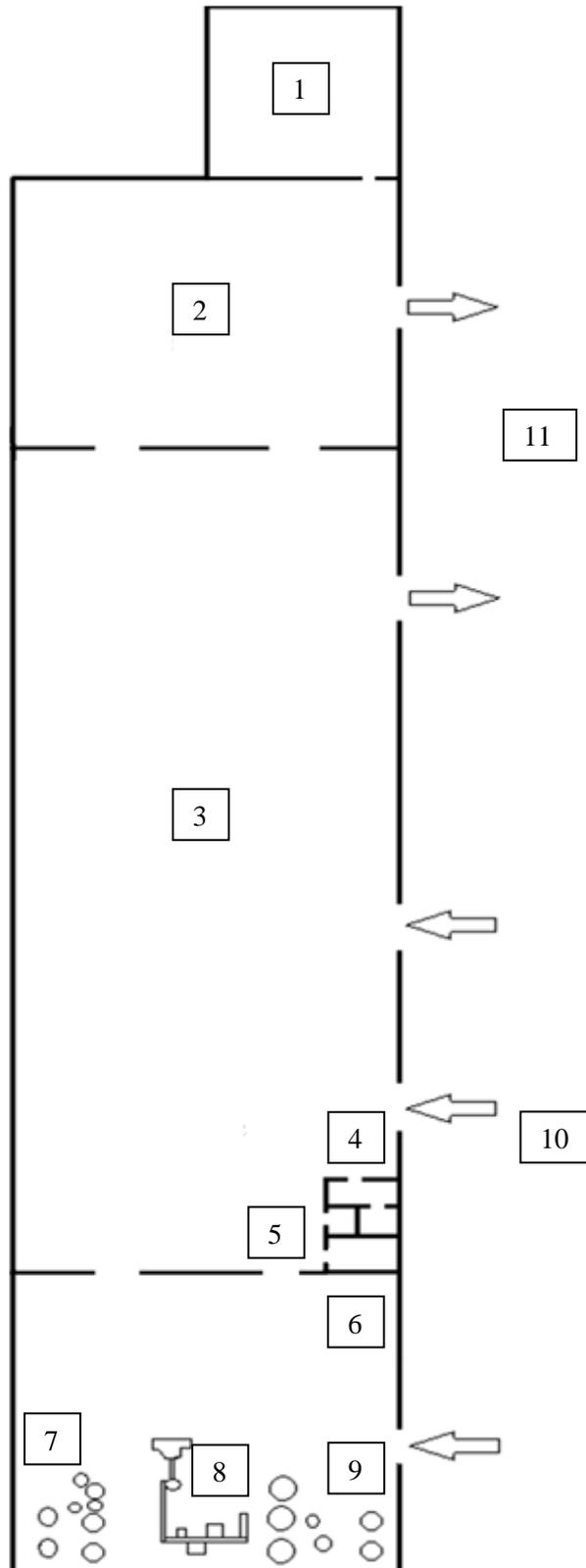


Figura 3. Distribución en planta

La zona seleccionada para realizar el estudio son 8000 m<sup>2</sup> pertenecientes a una planta industrial de fitosanitarios de gran volumen. Donde se encuentra la distribución en planta mostrada en la Figura 3. Se pueden observar las dimensiones específicas en el Anexo 2.

En cuanto a las zonas diferenciadas en el plano son las siguientes:

1. Zona de almacenamiento de residuos
2. Zona de almacenamiento del producto final
3. Zona de almacenamiento de las materias primas
4. Oficinas
5. Vestuarios y aseos
6. Zona de almacenamiento de envases
7. Zona de producción de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos en base agua
8. Zona de envasado, etiquetado y empaquetado
9. Zona de producción de los insecticidas, plaguicidas y pesticidas líquidos en base orgánica
10. Zona de descarga de las materias primas, envasado y embalaje
11. Zona de carga del producto final acabado

Además de la zona seleccionada existen otras naves adosadas en la planta industrial cuyo destino son de almacén de carretillas elevadoras, laboratorio, oficinas, producto final acabado y taller.

En cuanto a la estructura de la nave seleccionada cabe destacar:

- Se trata de una construcción con la tipología de naves gemelas a base de pórticos a dos aguas con una luz total de 40 metros y una separación de crujías de 5 metros.
- La altura de pilares de la nave es de 8 metros y la altura de cumbrera es de 9 metros.
- Carece de sistema de iluminación natural, por lo que habrá que realizar un nuevo sistema de iluminación.

## 5. ILUMINACIÓN

La correcta iluminación es de gran importancia en el ámbito laboral para optimizar el consumo de energía, el rendimiento de los trabajadores y una disminución del cansancio de estos mismos. Un correcto sistema de iluminación aumentará también la seguridad en los trabajadores al realizar sus funciones dentro de la planta disminuyendo así los posibles accidentes laborales.

La iluminación debe permitir desarrollar funciones de trabajo sin riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores de la planta. Cada tipo de actividad precisa de unos niveles medios de iluminación dependiendo de factores como la distancia del ojo a los objetos con los que se trabaja, el tamaño y movilidad de éstos, etc. Por tanto, los niveles de luz deben de ser los adecuados según las zonas limitadas por la función que se desempeñe dentro de cada área.

En numerosos países europeos han sido aceptados cuatro niveles de iluminación que corresponden a las categorías de las actividades recomendadas por la DIN 5035, OGSHT, RD486/1997 o en el Código Técnico de la Edificación. En cambio, la norma UNE 12464.1 “Norma europea sobre iluminación para interiores” será la más adecuada y específica tanto para oficinas como para actividades industriales.

### 5.1. Tipos de iluminación

Se puede diferenciar diversos tipos de iluminación cuando se trata del origen del que provengan, estos tipos son:

- **Iluminación artificial:** es la que proviene de fuentes de energía que se transforma en iluminación con la aplicación de luminarias.
- **Iluminación natural:** es aquella que procede del sol y que puede introducirse en la industria con la aplicación de aberturas o de superficies reflectantes para poder captar la toda la luz del sol emitida.
- **Iluminación mixta:** sistema de iluminación en el que se combinan las dos anteriores iluminaciones.

No obstante, otro modelo de diferenciación de la iluminación depende de la zona a iluminar como se puede observar a continuación:

- **General:** es la iluminación que se encuentra repartida de manera uniforme por toda la superficie de la planta.
- **Localizada:** cuando la emisión de luz se encuentra orientada a una zona concreta que requiere posiblemente mayor iluminación por la complejidad del trabajo a realizar. Se emplea para incidir con más iluminación en zonas donde no hay suficiente iluminación general.

## 5.2. Sistemas de iluminación natural

En cualquier actividad humana, en la que se realice una labor de trabajo, ésta se debe ejercer, siempre que sea posible, con luz natural procedente del sol. Sólo cuando este alumbrado resulta insuficiente, o no puede utilizarse en razón de las exigencias de las normativas de producción del sistema productivo, debe recurrirse al alumbrado artificial.

Algunas de las características propias de la luz natural que se deben de tener en cuenta en los alumbrados de interiores son:

- Los diferentes tipos de distribución de iluminación en el cielo, pueden ser desde cielos uniformes o completamente azules hasta cielos cubiertos de nubes.



**Figura 4. Tipo de cielos. Fuente: IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.**

- La distribución de la luz natural en el interior de la sala para comprobar la aparición de zonas no iluminadas.

El empleo de la iluminación natural se vuelve una labor con dificultades por diversos motivos: uno de ellos, es la iluminación solar la cual puede ser perjudicial para el empleado si recae en los puestos de trabajo de manera directa. Otro factor es la intensidad ya que varía según el transcurso del día y entre los días de sol intenso y los días nublados, al igual que también existe variación dependiendo de la estación del año en la que nos encontremos.

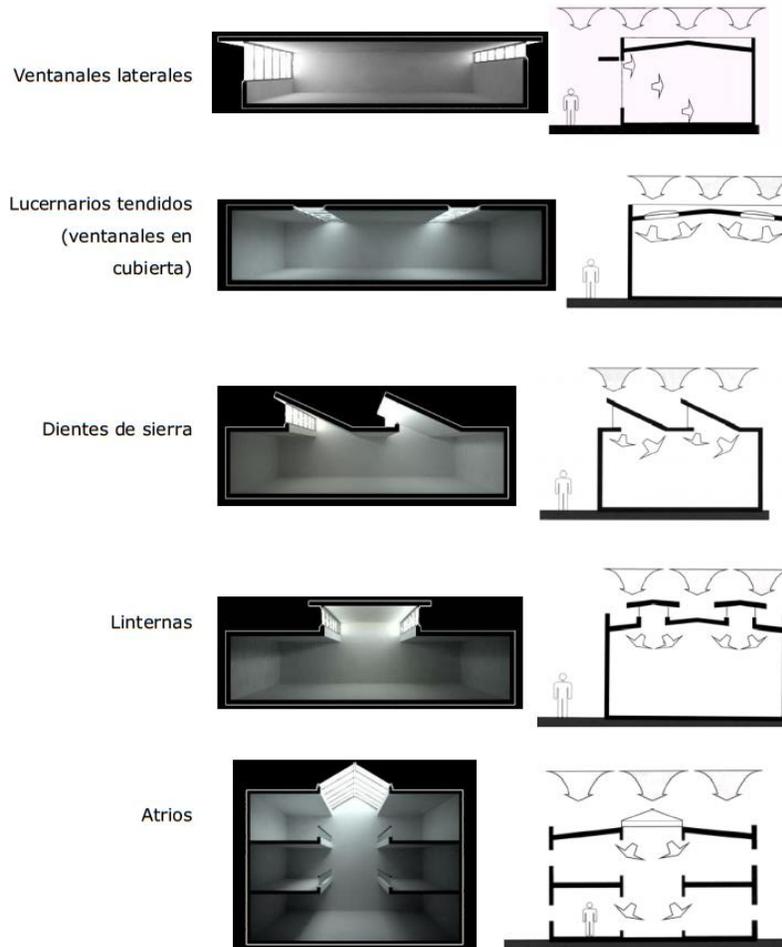
Uno de los motivos de dificultad nombrados es el de los niveles máximos tolerables. Éste es causado por las diferencias demasiado elevadas de la iluminación en el campo visual del empleado. Por ello, se tiene que tener en cuenta a la hora de crear el puesto de trabajo o de crear los tragaluces o ventanales.

La iluminación que recibe un puesto de trabajo debe de tener con respecto a la horizontal un ángulo superior a 30°. Será conveniente tener en cuenta dicha recomendación para evitar deslumbramientos y que no se ocasionen malestares en los empleados.

## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Además, al pretender plasmar un aprovechamiento máximo de la iluminación natural se debe tener en cuenta la forma y volumen del edificio, al igual, que los cerramientos y cobertura de éstos los cuales se ven influidos por la distribución de las superficies acristaladas.

Dependiendo de la ubicación de los ventanales, éstos permitirán una entrada de luz natural de manera lateral, cenital o combinada. Asimismo, todos los sistemas de iluminación natural pueden ser clasificados en cinco principales tipos los cuales se muestran en la Figura que viene a continuación:



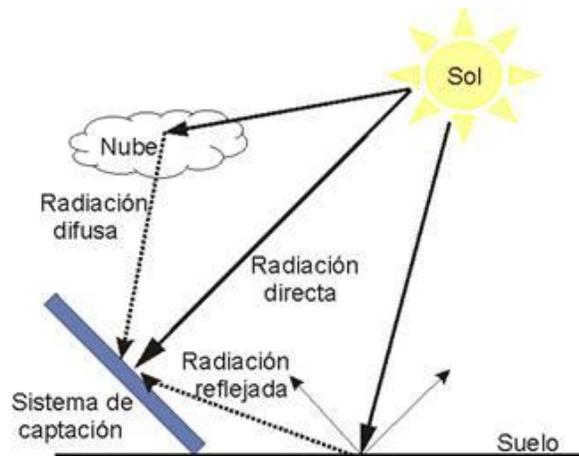
**Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.**

Otro sistema de iluminación sería mediante la aplicación de claraboyas o tubos de luz. Las primeras se pueden disponer en cubiertas de pendientes no superiores al 10%, y las segundas poseen la ventaja que no tienen por qué estar situados justo bajo el techo.

### 5.3. Fundamentos de iluminación natural

La iluminación natural se manifiesta de tres maneras distintas:

- Radiación directa: es la que proviene directamente de la bóveda celeste. Esta radiación es variable a lo largo del año como consecuencia de la posición del sol respecto al punto o plano considerado.
- Radiación difusa: aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma.
- Radiación reflejada: es la reflejada por una superficie. Dicha cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie en la que se reflejen los rayos solares.



**Figura 6. Radiación directa y difusa. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.**

La iluminación en los espacios abiertos experimenta variaciones constantemente, debido a tres factores:

- El movimiento de traslación de la tierra que provoca que ésta se encuentre en diferentes posiciones respecto al sol a lo largo del año.
- El movimiento de rotación de la tierra, que ocasiona la sucesión del día y la noche.
- Los cambios meteorológicos que son la causa de las variaciones de iluminación (caso de nubes interponiéndose en la trayectoria de los rayos solares).

Se realiza una distinción entre el nivel de iluminación exterior ( $E_a$ ), los niveles de iluminación horizontal interior ( $E_i$ ) y el nivel de iluminación media horizontal interior ( $E_m$ ).

## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Los niveles de iluminación exterior son los niveles de iluminación difusa de la bóveda celeste. En la siguiente tabla se pueden observar algunos de estos niveles, ya que, dependen de la localización geográfica.

| <b>Ciudad</b> | <b>Latitud</b> | <b>Intensidad Solar (lux)</b> |
|---------------|----------------|-------------------------------|
| Alicante      | 37             | 9.650                         |
| Barcelona     | 42             | 8.000                         |
| Bilbao        | 43             | 7.800                         |
| Bremen        | 53             | 4.300                         |
| Burdeos       | 45             | 7.200                         |
| Cádiz         | 36             | 10.000                        |
| Canarias      | 29             | 12.400                        |
| Casablanca    | 33             | 11.000                        |
| Copenhage     | 56             | 3.450                         |
| Estocolmo     | 59             | 2.650                         |
| Frankfurt     | 50             | 5.400                         |
| Goteborg      | 58             | 2.900                         |
| Helsinki      | 60             | 2.450                         |
| Lisboa        | 38             | 9.350                         |
| Londres       | 52             | 4.600                         |
| Lyon          | 46             | 6.800                         |
| Madrid        | 41             | 8.450                         |
| Paris         | 49             | 5.750                         |
| Viena         | 48             | 6.100                         |
| Zurich        | 47             | 6.450                         |

Tabla 1. Niveles medios de iluminación difusa de la bóveda celeste. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.

### 5.4. Requerimientos de la planta

Para la realización del estudio del sistema de iluminación natural, primeramente se determinaran los parámetros que se pretenden alcanzar mediante el sistema que se vaya a instalar. Después, se analizará la viabilidad de los siguientes puntos:

- Valor medio de iluminación en el plano de trabajo:

Teniendo en cuenta la planta industrial se buscarán los valores más adecuados para las zonas de ésta en la norma UNE-EN 12464.1 (Norma Europea sobre Iluminación para interiores).

En este caso se consideran unos 9.000 luxes dado que la localización de la planta se encuentra en el municipio de Cheste, cerca de Valencia donde los niveles de iluminación considerados son 8.553,7 luxes.

En cuanto a los niveles de iluminación horizontal interior se tratan de la iluminación en un punto concreto en una superficie ubicada en el plano de trabajo.

Luego se halla el nivel de iluminación media horizontal interior el cual corresponde a la media de las iluminaciones de las distintas zonas de la planta dependiendo de la superficie que ocupa cada una de éstas.

$$E_m = \frac{\sum_i E_{inti} \cdot S_i}{S_T} \quad (1)$$

Dónde:

i: zona

$E_m$ : Nivel medio de iluminación interior (lux).

$E_{inti}$ : Nivel de iluminación interior (lux).

$S_i$ : Superficie ( $m^2$ ).

$S_T$ : Superficie total de la planta que se va a estudiar ( $m^2$ ).

- Uniformidad global de la iluminación:

Siempre tiene que existir una uniformidad global en la planta en cuanto a distribución de los niveles de iluminación, es decir, se intentará mantener los niveles y contrastes de iluminación adecuados a las exigencias visuales de las tareas que se vayan a realizar en las zonas pertinentes.

Se trata de la relación del valor máximo de iluminación con el mínimo de ésta, en un puesto de trabajo con el objetivo de evitar grandes contrastes de luz entre zonas.

- Deslumbramientos:

Se deben evitar tanto los deslumbramientos directos, producidos por la luz solar o fuentes de luz artificial de alta luminancia, como los deslumbramientos indirectos que son los producidos por superficies reflectantes situados cerca de la zona de operación.

Por ejemplo, con ventanales elevados se iluminan mejor los locales profundos y la luz llega a los puntos más alejados con ángulos de incidencia mayores a  $30^\circ$ . En cambio, los ventanales colocados en la horizontal de nuestra visión provocan sombras alargadas y deslumbramientos.

## 5.5. Métodos de cálculo

### 5.5.1. Método analítico

Este método determina la superficie de ventanas que es necesario disponer de manera aproximada y para poder acercarnos a la solución más cercana con más rapidez.

Para ello, es necesario disponer de ciertos parámetros como son: el nivel de iluminación exterior y el nivel medio de iluminación interior en el plano de trabajo.

El método analítico se basa en otro método conocido como el método del rendimiento del Dr. Fruhling, con el cual se fundamentó la norma alemana DIN 5034 de iluminación natural de recintos. Dicho método sufre unas pequeñas modificaciones para poder adaptarlo a las características propias de las edificaciones industriales.

Atendiendo a la ecuación 2 se despejará el valor de la superficie de aberturas dado que es la incógnita que se quiere resolver.

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

Dónde:

$E_m$ : Nivel medio de iluminación interior (lux).

$E_a$ : Nivel de iluminación exterior (lux).

$f$ : Factor de ventanas.

$f'$ : Factor característico de reducción ventana-muro.

$\eta$ : Rendimiento del recinto.

$S_v$ : Superficie de ventanas ( $m^2$ ).

$S_s$ : Superficie de suelo del recinto ( $m^2$ ).

Por tanto, al despejar dicha ecuación, la superficie de ventanales se queda como se muestra en la ecuación 3.

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_s}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} \quad (3)$$

- La **superficie de ventanas ( $S_v$ )** es la incógnita a saber para poder comenzar a trabajar con un valor aproximado de superficie de lucernarios que necesitaría la planta industrial.

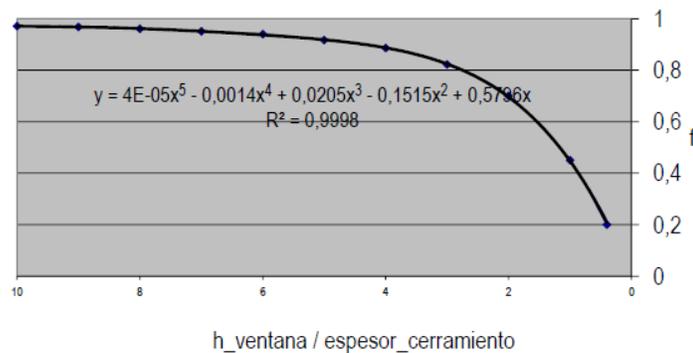
- El **nivel de iluminación horizontal interior ( $E_m$ )** se calcula con la ayuda de la norma UNE-EN 12464.1 y con la realización del cálculo de la ecuación 1.
- La **superficie de suelo del recinto ( $S_s$ )** corresponde a la superficie de la zona que se quiere iluminar. En este caso serán las zonas de producción y almacenamiento dado que las oficinas y aseos se encuentran en un módulo el cual posee su propia iluminación. Esta superficie entonces será de 7.600 m<sup>2</sup>.
- El **factor de ventanas ( $f$ )** es un parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana en función de la disposición de ésta en la edificación. En el caso de que la entrada de luz a la ventana está impedida por posibles edificaciones fronterizas, el factor de ventanas adoptará valores menores al 50%. Esto es debido a que la existencia de edificaciones que dificulten el acceso de luz ya no se consideraría media bóveda celeste la que influiría. Dicho factor se puede determinar a través de la siguiente expresión:

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad (4)$$

En dicho caso la cubierta de la nave posee 6° de inclinación, así que:  $\alpha = 6^\circ$

- El **factor característico de reducción ventana-muro ( $f'$ )** se trata del parámetro que tiene en cuenta la posible reducción del paso de la radiación solar como consecuencia del espesor del cerramiento de fachada. Dicho factor será menor cuanto menor sea la relación existente entre la altura y longitud de las aberturas y el grosor del cerramiento.

Para poder escoger el valor adecuado de factor característico de reducción ventana-muro se observará el siguiente gráfico.



**Gráfico 4. Curva del factor característico de reducción ventana-muro. Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.**

Como la relación altura de ventana / espesor del cerramiento será un valor muy elevado se emplea un valor de 1 para dicho factor.

## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

- El **rendimiento del recinto ( $\eta$ )** tiene en cuenta el hecho de que solamente una parte del flujo luminoso que entra por la ventana cae sobre el plano de trabajo. El resto de los rayos de luz inciden sobre otras superficies, que éstas a su vez, reflejan sobre el plano de trabajo. Los rendimientos que se consideran aconsejables emplear son entre 40% y 50 % para recintos de paredes claras. De tal manera, que para la realización del cálculo se aplicará un 45% o un 50%.

Una vez obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo aproximado de lucernarios emplearemos la ecuación 3 nombrada anteriormente.

### 5.5.2. Eficiencia energética en iluminación

Para obtener una verificación correcta del sistema se deberá realizar el siguiente proceso de verificación:

Primeramente es preciso calcular el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) en la nave y se efectuará la comprobación de que no supere el valor límite asignado. A continuación, se realiza una comprobación para corroborar la existencia de un sistema de control y regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural. Y como último paso, se verifica la existencia de un plan de mantenimiento.

Para determinar el valor de la eficiencia energética de la instalación por cada 100 lux se realizará por medio de la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (5)$$

Dónde:

P: potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W).

S: Superficie iluminada (m<sup>2</sup>).

E<sub>m</sub>: Iluminancia media mantenida (lux).

El número de puntos mínimos a considerar en el cálculo de la iluminancia media ( $E_m$ ) dependerá del valor del parámetro  $k$  que será:

| <b>Puntos mínimos</b> | <b>Parámetro <math>k</math></b> |
|-----------------------|---------------------------------|
| 4                     | $k < 1$                         |
| 9                     | $2 > k \geq 1$                  |
| 16                    | $3 > k \geq 2$                  |
| 25                    | $k \geq 3$                      |

**Tabla 2. Número de puntos mínimo dependiendo del parámetro  $k$ . Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial.**

Y para poder realizar el cálculo y averiguar el valor del parámetro  $k$  se tendrá en cuenta la siguiente ecuación:

$$k = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)} \quad (6)$$

Dónde:

L: longitud del local (m).

A: Anchura del local (m).

H: Distancia del plano de trabajo a las luminarias (m).

A pesar de los datos obtenidos, se puede decir que el programa informático del DIALux habitualmente tomará un número de puntos más elevado que el mínimo que marca la norma.

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

### 6.1. Introducción

Primeramente, deberemos de obtener unos datos imprescindibles antes de realizar el diseño del sistema de iluminación natural. Estos datos son el conocimiento exacto de la situación de la planta industrial ya que será un dato a introducir en el programa informático dado que dependiendo de las coordenadas que se le indique los niveles de la luz solar pueden variar. En este caso, la planta industrial de fitosanitarios se encuentra situada en Cheste lo que posee unas coordenadas de 39,3° Norte y 0,4° Oeste.

### 6.2. Establecimiento de los requerimientos de la planta

El valor medio de la iluminación requerido para cada zona ( $E_m$ ) de la planta se ha impuesto por la norma UNE-EN 12464.1 como se había nombrado anteriormente. Se han extraído los datos de las zonas incluidas en la nave industrial para los cálculos. Se pueden observar en la siguiente tabla:

| <b>Zona</b>   | <b>Nivel de iluminación interior (lux)</b> |
|---|--|
| Almacenamiento                                      | 120  |
| Producción  | 150  |
| Escaleras, cintas transportadoras y tramos de carga | 150  |
| Pasillos y áreas de circulación                     | 120  |

**Tabla 3. Niveles de iluminación interior. Fuente: Norma UNE-EN 12464.1**

Dado que los niveles de iluminación para la zona de producción y para la zona de cintas transportadoras y tramos de carga es la misma, a partir de este instante se unirán formando una zona dado que se encuentran ambas situadas en el plano una al lado de la otra.

A partir de los datos observados en la tabla 3, se calcula el nivel de iluminación media horizontal interior, que corresponde a la media de las iluminaciones de las distintas zonas de la planta, dependiendo de la superficie que ocupa cada una de éstas (ecuación 1).

Aplicando los valores de cálculo, se obtiene un nivel de iluminación medio ( $E_m$ ) para la planta de 121,58 lux. Este valor es el que se querrá alcanzar al realizar las simulaciones en el programa de DIALux y una vez se cumpliera el alcance del valor, se observaría con más detenimiento los valores de iluminación interior logrados en cada zona de la planta.

### 6.3. Estimación de superficie teórica de aberturas

El cálculo para la estimación de la superficie de aberturas se realizará mediante los cálculos de las ecuaciones 2 y 3 citadas anteriormente. Para ello, se expondrán en la siguiente tabla los parámetros necesarios para la realización de los cálculos.

| Parámetro            | Hipótesis |
|----------------------|-----------|
| Em (lux)             | 121,58    |
| Ea (lux)             | 9.000     |
| Alfa (°)             | 6         |
| f                    | 0,9667    |
| f <sup>2</sup>       | 1         |
| η                    | 0,45      |
| Ss (m <sup>2</sup> ) | 7.600     |

Tabla 4. Hipótesis previas del método analítico.

Aplicando las ecuaciones pertinentes explicadas anteriormente en el punto 5.5.1. del método analítico se calcula el valor de la superficie obteniendo así:  $S_v = 236 \text{ m}^2$ .

Este valor será el valor mínimo de superficie de aberturas que se tendrán que realizar en la planta para poder llegar a los niveles de iluminación deseados. Aun así, es muy probable que siguiendo las indicaciones del método analítico en cuanto a dimensiones de las aberturas no se adquieran los niveles de iluminación interior. Esto es debido, a que dicho cálculo es aproximado y tiene la función de hacer una idea a la persona que va a realizar el diseño de aberturas por donde comenzar.

### 6.4. Presentación de las propuestas

La presentación de las propuestas se realizará mediante la simulación en el programa DIALux, para ello será necesaria la previa introducción de datos como son las coordenadas de la localización de la planta y las dimensiones de ésta. A continuación, se introducirán los objetos pertinentes que puedan provocar reflexión en ellos o, simplemente, que puedan encontrarse dentro de la planta siendo de especial interés como paredes de separación, columnas, etc.

Una vez incorporados los datos en el software de la planta modelo se deberán establecer unas hipótesis como son las fechas y horas.

Primeramente, se debe tener en cuenta que dependiendo de la época del año la iluminación natural que puede captar la planta será distinta, esto es debido a que en la estación del invierno las horas de luz son considerablemente menores que las horas de luz que existen en verano. Por ello,

## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

habrá que realizar un aprovechamiento máximo para que el consumo de energía eléctrica no sea excesivo. Para escoger unas fechas representativas se van a tomar los extremos opuestos que representan fielmente la iluminación sea cual sea la época del año. Por ello, se elegirán dos fechas completamente opuestas como son: la de menos horas de luz, siendo el 10 de Diciembre del 2014 y la de más horas de luz siendo el 23 de Junio del 2014.

En cuanto a las horas que se escogerán para la realización de las simulaciones serán las 11:00h y las 12:00h de la mañana para el día que posee escasez en horas de luz, dado que serán las horas en las que la planta industrial podrá prescindir de la luz artificial. Y las 12:00h de la mañana para el día que posee más horas de luz. Esta última imposición se corresponde a que es la hora y el día del año que existe más luz solar y hay que observar que no existan niveles molestos de iluminación dado que es la fecha de mayor riesgo.

A continuación, se exponen los datos de las aberturas que se deberán de imponer en el sistema de DIALux y la obtención de los resultados. De esta manera realizaremos la obtención de tres propuesta pudiendo realizar finalmente una comparativa y hallando cuál de las tres es más educada.

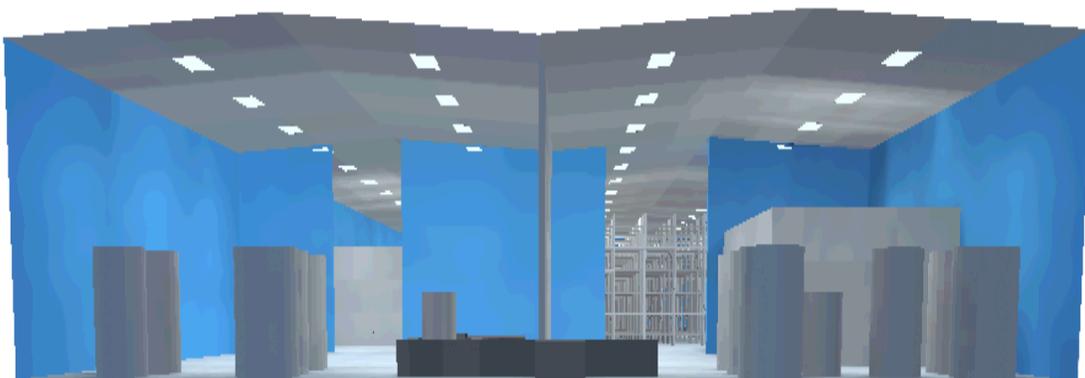
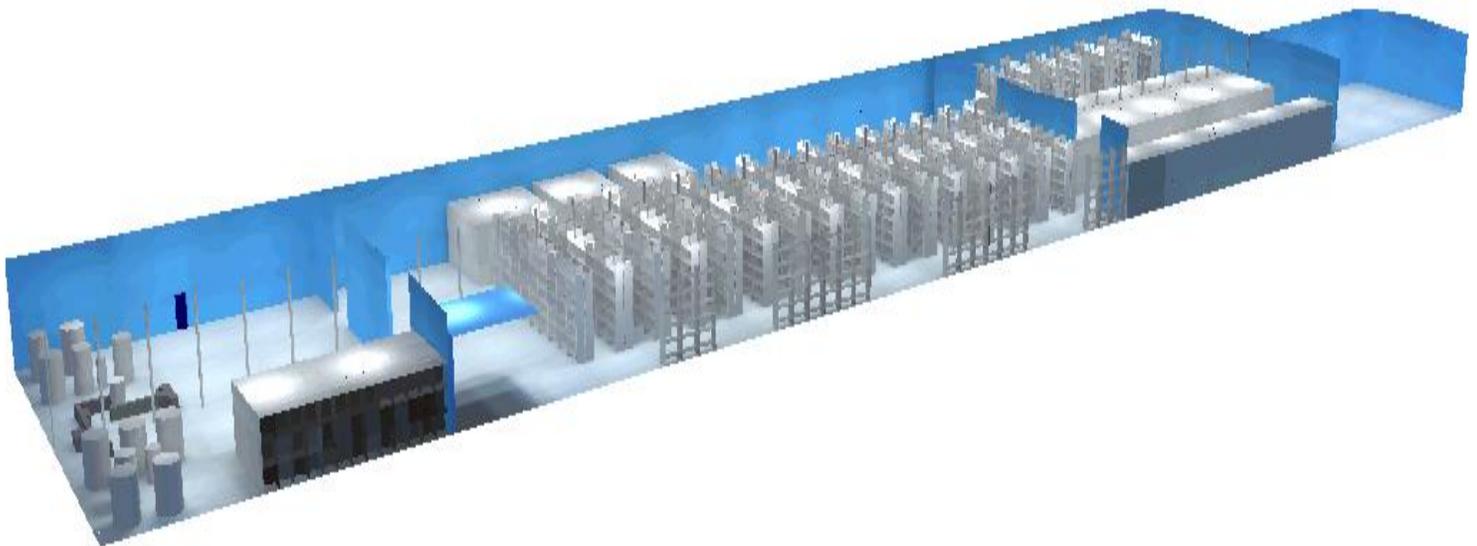
Para ello, cabe decir que el tipo de lucernarios que se van a emplear son lucernarios tendidos debido a que las dimensiones de la planta son elevadas y la colocación de lucernarios laterales no solucionarías los problemas de iluminación en la zona interior de la planta.

### Primera propuesta

La primera propuesta consistirá en un sistema de iluminación por aberturas ubicadas en cubierta. En dicha propuesta se han dispuesto las siguientes aberturas:

- Ventanales de 3x1 colocados cada 10 metros.

En esta propuesta se colocan un total de 78 lucernarios, es decir, de 234m<sup>2</sup> de aberturas para intentar alcanzar el objetivo fijado de iluminación natural calculado anteriormente. El coeficiente de transmisión o rendimiento de ventanas que se empleará es del 45% ya que es el valor con el que se realizan los primeros cálculos.



**Figura 7.Resultado prueba 1.**

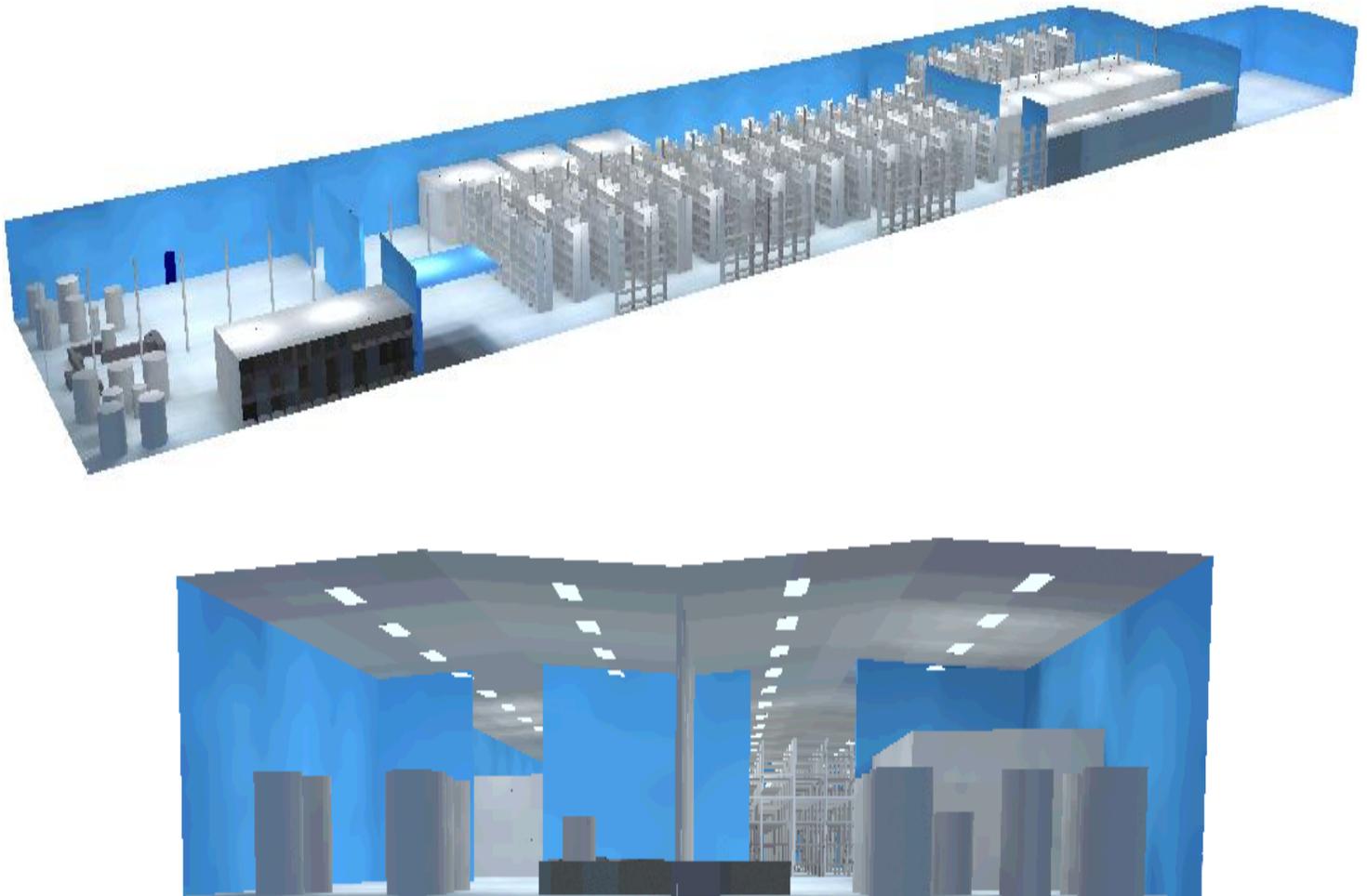
## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

### Segunda propuesta

La segunda propuesta consistirá en un sistema de iluminación por aberturas ubicadas en cubierta con ciertas modificaciones. Dado que en la primera propuesta se ha quedado algo alejada del resultado ideal, en esta se aumentará las dimensiones de los ventanales. Por ello, en esta propuesta se han dispuesto las siguientes aberturas:

- Ventanales de 4x1 colocados cada 10 metros.

En esta propuesta se colocan un total de 78 lucernarios, es decir, de  $312\text{m}^2$  de aberturas para intentar alcanzar el objetivo de iluminación natural. El coeficiente de transmisión empleado en este caso es del 50% para comprobar si la variación mínima de dicho coeficiente realiza grandes cambios en el resultado, ya que se debe recordar que los coeficientes de transmisión de policarbonatos recomendados son entre 40 y 50%.



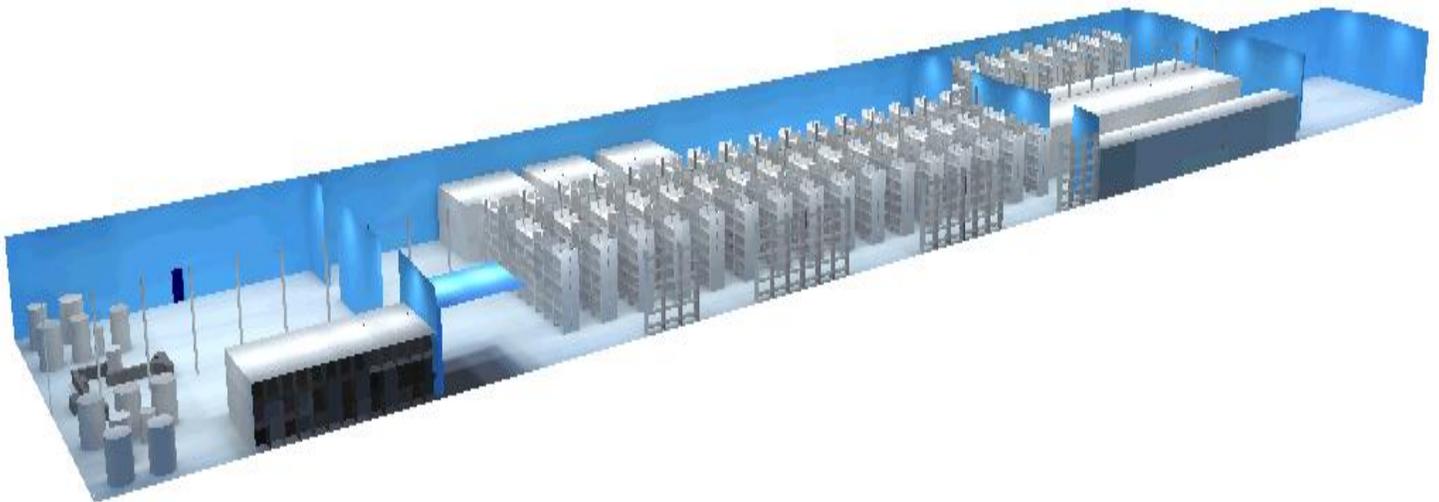
**Figura 8. Resultado propuesta 2.**

### Tercera propuesta

Dado que ninguna de las dos propuestas anteriores resulta muy cercana a los valores de iluminación ideal, la tercera propuesta consistirá en un sistema de iluminación con un mayor número de aberturas ubicadas en cubierta. En dicha propuesta se han dispuesto las siguientes aberturas:

- Ventanales de 3x1 colocados cada 5 metros.

En esta propuesta se colocan un total de 160 lucernarios, es decir, de  $480\text{m}^2$  de aberturas para intentar alcanzar el objetivo final de iluminación natural. El coeficiente de transmisión empleado es del 45%.



**Figura 9. Resultado propuesta 3.**

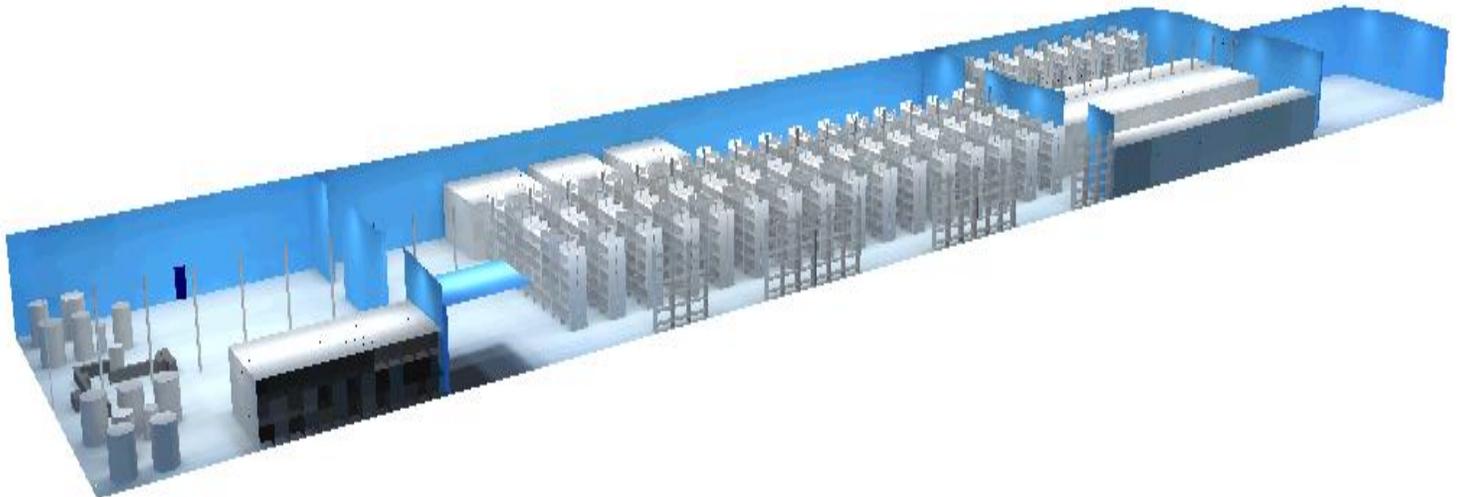
## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

### Cuarta propuesta

Dado que ninguna de las propuestas anteriores resultan cercanas a los valores de iluminación ideales, esta cuarta propuesta pretende llegar a todos ellos. Consistirá en un sistema de iluminación con la aplicación de lucernario tendido de manera que cubra mayor superficie en el techo. En dicha propuesta se han dispuesto las siguientes aberturas:

- Ventanales de 33x1 en la primera sección de la nave. Siendo una superficie de 132 m<sup>2</sup>.
- Ventanales de 98x1 en la segunda sección de la nave. Siendo una superficie de 392 m<sup>2</sup>.
- Ventanales de 48x1 en la tercera sección de la nave. Siendo una superficie de 192 m<sup>2</sup>.
- Ventanales de 27x1 en la cuarta sección de la nave. Siendo una superficie de 54 m<sup>2</sup>.

En esta propuesta se colocan un total de 14 lucernarios en total, es decir, de 770 m<sup>2</sup> de aberturas para intentar alcanzar el objetivo final de iluminación natural. El coeficiente de transmisión empleado es del 45%.



**Figura 10. Resultado propuesta 4.**

## 6.5. Determinación de los niveles de iluminación en los planos de trabajo

A continuación, se simularán las tres propuestas presentadas anteriormente con la ayuda del programa DIALux. Mediante el empleo de dicho programa se podrá realizar simulaciones con las diferentes propuestas, obteniendo así los niveles de iluminación natural encontrados en cada zona de la planta. El mismo programa separa el plano punto a punto de manera que le sea más exacta la obtención de la simulación. Como se había calculado anteriormente, el número mínimo a considerar en el cálculo de la iluminancia media debía ser de 25, pero a la hora de emplear el programa de DIALux los puntos empleados para el cálculo de ésta serán mucho mayores.

Una vez se obtengan los resultados calculados gracias a la ayuda del programa, se realizará el estudio de los factores de iluminación. Otro factor que habría que tener en cuenta serían los deslumbramientos.

Comenzando por este último, debido a que los sistemas de iluminación natural instaurados se tratan de lucernarios tendidos y que las alturas a las que se encuentran son elevadas, la posibilidad de riesgo de deslumbramiento es muy baja. Por ello, no es necesario el cálculo de los deslumbramientos que generarían los sistemas de iluminación natural nombrados dado que al realizar los cálculos pertinentes, los valores serán próximos a cero o cero. Así que, se realiza la suposición inicial de que no existirán deslumbramientos con la aplicación de estos lucernarios.

En cuanto a los factores de iluminación, con la ayuda del programa se obtendrán los valores de iluminación existentes en los puntos que tomará como referencia el programa, es decir, se realizará un mapa de iluminación donde se verá tanto con valores en tablas como en dibujo 3D, los valores de iluminación adecuados en toda la planta. Con ello también, el propio programa realizará un valor medio de iluminación de la planta para cada escena de luz y los valores de las uniformidades.

Para poder simular en las condiciones adecuadas se deberá dar valores de coeficientes de reflexión a los objetos presentes en la planta, por ello se expone la siguiente tabla:

| <b>Objeto</b>                                | <b>Coefficiente de reflexión (%)</b> |
|--|--------------------------------------|
| Paredes                                      | 44                                   |
| Suelo  | 59                                   |
| Pilares                                      | 50                                   |
| Estanterías                                  | 70                                   |
| Tanques                                      | 50                                   |
| Cadena de envasado, etiquetado y empaquetado | 30                                   |

**Tabla 5. Coeficientes de reflexión según los objetos empleados.**

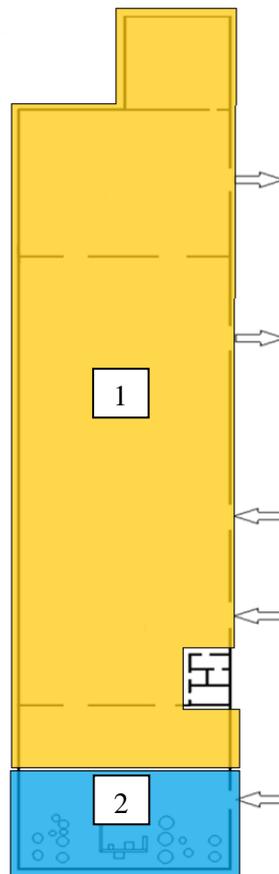
## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Para poder realizar los cálculos adecuados y valorarlos debidamente, se dividirá la planta industrial en dos zonas diferenciadas:

- Zona 1: Zona de almacenamiento
- Zona 2: Zona de producción

Anteriormente, se había observado la existencia de una zona de pasillos y áreas de circulación y otra zona de zona de carga. Estas dos zonas se han fusionado con las zonas de almacenamiento y producción respectivamente. Esto es debido a que las zonas se encuentran próximas a las que se han unido siendo éstas segundas de mucho más tamaño. Además, los niveles de iluminación interior encontrados en la Norma UNE-EN 12464.1 son los mismos a los que se han incorporado.

De este modo, se puede observar en la siguiente imagen las zonas diferenciadas de la planta a estudiar:



**Figura 11. Diferenciación de zonas en la planta industrial.**

Resultados Propuesta 1

Los resultados luminotécnicos que se pueden observar son los extraídos del programa DIALux para las tres escenas de luz planteadas.

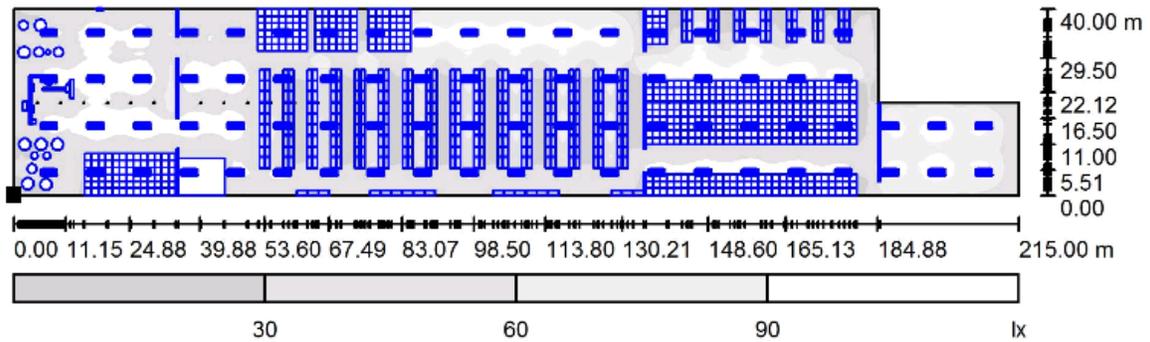


Figura 12. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.

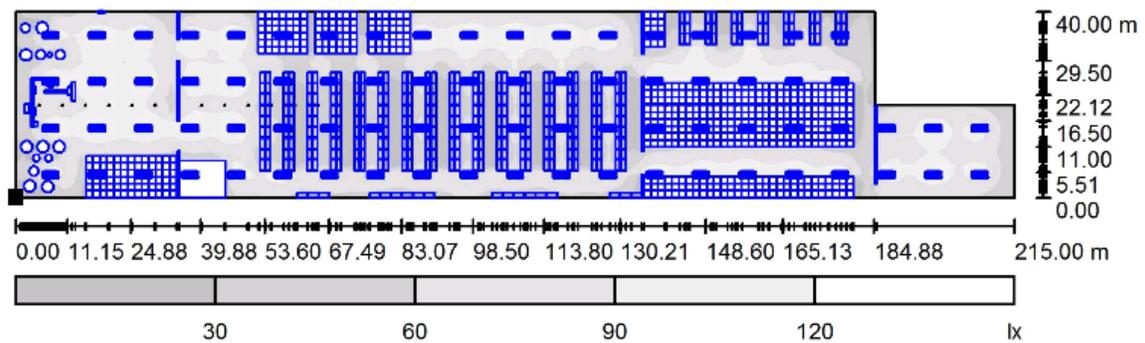


Figura 13. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.

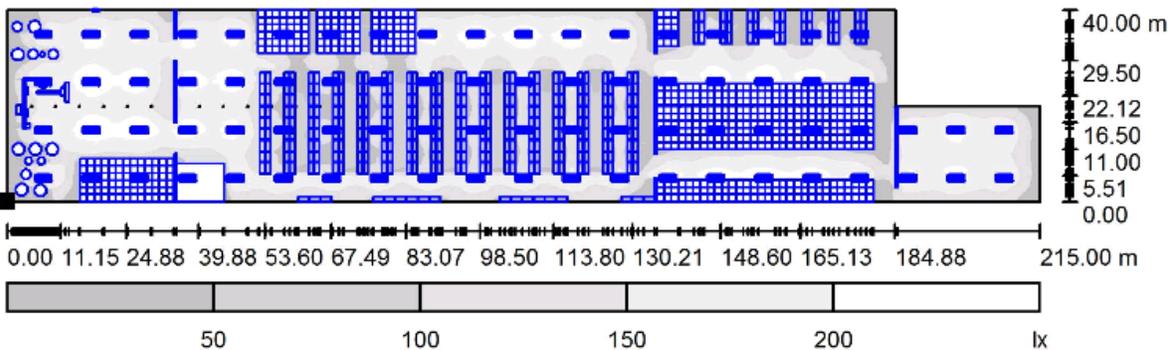


Figura 14. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de Junio.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

A partir de los datos llevados a cabo en DIALux, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos:

| ÉPOCA              | Em(lx) | Emin(lx) | E <sub>max</sub> (lx) | Emin/Em | Emin/E <sub>max</sub> | Deslumbramientos |
|--------------------|--------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|------------------|
| 10/12 a las 11:00h | 129    | 15       | 243                   | 0,116   | 0,062                 | NO               |
| 10/12 a las 12:00h | 134    | 4,9      | 252                   | 0,037   | 0,019                 | NO               |
| 23/06 a las 12:00h | 265    | 31       | 499                   | 0,117   | 0,062                 | NO               |

**Tabla 6. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 1.**

A partir del estudio por zonas diferenciadas de la planta, los resultados luminotécnicos obtenidos para la propuesta 1 son:

| ZONA                       | ÉPOCA          | Em(lx)  | Emin(lx) | E <sub>max</sub> (lx) | Emin/Em | Emin/E <sub>max</sub> |
|----------------------------|----------------|---------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|
| 1 (zona de producción)     | 10/12 a las 11 | 59,589  | 13       | 114                   | 0,218   | 0,114                 |
|                            | 10/12 a las 12 | 61,497  | 13       | 114                   | 0,211   | 0,114                 |
|                            | 23/06 a las 12 | 127,557 | 24       | 234                   | 0,103   | 0,103                 |
| 2 (zona de almacenamiento) | 10/12 a las 11 | 64,923  | 5,47     | 127                   | 0,084   | 0,043                 |
|                            | 10/12 a las 12 | 66,478  | 5,68     | 132                   | 0,085   | 0,043                 |
|                            | 23/06 a las 12 | 136,000 | 11       | 260                   | 0,037   | 0,024                 |

**Tabla 7. Resultados gráficos (E) diferenciando las zonas para la propuesta 1.**

Como se puede observar, los resultados de niveles de iluminación medios no llegan a los valores ideales exigidos por la planta. En el único caso en el que se completan dichos niveles de iluminación es el día 23 de Junio a las 12:00h y simplemente para la zona de almacenamiento quedando la otra zona en niveles inferiores a los requeridos.

Resultados Propuesta 2

Los resultados luminotécnicos que se pueden observar son los extraídos del programa DIALux para las tres escenas de luz planteadas.

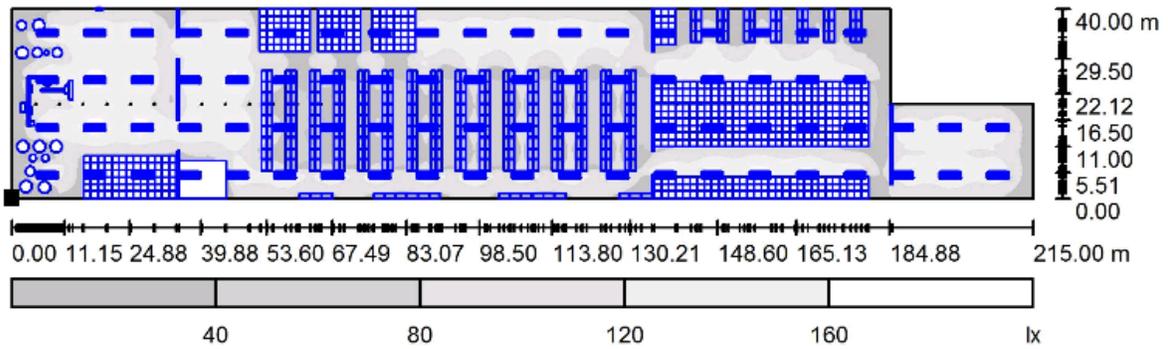


Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.

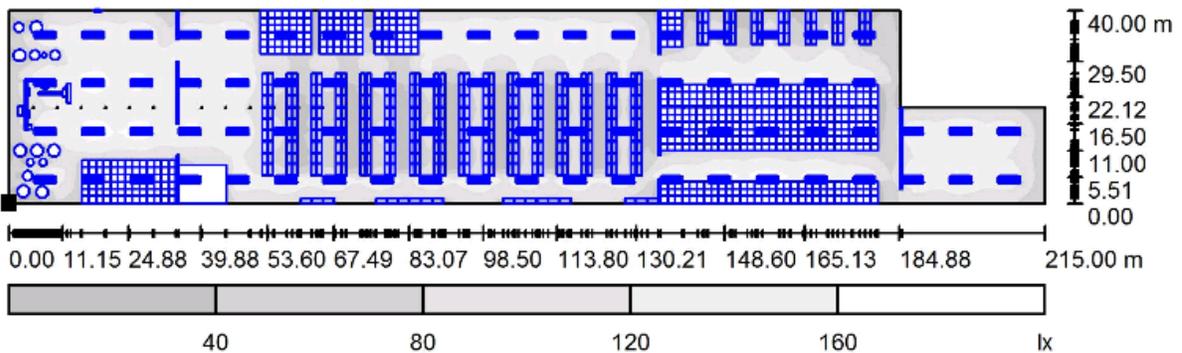


Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.

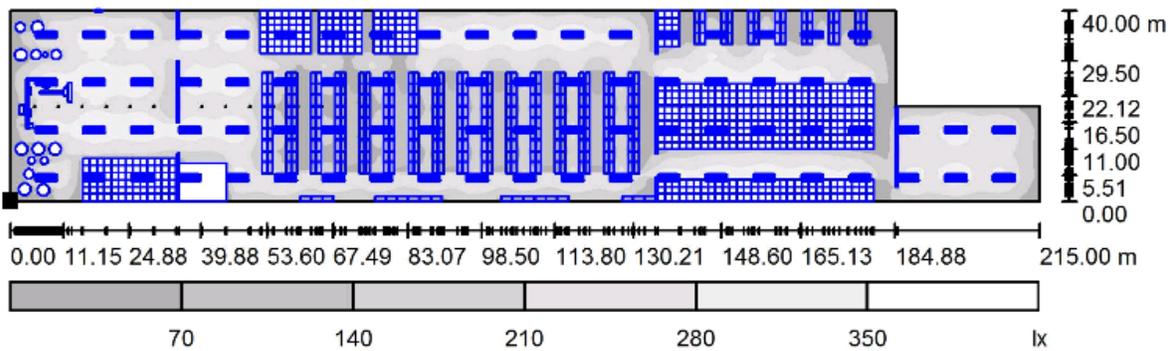


Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de Junio.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

A partir de los datos llevados a cabo en DIALux, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos:

| ÉPOCA              | Em(lx) | Emin(lx) | E <sub>max</sub> (lx) | Emin/Em | Emin/E <sub>max</sub> | Deslumbramientos |
|--------------------|--------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|------------------|
| 10/12 a las 11:00h | 95     | 12       | 176                   | 0,127   | 0,068                 | NO               |
| 10/12 a las 12:00h | 134    | 4,9      | 252                   | 0,037   | 0,019                 | NO               |
| 23/06 a las 12:00h | 265    | 31       | 499                   | 0,117   | 0,062                 | NO               |

**Tabla 8. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 2.**

A partir del estudio por zonas de la planta, los resultados luminotécnicos obtenidos para la propuesta 2 son:

| ZONA                       | ÉPOCA          | Em(lx)  | Emin(lx) | E <sub>max</sub> (lx) | Emin/Em | Emin/E <sub>max</sub> |
|----------------------------|----------------|---------|----------|-----------------------|---------|-----------------------|
| 1 (zona de producción)     | 10/12 a las 11 | 94,023  | 20       | 142                   | 0,213   | 0,141                 |
|                            | 10/12 a las 12 | 96,74   | 25       | 112                   | 0,258   | 0,223                 |
|                            | 23/06 a las 12 | 192,864 | 41       | 291                   | 0,213   | 0,141                 |
| 2 (zona de almacenamiento) | 10/12 a las 11 | 96,951  | 12       | 174                   | 0,123   | 0,069                 |
|                            | 10/12 a las 12 | 99,25   | 12       | 183                   | 0,121   | 0,066                 |
|                            | 23/06 a las 12 | 197,066 | 24       | 357                   | 0,122   | 0,067                 |

**Tabla 9. Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 2.**

En dicha propuesta, los resultados de niveles de iluminación medios tampoco llegan en todas las escenas de luz, a los valores ideales exigidos por la planta. Sí es cierto que los valores obtenidos en dicho caso son más elevados que en el caso propuesto anteriormente, pero sigue teniendo numerosas deficiencias. Se completan los niveles de iluminación interior el día 23 de Junio a las 12:00h para ambas zonas.

Para las escenas de luz estudiadas el 10 de Diciembre los valores se van acercando a los valores deseados en las zonas requeridas pero aún se puede obtener niveles de iluminación más elevados para tener una planta más eficiente en cuanto a iluminación.

Resultados propuesta 3

Los resultados luminotécnicos que se pueden observar son los extraídos del programa DIALux para las tres escenas de luz planteadas.

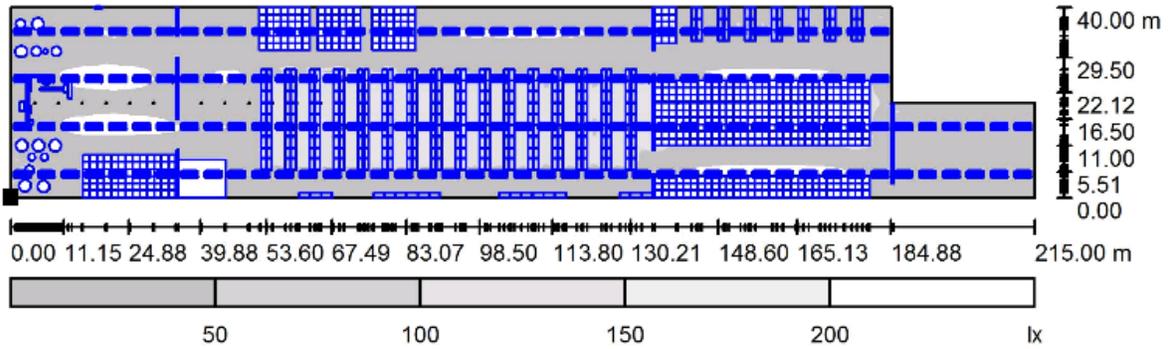


Figura 18. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.

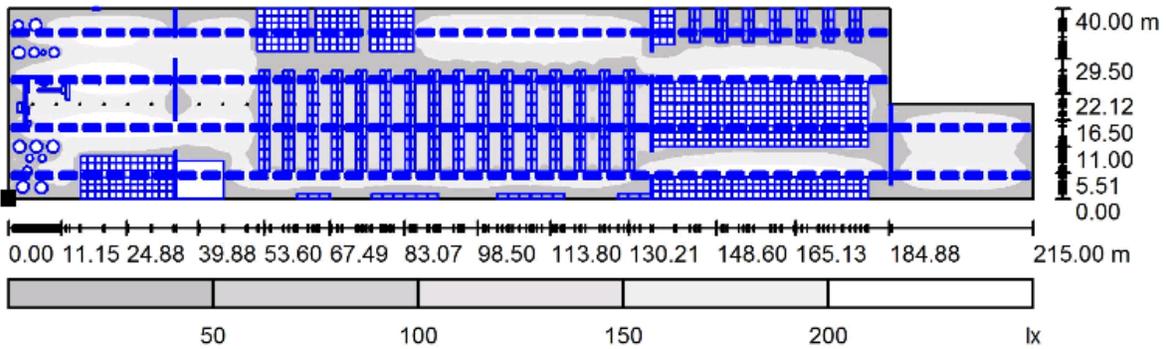


Figura 19. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.

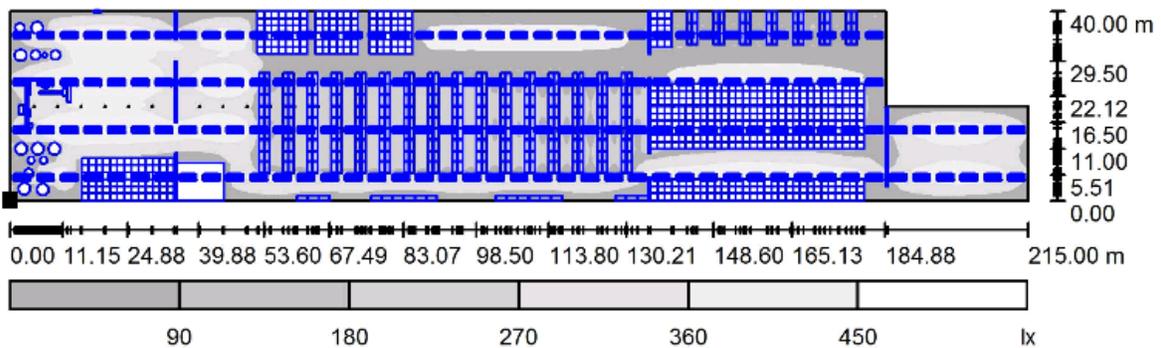


Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de Junio.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

A partir de los datos llevados a cabo en DIALux, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos:

| ÉPOCA              | Em(lx) | Emin(lx) | Emax(lx) | Emin/Em | Emin/Emax | Deslumbramientos |
|--------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|------------------|
| 10/12 a las 11:00h | 132    | 17       | 231      | 0,126   | 0,074     | NO               |
| 10/12 a las 12:00h | 137    | 17       | 240      | 0,126   | 0,071     | NO               |
| 23/06 a las 12:00h | 270    | 34       | 474      | 0,126   | 0,072     | NO               |

**Tabla 10. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 3.**

A partir del estudio por zonas de la planta, los resultados luminotécnicos obtenidos para la propuesta 3 son:

| ZONA                       | ÉPOCA          | Em(lx)  | Emin(lx) | Emax(lx) | Emin/Em | Emin/Emax |
|----------------------------|----------------|---------|----------|----------|---------|-----------|
| 1 (zona de producción)     | 10/12 a las 11 | 131,2   | 55       | 187      | 0,419   | 0,294     |
|                            | 10/12 a las 12 | 136,108 | 57       | 198      | 0,419   | 0,288     |
|                            | 23/06 a las 12 | 269,24  | 112      | 392      | 0,416   | 0,286     |
| 2 (zona de almacenamiento) | 10/12 a las 11 | 129,8   | 10       | 219      | 0,077   | 0,046     |
|                            | 10/12 a las 12 | 133,74  | 11       | 227      | 0,082   | 0,048     |
|                            | 23/06 a las 12 | 265,12  | 21       | 449      | 0,079   | 0,047     |

**Tabla 11. Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 3.**

En dicha propuesta, los resultados de niveles de iluminación interiores cumplen los niveles de iluminación requeridos aunque en el caso de la zona de producción los niveles de iluminación son un poco inferiores a los indicados por la Norma. Se recuerda que los niveles de iluminación en la zona de producción son de 150 lux mientras que en la zona de almacenamiento era de 120 lux.

Cabe destacar, que los valores a pesar de los bajos niveles de iluminación en la zona de producción están algo por debajo de los niveles requeridos. Aunque se podrían aceptar como válidos ya que se encuentran muy cercanos a éstos, simplemente se deberá emplear luz artificial para el correcto funcionamiento en esta zona.

Resultados Propuesta 4

Los resultados luminotécnicos que se pueden observar son los extraídos del programa DIALux para las tres escenas de luz planteadas.

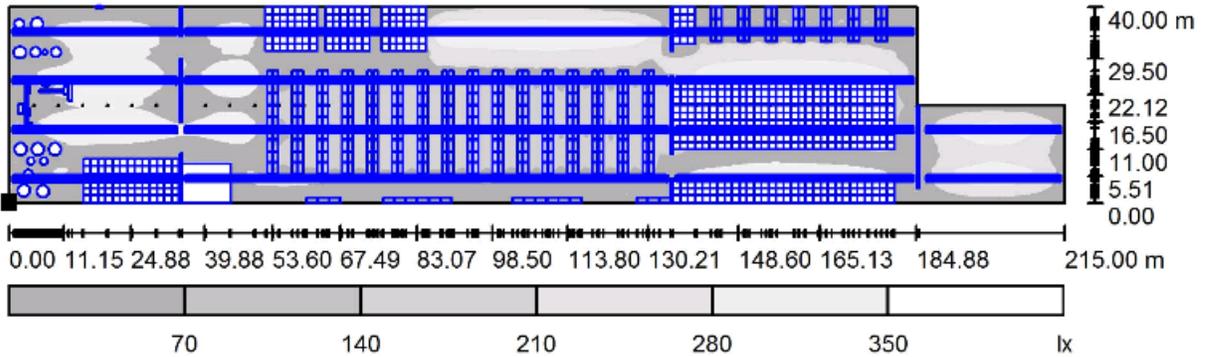


Figura 21. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11:00h del día 10 de Diciembre.

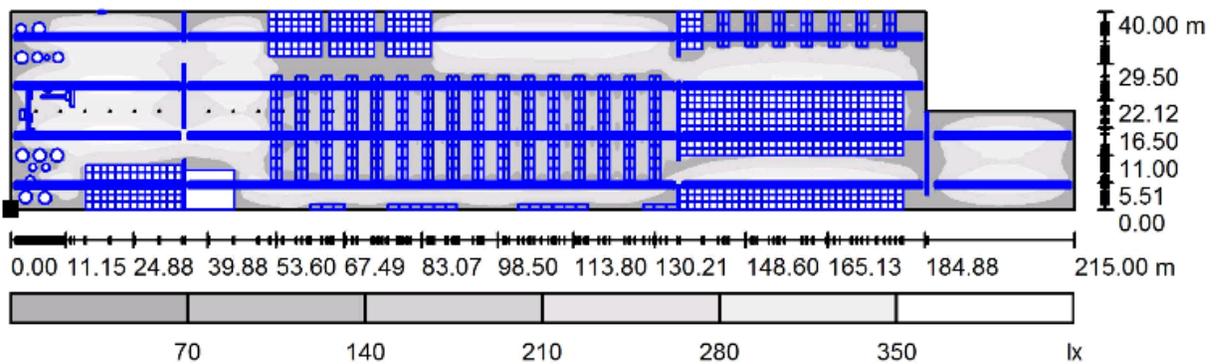


Figura 22. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 10 de Diciembre.

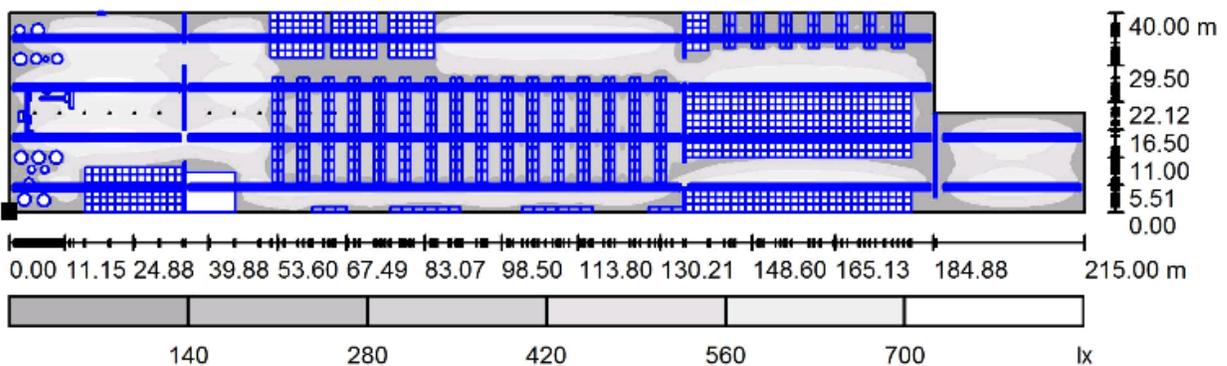


Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11:00h del día 23 de Junio.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

A partir de los datos llevados a cabo en DIALux, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos:

| EPOCA              | Em(lx) | Emin(lx) | Emax(lx) | Emin/Em | Emin/Emax | Deslumbramientos |
|--------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|------------------|
| 10/12 a las 11:00h | 207    | 29       | 366      | 0,140   | 0,079     | NO               |
| 10/12 a las 12:00h | 215    | 30       | 380      | 0,140   | 0,079     | NO               |
| 23/06 a las 12:00h | 425    | 15       | 526      | 0,035   | 0,029     | NO               |

**Tabla 12. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 4.**

A partir del estudio por zonas de la planta, los resultados luminotécnicos obtenidos para la propuesta 4 son:

| ZONA                       | ÉPOCA          | Em(lx)  | Emin(lx) | Emax(lx) | Emin/Em | Emin/Emax |
|----------------------------|----------------|---------|----------|----------|---------|-----------|
| 1 (zona de producción)     | 10/12 a las 11 | 218,837 | 69       | 320      | 0,315   | 0,216     |
|                            | 10/12 a las 12 | 226,959 | 71       | 332      | 0,313   | 0,214     |
|                            | 23/06 a las 12 | 448,918 | 141      | 657      | 0,314   | 0,215     |
| 2 (zona de almacenamiento) | 10/12 a las 11 | 204,220 | 13       | 315      | 0,064   | 0,037     |
|                            | 10/12 a las 12 | 211,835 | 14       | 363      | 0,066   | 0,039     |
|                            | 23/06 a las 12 | 418,967 | 27       | 719      | 0,064   | 0,038     |

**Tabla 13. . Resultados gráficos de valores (E) diferenciando las zonas para la propuesta 4.**

En dicha propuesta, los resultados de niveles de iluminación interiores cumplen los niveles de iluminación requeridos a la perfección según la Norma UNE-EN 12464.1.

Cabe destacar los valores de los niveles de iluminación en las zonas de producción y almacenamiento que son algo más elevados de los exigidos. Sin embargo, no existe ningún tipo de inconveniente en dicho caso, debido a que la Norma advierte de la iluminación mínima requerida. El único inconveniente sería la superación de iluminación máxima en la escena de luz de verano de los 2000 lux aunque no se alcanzan estos niveles en dicha propuesta.

## 6.6. Selección de la propuesta más adecuada

A continuación, se muestra una tabla para poder realizar la selección de la propuesta más adecuada de manera más cómoda.

|                  | Zona 1 | Zona 2 |
|------------------|--------|--------|
| Em(lux)          | 150    | 120    |
| Deslumbramientos | No     | No     |
| Uniformidad      | >0,3   | >0,3   |

**Tabla 14. Valores óptimos de los factores de iluminación para las propuestas.**

### Propuesta 1

El promedio de luz Em de la zona 1 no cumple con el requerimiento de 150 luxes que se debían tener establecidos para ella.

El promedio de la luz Em de la zona 2 no cumple con el requerimiento de 120 luxes que se había establecido para ella.

El factor de uniformidad Emin/Emax para la zona 1 no cumple con la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0,3. Y para la zona 2 tampoco.

En cuanto a los deslumbramientos no se producen porque todo son lucernarios colocados a más de 7 metros de altura lo cual confirma la inexistencia de deslumbramiento.

|                  | Zona 1    | Zona 2    |
|------------------|-----------|-----------|
| Em(lux)          | No cumple | No cumple |
| Deslumbramientos | Cumple    | Cumple    |
| Uniformidad      | No cumple | No cumple |

**Tabla 15. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 1.**

### Propuesta 2

El promedio de luz Em de la zona 1 no cumple con el requerimiento de 150 luxes que se había establecido para ella.

El promedio de la luz Em de la zona 2 no cumple con el requerimiento de 120 luxes que se había establecido para ella.

El factor de uniformidad Emin/Emax para la zona 1 no cumple con la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0,3. Y para la zona 2 tampoco.

En cuanto a los deslumbramientos no se producen porque todo son lucernarios colocados a más de 7 metros de altura lo cual confirma la inexistencia de deslumbramiento.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

|                  | Zona 1    | Zona 2    |
|------------------|-----------|-----------|
| Em(lux)          | No cumple | No cumple |
| Deslumbramientos | Cumple    | Cumple    |
| Uniformidad      | No cumple | No cumple |

**Tabla 16. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 2.**

Propuesta 3

El promedio de luz Em de la zona 1 no cumple con el requerimiento de 150 luxes que se había establecido para ella. Sólo en las escenas de luz de verano.

El promedio de la luz Em de la zona 2 sí cumple con el requerimiento de 120 luxes para todas las escenas de luz dado que cumple cuando las condiciones son más austeras que es en una escena de luz de invierno.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  para la zona 1 sí cumple con la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0,3. Y para la zona 2 no.

En cuanto a los deslumbramientos no se producen porque todo son lucernarios colocados a más de 7 metros de altura lo cual confirma la inexistencia de deslumbramiento.

|                  | Zona 1    | Zona 2    |
|------------------|-----------|-----------|
| Em(lux)          | No cumple | Cumple    |
| Deslumbramientos | Cumple    | Cumple    |
| Uniformidad      | Cumple    | No cumple |

**Tabla 17. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 3.**

Propuesta 4

El promedio de luz Em de la zona 1 cumple con el requerimiento de 150 luxes que se había establecido para ella. Al igual que el promedio de la luz Em de la zona 2 llegando de esta manera a los 120 lux.

En cambio, el factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  para la zona 1 y la zona 2 no cumple con el valor mínimo de 0,3.

En cuanto a los deslumbramientos no se producen porque todo son lucernarios colocados a más de 7 metros de altura lo cual confirma la inexistencia de deslumbramiento.

|                  | Zona 1    | Zona 2    |
|------------------|-----------|-----------|
| Em(lux)          | Cumple    | Cumple    |
| Deslumbramientos | Cumple    | Cumple    |
| Uniformidad      | No cumple | No cumple |

**Tabla 18. Valores óptimos de los factores de iluminación para la propuesta 4.**

Se van a exponer todos los valores óptimos en una tabla resumen para facilitar la visualización de estos diferenciando las escenas de luz más críticas que son el 10 de Diciembre a las 11:00h y el 23 de Junio a las 12:00h.

| ZONA        | Em      | Emin/Emax | Deslumbram. |
|-------------|---------|-----------|-------------|
| Ideal       |         |           |             |
| 1           | 150     | >0,3      | No          |
| 2           | 120     | >0,3      | No          |
| Propuesta 1 |         |           |             |
| 1           | 59,589  | 0,114     | No          |
| 2           | 64,923  | 0,043     | No          |
| Propuesta 2 |         |           |             |
| 1           | 94,023  | 0,213     | No          |
| 2           | 96,951  | 0,069     | No          |
| Propuesta 3 |         |           |             |
| 1           | 131,2   | 0,294     | No          |
| 2           | 129,8   | 0,046     | No          |
| Propuesta 4 |         |           |             |
| 1           | 218,837 | 0,216     | No          |
| 2           | 204,220 | 0,037     | No          |

**Tabla 19. Resumen de los valores óptimos de las 3 propuestas para el 10 de Diciembre a las 11:00 de la mañana.**

| ZONA        | Em      | Emin/Emax | Deslumbram. |
|-------------|---------|-----------|-------------|
| Ideal       |         |           |             |
| 1           | 150     | >0,3      | No          |
| 2           | 120     | >0,3      | No          |
| Propuesta 1 |         |           |             |
| 1           | 127,557 | 0,103     | No          |
| 2           | 136,000 | 0,037     | No          |
| Propuesta 2 |         |           |             |
| 1           | 192,864 | 0,213     | No          |
| 2           | 197,066 | 0,067     | No          |
| Propuesta 3 |         |           |             |
| 1           | 269,24  | 0,286     | No          |
| 2           | 265,12  | 0,047     | No          |
| Propuesta 4 |         |           |             |
| 1           | 448,918 | 0,215     | No          |
| 2           | 418,967 | 0,038     | No          |

**Tabla 20. Resumen de los valores óptimos de las 3 propuestas para el 23 de Junio a las 12:00 del mediodía.**

## 6.7. Desarrollo de la propuesta seleccionada

Para llevar a cabo el estudio en detalle de la propuesta final se comprobará primeramente que los niveles de iluminación por zonas sean los adecuados según la norma la UNE 12464.1, Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.

Observando ambas tablas anteriores se observan que las mejores propuestas son la 3 y la 4. Para ello, se realizará una prueba de cielo parcialmente nublado para poder elegir el mejor resultado.

### Cielo parcialmente nublado para la propuesta 3

$E_m=148$ ,  $E_{min} = 13$ ,  $E_{max}=259$ ,  $E_{min}/E_{max}=0,05$

| ZONA | $E_m(lx)$ | $E_{min}(lx)$ | $E_{max}(lx)$ | $E_{min}/E_m$ | $E_{min}/E_{max}$ |
|------|-----------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| 1    | 153,73    | 51            | 225           | 0,332         | 0,227             |
| 2    | 146,71    | 13            | 259           | 0,0886        | 0,050             |

Tabla 21. Resultados obtenidos para cielo parcialmente nublado para la propuesta 3.

### Cielo parcialmente nublado para la propuesta 4

$E_m=228$ ,  $E_{min} = 16$ ,  $E_{max}=386$ ,  $E_{min}/E_{max}=0,041$

| ZONA | $E_m(lx)$ | $E_{min}(lx)$ | $E_{max}(lx)$ | $E_{min}/E_m$ | $E_{min}/E_{max}$ |
|------|-----------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| 1    | 257,408   | 69            | 367           | 0,268         | 0,188             |
| 2    | 227,005   | 16            | 386           | 0,070         | 0,041             |

Tabla 22. Resultados obtenidos para cielo parcialmente nublado para la propuesta 4.

Los valores observados en ambos casos son bastante favorables para la aproximación del modelo ideal. Aun así, la propuesta número 3 cumple con un valor óptimo más que la propuesta 4 que es el factor de la uniformidad encontrada en la zona 1.

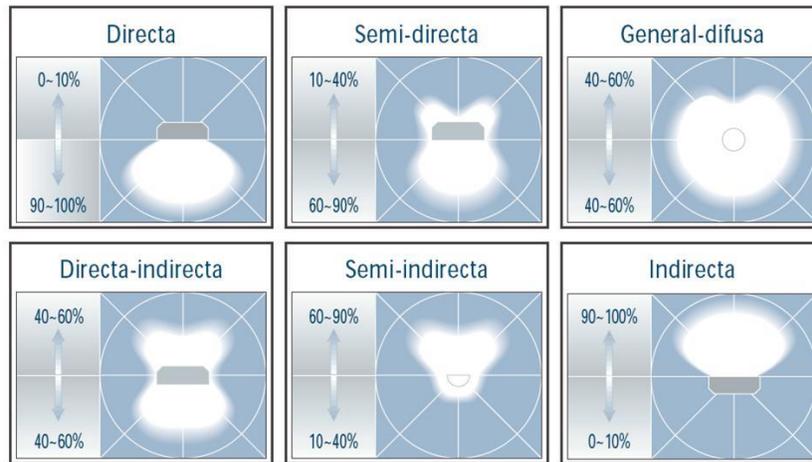
También es cierto, que desde un punto de vista económico, la instalación de lucernarios de la propuesta 3 será más económica que la propuesta número 4 debido a que el hueco a realizar es más pequeño y la cantidad de material del policarbonato empleado será más pequeña.

Para poder observar con mayor detenimiento y exactitud se puede consultar el Anexo 2 donde se encontrarán las dimensiones de los lucernarios y la disposición de éstos en la planta.

## 6.8. Iluminación artificial

Seguidamente, se realizarán aproximaciones en cuanto al sistema de iluminación artificial. Para ello, se hará uso del software DIALux Light el cual requerirá de las dimensiones aproximadas de la planta y el modelo de luminaria a instalar.

Se advierte la existencia de diversos tipos de luminarias las cuales se encuentran clasificadas por la CIE conforme al porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del eje horizontal de la luminaria, según la siguiente figura:



**Figura 24. Tipos de luminarias. Fuente: CIE (Comisión Internacional de la Iluminación).**

Escogiendo el tipo de luminaria más adecuada para la planta industrial, se hará uso de una iluminación directa porque orientando la luz hacia abajo origina que una menor proporción de luz incida en las paredes, techos y otros objetos presentes en la planta, así, se obtendría una mejora considerable en el rendimiento de las instalaciones.

A continuación, se empleará el programa DIALux Light para obtener el valor aproximado de luminarias que se encuentran instaladas en la industria. Los datos obtenidos del DIALux Light empleando el modelo de luminaria DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN (Potencia de 420W) informan de la existencia aproximada de 31 luminarias que recubren la cubierta.

Se pueden observar las características específicas de la luminaria escogida en el Anexo 1.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

La distribución de las luminarias quedará de la siguiente manera:

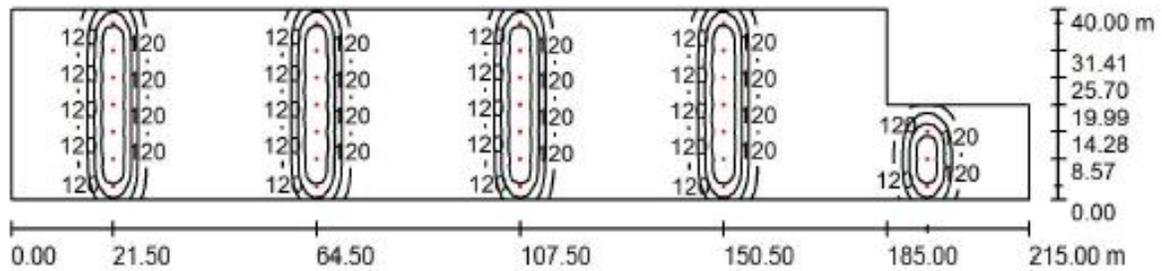


Figura 25. Distribución de las luminarias para el empleo de iluminación artificial en la planta.

En los resultados luminotécnicos de la planta se puede observar los niveles de iluminación en el interior de ésta con la existencia exclusiva de iluminación artificial. Estos datos son los siguientes:

En cuanto a los valores de eficiencia energética de iluminación obtenidos con el empleo completo de las 31 luminarias son los sucesivos valores:

|              | Superficie<br>(m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>(W/m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>((W/m <sup>2</sup> )/100lux) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>TOTAL</b> | 8.000                           | 1,63                        | 1,24                                 |

Tabla 23. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.

## 6.9. Eficiencia energética con el sistema de iluminación natural

En el Código Técnico de la Edificación se establece como exigencia básica que todos los edificios deben de disponer de iluminación adecuada según el tipo de funcionamiento que se lleve a cabo en las zonas de trabajo, siendo así energéticamente eficaces. Cabe destacar, que al igual que existe un nivel de iluminación mínimo a encontrar en cada puesto de trabajo, existe un nivel de iluminación límite que no debe de ser superado.

Realizando la instalación del sistema de iluminación natural se logrará reducir el empleo de la iluminación artificial pero no indica la inexistencia de ésta, para ello sabiendo el nivel de la latitud a la que se encuentra la industria, que en este caso es cerca a unos  $40^\circ$ , el nivel de aprovechamiento natural que se podrá explotar será entre un 80% y un 70%.

Por ello, vamos a realizar tres supuestos:

- Donde la iluminación de la planta es 100% iluminación artificial.
- Donde la iluminación de la planta es 70% iluminación natural y 30% iluminación artificial.
- Donde la iluminación de la planta es 80% iluminación natural y 20% iluminación artificial.

Así que, seguidamente, se realizarán los cálculos pertinentes para hallar el presupuesto de mantenimiento de los lucernarios de la planta y poder obtener el importe total necesario para el funcionamiento de iluminación mixta durante un período de un año.

### Supuesto 1: 100% iluminación artificial

El número de luminarias encendidas en este caso serán todas las instaladas para la iluminación artificial que son un total de 31.

|              | Superficie<br>(m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>(W/m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>((W/m <sup>2</sup> )/100lux) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>TOTAL</b> | 8.000                           | 1,63                        | 1,24                                 |

Tabla 24. VEEI 100% iluminación artificial.

### Supuesto 2: 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural

El número de luminarias encendidas en este caso serán el 30% de las 31 luminarias totales existentes, es decir, 10 luminarias.

|              | Superficie<br>(m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>(W/m <sup>2</sup> ) | VEEI<br>((W/m <sup>2</sup> )/100lux) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>TOTAL</b> | 8.000                           | 0,53                        | 0,40                                 |

Tabla 25. VEEI 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Supuesto 3: 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural

El número de luminarias encendidas en este caso serán el 20% de las 31 luminarias totales existentes, es decir, 7 luminarias.

|              | <b>Superficie<br/>(m<sup>2</sup>)</b> | <b>VEEI<br/>(W/m<sup>2</sup>)</b> | <b>VEEI<br/>((W/m<sup>2</sup>)/100lux)</b> |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| <b>TOTAL</b> | 8.000                                 | 0,37                              | 0,28                                       |

**Tabla 26. VEEI 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural.**

Como se puede observar, el valor de eficacia eléctrica en iluminación es menos cuanto menos se emplea la iluminación artificial. Lo ideal, sería tener un  $VEEI = 0W/m^2$  pero dado que este valor es muy complejo de alcanzar será más adecuado que el VEEI sea mínimo para que la potencia eléctrica que se consuma sea menor.

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Seguidamente, se va a realizar un estudio económico para averiguar que método sería más viable. Se efectúa una comparación del presupuesto económico de la inserción de lucernarios necesarios para el sistema de iluminación natural, con la factura de la electricidad para iluminar toda la planta sin la presencia de iluminación natural.

### 7.1. Presupuesto

El presupuesto para la instalación de los lucernarios empleados para el sistema de iluminación natural se ha realizado recurriendo a los datos de la base de datos de Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) del 2015 y empleando el programador de software de Arquimedes para realizar los presupuestos con mayor facilidad.

El presupuesto que se ha adquirido para la instalación del sistema de iluminación natural es el siguiente:

| COD   | UD  | DESCRIPCIÓN                           | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO(€/ud) | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)   |
|-------|-----|---------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------|-------------|
| 01.01 | m2  | <b>Realización del hueco</b>          |             |                       |              |             |
|       | hr  | Oficial 1ª vidrio                     | 0,3         | 12,91                 | 3,87         |             |
|       | hr  | Ayudante vidrio                       | 0,3         | 11,00                 | 3,30         |             |
|       | día | Plataforma elevadora articulada       | 0,0125      | 133,90                | 1,67         |             |
|       | %   | Costes Directos                       | 0,02        | 8,85                  | 0,18         |             |
|       |     |                                       |             |                       |              | <b>9,02</b> |
| 01.02 | m2  | <b>Colocación carpintería</b>         |             |                       |              |             |
|       | m   | Perfil de aluminio                    | 1           | 8,37                  | 8,37         |             |
|       | hr  | Oficial 1ª carpintería                | 0,3         | 16,49                 | 4,95         |             |
|       | hr  | Ayudante carpintería                  | 0,3         | 12,95                 | 3,89         |             |
|       | día | Plataforma elevadora articulada       | 0,0125      | 133,90                | 1,67         |             |
|       | %   | Costes Directos                       | 0,02        | 18,88                 | 0,38         |             |
|       |     |                                       |             |                       | <b>19,25</b> |             |
| 01.03 | m2  | <b>Colocación policarbonatos</b>      |             |                       |              |             |
|       | m2  | Acristalamiento policarbonato celular | 1           | 32,82                 | 32,82        |             |
|       | hr  | Oficial 1ª carpintería                | 0,3         | 16,49                 | 4,95         |             |

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

|              |     |                                 |        |        |      |              |
|--------------|-----|---------------------------------|--------|--------|------|--------------|
|              | hr  | Ayudante carpintería            | 0,3    | 12,95  | 3,89 |              |
|              | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0125 | 133,90 | 1,67 |              |
|              | %   | Costes Directos                 | 0,02   | 43,33  | 0,87 |              |
|              |     |                                 |        |        |      | <b>44,19</b> |
| <b>01.04</b> |     |                                 |        |        |      |              |
|              | m2  | <b>Soldado</b>                  |        |        |      |              |
|              | hr  | Expecialista metal              | 0,3    | 14,10  | 4,23 |              |
|              | hr  | Ayudante vidrio                 | 0,3    | 11,00  | 3,30 |              |
|              | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0125 | 133,90 | 1,67 |              |
|              | %   | Costes Directos                 | 0,02   | 9,20   | 0,18 |              |
|              |     |                                 |        |        |      | <b>9,39</b>  |

Tabla 27. Cuadro precios descompuestos.

| COD          | UD | DESCRIPCIÓN                      | N   | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL      |
|--------------|----|----------------------------------|-----|-------|-------|------|----------|------------|
| 01.01        | m2 | <b>Preparación del hueco</b>     |     |       |       |      |          |            |
|              | m2 | Lucernarios                      | 160 | 1     | 3     |      | 480      | <b>480</b> |
| <b>01.02</b> |    |                                  |     |       |       |      |          |            |
| 01.02        | m2 | <b>Colocación carpintería</b>    |     |       |       |      |          |            |
|              | m2 | Lucernarios                      | 160 | 1     | 3     |      | 480      | <b>480</b> |
| <b>01.03</b> |    |                                  |     |       |       |      |          |            |
| 01.03        | m2 | <b>Colocación policarbonatos</b> |     |       |       |      |          |            |
|              | m2 | Lucernarios                      | 160 | 1     | 3     |      | 480      | <b>480</b> |
| <b>01.04</b> |    |                                  |     |       |       |      |          |            |
| 01.04        | m2 | <b>Soldado</b>                   |     |       |       |      |          |            |
|              | m2 | Lucernarios                      | 160 | 1     | 3     |      | 480      | <b>480</b> |

Tabla 28. Cuadro de mediciones.

| <b>COD</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>        | <b>SUBTOTAL<br/>(€)</b> | <b>TOTAL<br/>(€)</b> |
|------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| 01.01      | Preparación del hueco     | 4331,37                 |                      |
| 01.02      | Colocación carpintería    | 9241,57                 |                      |
| 01.03      | Colocación policarbonatos | 21212,29                |                      |
| 01.04      | Soldado                   | 4506,16                 |                      |
|            |                           |                         | <b>39291,38</b>      |

**Tabla 29. Cuadro del presupuesto parciales.**

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se necesitará realizar la suma de varios términos como son: el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), los Gastos Generales (GG) donde emplearemos el 15% y el valor del Beneficio Industrial (BI) que utilizaremos el 6%.

Para finalizar se incluirá el IVA obteniendo así el presupuesto en base de licitación. De esta manera, el presupuesto final obtenido para la instalación de iluminación natural es:

|   |          |
|---|----------|
| PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)        | 39291,38 |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€) | 47542,57 |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)              | 57526,51 |

**Tabla 30. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural.**

## **7.2. Balance económico**

Como se había comentado anteriormente, se supone que la planta industrial primeramente sólo posee un sistema de iluminación artificial y se quieren realizar unas mejoras para completar con la iluminación natural la nave.

Se efectuará una comparación del presupuesto económico de la inserción de lucernarios necesarios para el sistema de iluminación natural con la factura de la electricidad necesaria para iluminar toda la planta sin la presencia de iluminación natural.

Se contabilizarán las potencias instaladas en toda la nave industrial. Para ello, se va a realizar una estimación de las potencias demandadas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

| Nombre                                | Ud | Potencia ud (kW) | Potencia (kW) |
|---------------------------------------|----|------------------|---------------|
| Molino jet                            | 1  | 6,30             | 6,30          |
| Tanque de agitación                   | 7  | 5,90             | 41,30         |
| Cinta transportadora                  | 3  | 15,00            | 45,00         |
| Equipo de envasado                    | 2  | 22,40            | 44,80         |
| Luminarias                            | 31 | 0,42             | 13,02         |
| Batería de las carretillas elevadoras | 32 | 10,00            | 320,00        |
| Tomas de corriente                    | 15 | 3,68             | 55,20         |
| Tomas de corriente trifásica          | 45 | 10,00            | 450,00        |
| <b>TOTAL</b>                          |    |                  | <b>975,62</b> |

Tabla 31. Potencias de la planta industrial.

La potencia para la planta es de: 975,62 kW. La tarifa eléctrica contratada en la empresa es de 6.1A, dicha tarifa tiene un sistema de discriminación horaria y dependiendo de los días y los meses del año en los que se emplee la energía.

Esta industria trabaja prácticamente todos los días del año ya que, poseen unos horarios de trabajo de lunes a sábado los meses de Noviembre a Abril puesto que es cuando se encuentran en temporada alta de demanda de producto. Y el resto de meses de lunes a viernes, teniendo 15 días festivos en Agosto. De esta manera se trabajan unos 270 días al año.

Esta tarifa posee la ventaja que en horarios de madrugada y de fines de semana son precios más económicos. Y en el caso de estudio se tendrá en cuenta un año de campaña productiva.

Para determinar cuántas horas corresponden a cada uno de los periodos se atenderá a la siguiente tabla:



\* Festivos de ámbito nacional, excluidos tanto los festivos sustituibles como los que no tienen fecha fija.

Figura 26. Discriminación horaria.

El caso concreto de dicha industria nos indica que la empresa trabaja 24 horas de lunes a sábado 6 meses y 24 horas de lunes a viernes 6 meses al año.

### 7.2.1. Iluminación artificial

Para un periodo anual donde simplemente se emplean sistemas de iluminación artificial el consumo en energía eléctrica para cada periodo sería diferente al igual que la potencia consumida, por ello, se facilitarán los datos mediante la siguiente tabla:

| Periodo | Potencias consumidas (kWh) | Término de energía (€/kWh) | Término de potencia (€/kW año) |
|---------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1       | 176                        | 0,026674                   | 39,139427                      |
| 2       | 227                        | 0,019921                   | 19,586654                      |
| 3       | 111                        | 0,010615                   | 14,334178                      |
| 4       | 167                        | 0,005283                   | 14,334178                      |
| 5       | 257                        | 0,003411                   | 14,334178                      |
| 6       | 560                        | 0,002137                   | 6,540177                       |

Tabla 32. Valores término de energía y término de potencia.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

A continuación agruparé las horas expuestas en la Tabla 26 de discriminaciones horarias según los periodos para poder facilitar la visualización y los siguientes cálculos.

| MES                    | Horas |    |    |    |    |    |
|------------------------|-------|----|----|----|----|----|
|                        | P1    | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| Enero                  | 6     | 10 | -  | -  | -  | 8  |
| Febrero                | 6     | 10 | -  | -  | -  | 8  |
| Marzo                  | -     | -  | 6  | 10 | -  | 8  |
| Abril                  | -     | -  | -  | -  | 16 | 8  |
| Mayo                   | -     | -  | -  | -  | 16 | 8  |
| Junio primera quincena | -     | -  | 6  | 10 | -  | 8  |
| Junio segunda quincena | 8     | 8  | -  | -  | -  | 8  |
| Julio                  | 8     | 8  | -  | -  | -  | 8  |
| Agosto                 | -     | -  | -  | -  | -  | 24 |
| Septiembre             | -     | -  | 6  | 10 | -  | 8  |
| Octubre                | -     | -  | -  | -  | 16 | 8  |
| Noviembre              | -     | -  | 6  | 10 | -  | 8  |
| Diciembre              | 6     | 10 | -  | -  | -  | 8  |

Tabla 33. Horas diarias trabajadas según la tarifa 6.1A.

A partir de los resultados de consumo de iluminación artificial, se estudiará la facturación para el supuesto que sólo se emplee iluminación artificial:

#### FACTURACIÓN PARA UN PERIODO ANUAL

Dicha empresa posee una tarifa de alta tensión de 6 periodos, en concreto una 6.1A. Es decir, los periodos tarifados son seis variando mes a mes. En fin de semana y festivos nacionales, las 24 horas del día son periodo P6, al igual que todos los días del año de 00:00 a 08:00 y el mes entero de Agosto. A partir de ello se puede dividir la factura eléctrica en tres subapartados los cuales son: el término de la energía, la energía eléctrica y el término de la potencia. A continuación, se verán con detalle.

- Realización del cálculo de término de potencia:

$$\text{Término de potencia (€)} = \sum_i P_i \cdot P_T \cdot N_i \quad (7)$$

Dónde:

$P_i$ : Precio de cada periodo (€/kWdía).

$P_T$ : Potencia total demandada por la planta (kW).

$N_i$ : Número de días trabajados del mes (día).

$i$ : Número del periodo.

| Mes                       | Término de potencia (€) |
|---------------------------|-------------------------|
| Enero                     | 3928,06                 |
| Febrero                   | 3547,92                 |
| Marzo                     | 3928,06                 |
| Abril                     | 1367,20                 |
| Mayo                      | 3928,06                 |
| Primera quincena de Junio | 1900,67                 |
| Segunda quincena de Junio | 1900,67                 |
| Julio                     | 3928,06                 |
| Agosto                    | 3928,06                 |
| Septiembre                | 3801,34                 |
| Octubre                   | 3928,06                 |
| Noviembre                 | 3801,34                 |
| Diciembre                 | 3928,06                 |
| <b>TOTAL</b>              | <b>43815,54</b>         |

Tabla 34. Término de potencia.

- Realización del cálculo del término de la energía eléctrica:

$$\text{Término de la energía eléctrica (€)} = \sum_i E_i \cdot P_i \quad (8)$$

Dónde:

$E_i$ : Energía eléctrica correspondiente a cada periodo (kWh).

$P_i$ : Precio de cada periodo (€/kWh).

$i$ : Número del periodo

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Dado que el término de energía eléctrica es diferente en cada mes se expondrá una tabla después de realizar los cálculos pertinentes:

| Mes                       | Término de energía eléctrica (€) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Enero                     | 1968,77                          |
| Febrero                   | 1774,13                          |
| Marzo                     | 675,14                           |
| Abril                     | 634,08                           |
| Mayo                      | 471,99                           |
| Primera quincena de Junio | 280,13                           |
| Segunda quincena de Junio | 916,38                           |
| Julio                     | 1916,07                          |
| Agosto                    | 287,21                           |
| Septiembre                | 560,25                           |
| Octubre                   | 519,19                           |
| Noviembre                 | 649,67                           |
| Diciembre                 | 2023,02                          |
| <b>TOTAL</b>              | <b>12676,03</b>                  |

Tabla 35. Termino de energía eléctrica.

Además, la electricidad entra dentro del grupo de impuestos especiales como pueden ser el alcohol, tabaco, etc. Por ello, se aplica un impuesto al consumo y a la potencia. Este impuesto se cobrará por parte del comercializador de energía y se remitirá al gobierno.

En la realización del cálculo del impuesto eléctrico, será la suma total de los valores obtenidos de término de energía eléctrica y del término de potencia. Se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Impuesto Eléctrico} = (TP + TEE) \cdot 1,05113 \cdot 4,864\% \quad (9)$$

Dónde:

TP: Término de potencia (€)

TEE: Término de energía eléctrica (€)

| Mes                       | TP + TEE (€)    | Impuesto sobre electricidad (€) |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Enero                     | 5896,83         | 301,49                          |
| Febrero                   | 5322,05         | 272,10                          |
| Marzo                     | 4603,20         | 235,35                          |
| Abril                     | 2001,28         | 102,32                          |
| Mayo                      | 4400,06         | 224,96                          |
| Primera quincena de Junio | 2180,80         | 111,50                          |
| Segunda quincena de Junio | 2817,05         | 144,03                          |
| Julio                     | 5844,13         | 298,79                          |
| Agosto                    | 4215,27         | 215,51                          |
| Septiembre                | 4361,59         | 222,99                          |
| Octubre                   | 4447,26         | 227,37                          |
| Noviembre                 | 4451,01         | 227,57                          |
| Diciembre                 | 5951,08         | 304,26                          |
| <b>TOTAL</b>              | <b>56491,59</b> | <b>2888,24</b>                  |

Tabla 36. Impuesto sobre electricidad.

Si dicha empresa no es propietaria del contador, que prácticamente muy pocas veces sucede el caso contrario, la distribuidora de electricidad cobrará el alquiler de este equipo de medida. Este alquiler será un coste mensual fijado por el Gobierno y que varía su precio en función del contador que se posea, el tipo de tarifa o la Comunidad Autónoma donde se encuentra.

En este caso, el equipo de medida empleado es para una tarifa de 6 periodos en la Comunidad Valenciana y su valor será de 98 €/mes.

Y una vez obtenidos todos los datos necesarios se obtendrá el importe del IVA:

$$IVA = (TP + TEE + IE + PAE) \cdot 21\% \quad (10)$$

Dónde:

TP: Término de potencia (€).

TEE: Término de energía eléctrica (€).

IE: Impuesto sobre electricidad (€).

PAE: Precio de alquiler del equipo de medida (€).

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

| <b>Mes</b>                | <b>TP + TEE + IE + PAE (€)</b> | <b>IVA (€)</b>  |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Enero                     | 6296,32                        | 1322,23         |
| Febrero                   | 5692,15                        | 1195,35         |
| Marzo                     | 4936,54                        | 1036,67         |
| Abril                     | 2201,60                        | 462,34          |
| Mayo                      | 4723,02                        | 991,83          |
| Primera quincena de Junio | 2390,29                        | 501,96          |
| Segunda quincena de Junio | 3059,08                        | 642,41          |
| Julio                     | 6240,92                        | 1310,59         |
| Agosto                    | 4528,79                        | 951,05          |
| Septiembre                | 4682,59                        | 983,34          |
| Octubre                   | 4772,63                        | 1002,25         |
| Noviembre                 | 4776,58                        | 1003,08         |
| Diciembre                 | 6353,34                        | 1334,20         |
| <b>TOTAL</b>              | <b>60653,84</b>                | <b>12737,31</b> |

Tabla 37. Cálculo del IVA.

Seguidamente, se obtienen los valores mensuales del importe total de la factura eléctrica en la siguiente tabla:

| <b>Mes</b>             | <b>Total factura eléctrica (€)</b> |
|------------------------|------------------------------------|
| Enero                  | 7618,55                            |
| Febrero                | 6887,50                            |
| Marzo                  | 5973,22                            |
| Abril                  | 2663,94                            |
| Mayo                   | 5714,85                            |
| Primera quincena Junio | 2892,25                            |
| Segunda quincena Junio | 3701,48                            |
| Julio                  | 7551,51                            |
| Agosto                 | 5479,83                            |
| Septiembre             | 5665,93                            |

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Octubre      | 5774,88         |
| Noviembre    | 5779,66         |
| Diciembre    | 7687,54         |
| <b>TOTAL</b> | <b>73391,14</b> |

Tabla 38. Importe total factura eléctrica.

Presupuesto de mantenimiento y renovación

Se tendrá en cuenta la vida útil de las luminarias. En este caso las luminarias que se van a emplear para iluminar la nave interior son unas DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN.

Este tipo de luminarias se tratan de lámparas de vapor sodio de alta presión cuya vida útil se encuentra entre 8.000 y 12.000 horas. Como vida útil media se tomará un valor de 10.000 horas. Si se efectúa la relación de horas medias útiles de vida con las horas trabajadas durante un año se adquiere el resultado de la vida útil en valor de los años. Teniendo en cuenta que se trabajan 272 días al año, serán 6.528 horas las que se trabajan en un año.

$$vida\ útil = \frac{10.000\ horas}{6.528\ horas/año} = 1,53\ años \quad (11)$$

Se obtiene que la vida útil del sistema de iluminación artificial, en el caso de sólo existir dicho método de iluminación sea de 1,53 años.

A partir de los resultados de consumo de iluminación artificial, se estudiará la facturación para el supuesto que sólo se emplee iluminación artificial. Recurriendo de nuevo a los datos de la base de datos de Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) del 2015 se sacará el presupuesto de mantenimiento y renovación de las luminarias.

| COD   | UD  | DESCRIPCIÓN                     | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO (€/ud) | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€) |
|-------|-----|---------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-----------|
| 01.01 | Ud  | <b>Colocación luminarias</b>    |             |                        |              |           |
|       | ud  | Luminaria                       | 1           | 60,00                  | 60,00        |           |
|       | hr  | Oficial 1ª electricidad         | 0,3         | 14,14                  | 4,24         |           |
|       | hr  | Peón electricidad               | 0,3         | 13,18                  | 3,95         |           |
|       | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0125      | 133,90                 | 1,67         |           |
|       | %   | Costes Directos                 | 0,02        | 69,87                  | 0,18         |           |
|       |     |                                 |             |                        |              |           |

Tabla 39. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 100% artificial.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

| COD   | UD | DESCRIPCIÓN                  | N  | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL     |
|-------|----|------------------------------|----|-------|-------|------|----------|-----------|
| 01.01 | ud | <b>Colocación luminarias</b> |    |       |       |      |          |           |
|       | ud | Luminarias                   | 31 |       |       |      | 31       |           |
|       |    |                              |    |       |       |      |          | <b>31</b> |

Tabla 40. Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial.

| COD   | DESCRIPCIÓN           | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)      |
|-------|-----------------------|--------------|----------------|
| 01.01 | Preparación del hueco | 2209,06      |                |
|       |                       |              | <b>2209,06</b> |

Tabla 41. Cuadro de precios parciales con iluminación 100% artificial.

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se sumarán: el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), los Gastos Generales (GG) donde emplearemos el 15% y el valor del Beneficio Industrial (BI) que se empleará el 6%.

Para finalizar se incluirá el IVA del 21% obteniendo así el presupuesto en base de licitación. De esta manera, el presupuesto final obtenido para la instalación de iluminación artificial es:

|   |         |
|---|---------|
| PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)        | 2209,06 |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€) | 2672,96 |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN(€)               | 3234,28 |

Tabla 42. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural con iluminación 100% artificial.

Gasto anual en el sistema de iluminación artificial

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| Gasto electricidad (€)                | 73391,14        |
| Gasto Renovación luminarias anual (€) | 3234,28         |
| <b>IMPORTE TOTAL (€)</b>              | <b>76625,42</b> |

Tabla 43. Gasto anual en iluminación con iluminación 100% artificial.

### 7.2.2. Iluminación mixta

Una vez realizada la instalación de la iluminación natural se tendrá que tener en cuenta la posibilidad del empleo completo de esta para trabajar o de iluminación mixta haciendo combinaciones de iluminación natural y de iluminación artificial.

La instalación de la iluminación artificial deberá estar siempre presente aunque los niveles de iluminación interiores cumplan con la Norma gracias a la instalación de la iluminación natural. Esto es debido, a que las condiciones meteorológicas varían constantemente, igualmente que hay que tener en cuenta que la empresa trabaja 24 horas diarias, lo cual obliga a la instalación de una instalación lumínica para las horas de trabajo nocturnas.

#### Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios

Antes que nada se deberá calcular el presupuesto de mantenimiento de los lucernarios de la planta. Para saber el importe económico que supondrá anualmente.

| COD   | UD  | DESCRIPCIÓN                         | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO (€/ud) | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)   |
|-------|-----|-------------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-------------|
| 01.01 | Ud  | <b>Mantenimiento de lucernarios</b> |             |                        |              |             |
|       | hr  | Operario                            | 0,1         | 12,00                  | 1,20         |             |
|       | día | Plataforma elevadora articulada     | 0,0125      | 133,90                 | 1,67         |             |
|       | %   | Costes Directos                     | 0,02        | 2,87                   | 0,06         |             |
|       |     |                                     |             |                        |              | <b>2,93</b> |

Tabla 44. Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de los lucernarios.

| COD   | UD | DESCRIPCIÓN                         | N   | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL      |
|-------|----|-------------------------------------|-----|-------|-------|------|----------|------------|
| 01.01 | ud | <b>Mantenimiento de lucernarios</b> |     |       |       |      |          |            |
|       | ud | Lucernarios                         | 160 | 1     | 3     |      | 480      |            |
|       |    |                                     |     |       |       |      |          | <b>480</b> |

Tabla 45. Cuadro de mediciones del mantenimiento de los lucernarios.

| COD   | DESCRIPCIÓN                         | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)      |
|-------|-------------------------------------|--------------|----------------|
| 01.01 | <b>Mantenimiento de lucernarios</b> | 1406,40      |                |
|       |                                     |              | <b>1406,40</b> |

Tabla 46. Cuadro de precios parciales del mantenimiento de los lucernarios.

## Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se realizará la suma de varios términos como son: el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), los Gastos Generales (GG) donde emplearemos el 15% y el valor del Beneficio Industrial (BI) que utilizaremos el 6%.

Para finalizar se incluirá el IVA obteniendo así el presupuesto en base de licitación. De esta manera, el presupuesto final obtenido para la instalación de iluminación natural es:

|   |         |
|---|---------|
| PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)        | 1406,40 |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€) | 1701,74 |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)              | 2059,11 |

**Tabla 47. Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios.**

El mantenimiento de los lucernarios es una acción que no es necesaria realizar todos los años, es más se tendrá en cuenta que dicho mantenimiento se realizará cada 5 años. De esta manera, el presupuesto total por año es de: 411,82 €.

A continuación, para obtener el balance de un sistema de iluminación mixta se deberán tener en cuenta los tres supuestos estudiados en el apartado 6.8. de iluminación artificial. Para ello, habrá que realizar una factura eléctrica para cada consumo eléctrico de los supuestos.

### **Supuesto 1: 100% iluminación artificial**

Para este supuesto se emplearía la factura eléctrica calculada anteriormente ya que era calculada para un funcionamiento completo de la iluminación artificial.

### **Supuesto 2: 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural**

De la misma manera que se ha ejecutado en el supuesto 2, se realizarán los cálculos pertinentes para un 30% de iluminación artificial en la planta.

En este caso la potencia demandada por el cliente de la planta variará debido a que el número de luminarias es menor de las 31 iniciales, en este caso pasan a ser 10 luminarias en funcionamiento.

| <b>Nombre</b>                         | <b>Ud</b> | <b>Potencia ud (kW)</b> | <b>Potencia (kW)</b> |
|---------------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|
| Molino jet                            | 1         | 6,30                    | 6,30                 |
| Tanque de agitación                   | 7         | 5,90                    | 41,30                |
| Cinta transportadora                  | 3         | 15,00                   | 45,00                |
| Equipo de envasado                    | 2         | 22,40                   | 44,80                |
| Luminarias                            | 10        | 0,42                    | 4,20                 |
| Batería de las carretillas elevadoras | 32        | 10,00                   | 320,00               |
| Tomas de corriente                    | 15        | 3,68                    | 55,20                |
| Tomas de corriente trifásica          | 45        | 10,00                   | 450,00               |
| <b>TOTAL</b>                          |           |                         | <b>925,50</b>        |

Tabla 48. Potencias de la planta industrial con un 30% iluminación artificial.

Al sufrir modificaciones la potencia demandada por la planta todo el balance económico de la factura eléctrica variará. Entonces, se tendrá que recalcular todos los cálculos pertinentes para hallar el valor total de un periodo anual con dicho supuesto.

En cuanto al término de potencia eléctrica para un consumo del 30% de iluminación artificial será el siguiente:

| <b>Mes</b>             | <b>Término de potencia (€)</b> |
|------------------------|--------------------------------|
| Enero                  | 3731,65                        |
| Febrero                | 3370,52                        |
| Marzo                  | 3731,65                        |
| Abril                  | 1298,84                        |
| Mayo                   | 3731,65                        |
| Primera quincena Junio | 1805,64                        |
| Segunda quincena Junio | 1805,64                        |
| Julio                  | 3731,65                        |
| Agosto                 | 3731,65                        |

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Septiembre   | 3611,28         |
| Octubre      | 3731,65         |
| Noviembre    | 3611,28         |
| Diciembre    | 3731,65         |
| <b>TOTAL</b> | <b>41624,76</b> |

Tabla 49. Término de potencia con un 30% iluminación artificial.

En cuanto al término de energía eléctrica para un consumo de un 30% de energía eléctrica empleando de restante la iluminación natural será el siguiente:

| Mes                    | Término de energía eléctrica (€) |
|------------------------|----------------------------------|
| Enero                  | 1870,34                          |
| Febrero                | 1685,42                          |
| Marzo                  | 641,38                           |
| Abril                  | 602,38                           |
| Mayo                   | 448,40                           |
| Primera quincena Junio | 266,12                           |
| Segunda quincena Junio | 870,56                           |
| Julio                  | 1820,26                          |
| Agosto                 | 272,85                           |
| Septiembre             | 532,24                           |
| Octubre                | 493,24                           |
| Noviembre              | 617,19                           |
| Diciembre              | 1921,86                          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>12042,23</b>                  |

Tabla 50. Término de energía eléctrica con un 30% iluminación artificial.

Para poder realizar el cálculo del impuesto eléctrico, se ha de atender a una ecuación específica que es la ecuación número 9. Así que, hay que realizar la suma del término de potencia con el término de energía eléctrica calculada anteriormente.

| Mes                    | TP + TEE (€)    | Impuesto sobre electricidad (€) |
|------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Enero                  | 5601,99         | 286,41                          |
| Febrero                | 5055,95         | 258,50                          |
| Marzo                  | 4373,03         | 223,58                          |
| Abril                  | 1901,22         | 97,20                           |
| Mayo                   | 4180,05         | 213,71                          |
| Primera quincena Junio | 2071,76         | 105,92                          |
| Segunda quincena Junio | 2676,20         | 136,83                          |
| Julio                  | 5551,92         | 283,85                          |
| Agosto                 | 4004,50         | 204,74                          |
| Septiembre             | 4143,52         | 211,85                          |
| Octubre                | 4224,89         | 216,01                          |
| Noviembre              | 4228,46         | 216,19                          |
| Diciembre              | 5653,52         | 289,05                          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>53666,99</b> | <b>2743,83</b>                  |

Tabla 51. Impuesto sobre electricidad con un 30% de iluminación artificial.

Antes de realizar el cálculo del IVA se debe añadir el alquiler del equipo de medida tienen este un coste de 98 €/mes. Por tanto, el IVA queda calculado de la siguiente manera:

| Mes                    | TP + TEE + IE + PAE (€) | IVA (€) |
|------------------------|-------------------------|---------|
| Enero                  | 5986,40                 | 1257,14 |
| Febrero                | 5412,44                 | 1136,61 |
| Marzo                  | 4694,61                 | 985,87  |
| Abril                  | 2096,42                 | 440,25  |
| Mayo                   | 4491,76                 | 943,27  |
| Primera quincena Junio | 2275,68                 | 477,89  |
| Segunda quincena Junio | 2911,03                 | 611,32  |
| Julio                  | 5933,77                 | 1246,09 |
| Agosto                 | 4307,24                 | 904,52  |
| Septiembre             | 4453,36                 | 935,21  |

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

|              |                 |                 |
|--------------|-----------------|-----------------|
| Octubre      | 4538,89         | 953,17          |
| Noviembre    | 4542,65         | 953,96          |
| Diciembre    | 6040,56         | 1268,52         |
| <b>TOTAL</b> | <b>57684,82</b> | <b>12113,81</b> |

Tabla 52. Cálculo del IVA con un 30% de iluminación artificial.

Seguidamente, se calcularán los valores del importe total de la factura eléctrica quedando de la siguiente manera:

| Mes                    | Total factural eléctrica (€) |
|------------------------|------------------------------|
| Enero                  | 7243,54                      |
| Febrero                | 6549,06                      |
| Marzo                  | 5680,48                      |
| Abril                  | 2536,67                      |
| Mayo                   | 5435,03                      |
| Primera quincena Junio | 2753,57                      |
| Segunda quincena Junio | 3522,34                      |
| Julio                  | 7179,86                      |
| Agosto                 | 5211,76                      |
| Septiembre             | 5388,57                      |
| Octubre                | 5492,06                      |
| Noviembre              | 5496,61                      |
| Diciembre              | 7309,08                      |
| <b>TOTAL</b>           | <b>69798,64</b>              |

Tabla 53. Importe total factura eléctrica con un 30% de iluminación artificial.

Presupuesto de mantenimiento para 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural

Se calculará a continuación el presupuesto de mantenimiento para el empleo de un 30% de iluminación artificial.

| COD   | UD  | DESCRIPCIÓN                     | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO (€/ud) | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€) |
|-------|-----|---------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-----------|
| 01.01 | Ud  | <b>Colocación luminarias</b>    |             |                        |              |           |
|       | ud  | Luminaria                       | 1           | 60,00                  | 60,00        |           |
|       | hr  | Oficial 1ª electricidad         | 0,3         | 14,14                  | 4,24         |           |
|       | hr  | Peón electricidad               | 0,3         | 13,18                  | 3,95         |           |
|       | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0125      | 133,90                 | 1,67         |           |
|       | %   | Costes Directos                 | 0,02        | 69,87                  | 0,18         |           |
|       |     |                                 |             |                        |              |           |

Tabla 54. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 30% artificial.

| COD   | UD | DESCRIPCIÓN                  | N  | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL     |
|-------|----|------------------------------|----|-------|-------|------|----------|-----------|
| 01.01 | ud | <b>Colocación luminarias</b> |    |       |       |      |          |           |
|       | ud | Luminarias                   | 10 |       |       |      | 10       |           |
|       |    |                              |    |       |       |      |          | <b>10</b> |

Tabla 55. Cuadro de mediciones con iluminación 30% artificial.

| COD   | DESCRIPCIÓN                  | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)     |
|-------|------------------------------|--------------|---------------|
| 01.01 | <b>Colocación luminarias</b> | 712,60       |               |
|       |                              |              | <b>712,60</b> |

Tabla 56. Cuadro de precios parciales con iluminación 30% artificial.

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se sumarán: el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), los Gastos Generales (GG) donde emplearemos el 15% y el valor del Beneficio Industrial (BI) que se empleará el 6%.

Para finalizar se incluirá el IVA del 21% obteniendo de esta manera el presupuesto en base de licitación. Así, el presupuesto final obtenido para la instalación de iluminación artificial es:

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

|   |         |
|---|---------|
| PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)        | 712,60  |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€) | 862,25  |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN(€)               | 1043,32 |

**Tabla 57. Presupuesto del mantenimiento con iluminación 30% artificial.**

Para el cálculo del mantenimiento de las luminarias anualmente se deberá tener en cuenta el valor cálculo en el apartado 7.2.1. de iluminación artificial donde el factor de vida útil es de 1,53 años.

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| PRESUPUESTO TOTAL (€)         | 1043,32 |
| PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO (€) | 862,25  |

**Tabla 58. Presupuesto del mantenimiento total por año con iluminación 30% artificial.**

Gasto anual en el sistema para 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural

|   |                 |
|---|-----------------|
| Gasto electricidad (€)                    | 69798,64        |
| Gasto Renovación luminarias anual (€)     | 1043,32         |
| Gasto Mantenimiento lucernarios anual (€) | 411,82          |
| <b>IMPORTE TOTAL (€)</b>                  | <b>71253,78</b> |

**Tabla 59. Gasto anual en iluminación con iluminación 30% artificial.**

**Supuesto 3: 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural**

En este caso la potencia demandada por el cliente de la planta variará debido a que el número de luminarias es menor, concretamente pasan de ser 31 a ser 7 luminarias en funcionamiento.

| Nombre                                | Ud | Potencia ud (kW) | Potencia (kW) |
|---------------------------------------|----|------------------|---------------|
| Molino jet                            | 1  | 6,30             | 6,30          |
| Tanque de agitación                   | 7  | 5,90             | 41,30         |
| Cinta transportadora                  | 3  | 15,00            | 45,00         |
| Equipo de envasado                    | 2  | 22,40            | 44,80         |
| Luminarias                            | 7  | 0,42             | 2,94          |
| Batería de las carretillas elevadoras | 32 | 10,00            | 320,00        |
| Tomas de corriente                    | 15 | 3,68             | 55,20         |
| Tomas de corriente trifásica          | 45 | 10,00            | 450,00        |
| <b>TOTAL</b>                          |    |                  | <b>920,54</b> |

**Tabla 60. Potencias de la planta industrial con un 20% iluminación artificial.**

Al sufrir modificaciones la potencia demandada por la planta toda la tarifa variará su valor. Por ello, se tendrá que recalculer todos los cálculos pertinentes para hallar el valor total de un año de campaña con dicho supuesto.

En cuanto al término de potencia eléctrica para un consumo del 20% de iluminación artificial será el siguiente:

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

| Mes                       | Término de potencia (€) |
|---------------------------|-------------------------|
| Enero                     | 3653,09                 |
| Febrero                   | 3299,57                 |
| Marzo                     | 3653,09                 |
| Abril                     | 1271,50                 |
| Mayo                      | 3653,09                 |
| Primera quincena<br>Junio | 1767,62                 |
| Segunda quincena<br>Junio | 1767,62                 |
| Julio                     | 3653,09                 |
| Agosto                    | 3653,09                 |
| Septiembre                | 3535,25                 |
| Octubre                   | 3653,09                 |
| Noviembre                 | 3535,25                 |
| Diciembre                 | 3653,09                 |
| <b>TOTAL</b>              | <b>40748,45</b>         |

Tabla 61. Término de potencia con un 20% iluminación artificial.

En cuanto al término de energía eléctrica para un consumo de un 20% de energía eléctrica empleando de restante la iluminación natural será el siguiente:

| Mes                       | Término de energía eléctrica (€) |
|---------------------------|----------------------------------|
| Enero                     | 1830,96                          |
| Febrero                   | 1649,94                          |
| Marzo                     | 627,88                           |
| Abril                     | 589,69                           |
| Mayo                      | 438,96                           |
| Primera quincena<br>Junio | 260,52                           |
| Segunda quincena<br>Junio | 852,23                           |
| Julio                     | 1781,94                          |
| Agosto                    | 267,11                           |
| Septiembre                | 521,03                           |
| Octubre                   | 482,85                           |

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Noviembre    | 604,19          |
| Diciembre    | 1881,40         |
| <b>TOTAL</b> | <b>11788,71</b> |

Tabla 62. Término de energía eléctrica con un 20% iluminación artificial.

Para poder realizar el cálculo del impuesto eléctrico, como bien se había comentado anteriormente, se ha de atender a una ecuación específica que es la ecuación número 9. Para ello, hay que realizar la suma del término de potencia con el término de energía eléctrica calculadas ambas anteriormente.

| Mes                    | TP + TEE (€)    | Impuesto sobre electricidad (€) |
|------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Enero                  | 5484,05         | 280,38                          |
| Febrero                | 4949,51         | 253,05                          |
| Marzo                  | 4280,97         | 218,87                          |
| Abril                  | 1861,19         | 95,16                           |
| Mayo                   | 4092,05         | 209,21                          |
| Primera quincena Junio | 2028,14         | 103,69                          |
| Segunda quincena Junio | 2619,86         | 133,95                          |
| Julio                  | 5435,03         | 277,88                          |
| Agosto                 | 3920,20         | 200,43                          |
| Septiembre             | 4056,28         | 207,39                          |
| Octubre                | 4135,94         | 211,46                          |
| Noviembre              | 4139,44         | 211,64                          |
| Diciembre              | 5534,50         | 282,96                          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>52537,16</b> | <b>2686,07</b>                  |

Tabla 63. Impuesto sobre electricidad con un 20% de iluminación artificial.

Antes de realizar el cálculo del IVA se debe añadir el alquiler del equipo de medida tienen este un coste de 98 €/mes. Por tanto, el IVA queda calculado de la siguiente manera:

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

| Mes                       | TP + TEE + IE<br>+ PAE (€) | IVA (€)         |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| Enero                     | 5862,43                    | 1231,11         |
| Febrero                   | 5300,56                    | 1113,12         |
| Marzo                     | 4597,84                    | 965,55          |
| Abril                     | 2054,35                    | 431,41          |
| Mayo                      | 4399,26                    | 923,84          |
| Primera quincena<br>Junio | 2229,83                    | 468,27          |
| Segunda quincena<br>Junio | 2851,80                    | 598,88          |
| Julio                     | 5810,91                    | 1220,29         |
| Agosto                    | 4218,63                    | 885,91          |
| Septiembre                | 4361,67                    | 915,95          |
| Octubre                   | 4445,40                    | 933,53          |
| Noviembre                 | 4449,08                    | 934,31          |
| Diciembre                 | 5915,46                    | 1242,25         |
| <b>TOTAL</b>              | <b>56497,23</b>            | <b>11864,42</b> |

Tabla 64. Cálculo del IVA con un 20% de iluminación artificial.

Seguidamente, se realizarán los cálculos pertinentes para hallar los valores del importe total de la factura eléctrica quedando de la siguiente manera:

| Mes                       | Total factura<br>eléctrica (€) |
|---------------------------|--------------------------------|
| Enero                     | 7093,55                        |
| Febrero                   | 6413,68                        |
| Marzo                     | 5563,39                        |
| Abril                     | 2485,76                        |
| Mayo                      | 5323,11                        |
| Primera quincena<br>Junio | 2698,10                        |
| Segunda quincena<br>Junio | 3450,68                        |
| Julio                     | 7031,20                        |
| Agosto                    | 5104,54                        |
| Septiembre                | 5277,62                        |

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Octubre      | 5378,94         |
| Noviembre    | 5383,39         |
| Diciembre    | 7157,70         |
| <b>TOTAL</b> | <b>68361,65</b> |

Tabla 65. Importe total factura eléctrica con un 20% de iluminación artificial.

Presupuesto de mantenimiento para 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural

Para el cálculo del mantenimiento de las luminarias se deberá tener en cuenta el valor cálculo en el apartado 7.2.1. de iluminación artificial donde el factor de vida útil es de 1,53 años. A partir de este dato se podrá calcular el presupuesto de mantenimiento para el empleo de un 20% de iluminación artificial.

| COD   | UD  | DESCRIPCIÓN                     | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO (€/ud) | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€) |
|-------|-----|---------------------------------|-------------|------------------------|--------------|-----------|
| 01.01 | Ud  | <b>Colocación luminarias</b>    |             |                        |              |           |
|       | ud  | Luminaria                       | 1           | 60,00                  | 60,00        |           |
|       | hr  | Oficial 1ª electricidad         | 0,3         | 14,14                  | 4,24         |           |
|       | hr  | Peón electricidad               | 0,3         | 13,18                  | 3,95         |           |
|       | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0125      | 133,90                 | 1,67         |           |
|       | %   | Costes Directos                 | 0,02        | 69,87                  | 0,18         |           |
|       |     |                                 |             |                        |              |           |

Tabla 66. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 20% artificial.

| COD   | UD | DESCRIPCIÓN                  | N | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL    |
|-------|----|------------------------------|---|-------|-------|------|----------|----------|
| 01.01 | ud | <b>Colocación luminarias</b> |   |       |       |      |          |          |
|       | ud | Luminarias                   | 7 |       |       |      | 7        |          |
|       |    |                              |   |       |       |      |          | <b>7</b> |

Tabla 67. Cuadro de mediciones con iluminación 20% artificial.

| COD   | DESCRIPCIÓN                  | SUBTOTAL (€) | TOTAL (€)     |
|-------|------------------------------|--------------|---------------|
| 01.01 | <b>Colocación luminarias</b> | 498,82       |               |
|       |                              |              | <b>498,82</b> |

Tabla 68. Cuadro de precios parciales con iluminación 20% artificial.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se sumarán: el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), los Gastos Generales (GG) donde emplearemos el 15% y el valor del Beneficio Industrial (BI) que se empleará el 6%.

Para finalizar se incluirá el IVA del 21% obteniendo de esta manera el presupuesto en base de licitación. Así, el presupuesto final obtenido para la instalación de iluminación artificial es:

|   |        |
|---|--------|
| PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)        | 498,82 |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€) | 603,57 |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN(€)               | 730,32 |

**Tabla 69. Presupuesto del mantenimiento con iluminación 20% artificial.**

Para el cálculo del mantenimiento de las luminarias anualmente se deberá tener en cuenta el valor de vida útil que es de 1,53 años.

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| PRESUPUESTO TOTAL (€)         | 730,32 |
| PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO (€) | 477,33 |

**Tabla 70. Presupuesto del mantenimiento total por año con iluminación 20% artificial.**

Gasto anual en el sistema para 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural

|   |                 |
|---|-----------------|
| Gasto electricidad (€)                    | 68361,65        |
| Gasto Renovación luminarias anual (€)     | 477,33          |
| Gasto Mantenimiento lucernarios anual (€) | 411,82          |
| <b>IMPORTE TOTAL (€)</b>                  | <b>69250,80</b> |

**Tabla 71. Gasto anual en iluminación con iluminación 20% artificial.**

### 7.2.3. Análisis económico

Se realizará una comparación de los sistemas de iluminación artificial al completo con los supuestos de la iluminación mixta para poder visualizar las diferencias apreciables en cuanto a consumo y ahorro.

| Supuesto                    | Gasto (€) | Ahorro (€) |
|-----------------------------|-----------|------------|
| 100% iluminación artificial | 76625,42  | -          |
| 30% iluminación artificial  | 71253,78  | 5371,64    |
| 20% iluminación artificial  | 69250,80  | 7374,62    |

**Tabla 72. Tabla resumen del ahorro en el sistema de iluminación.**

Un proyecto siempre es importante analizar la rentabilidad del proyecto que se quiera realizar. Este paso es de gran importancia dado que la empresa debe invertir un capital que espera obtener en unos años y una rentabilidad de dicho proyecto al cabo de pasados unos años más.

Con el fin de realizar la comprobación de viabilidad del proyecto se deberán calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).

La ecuación que permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (12)$$

Dónde:

V: movimientos de fondos de cada periodo (€)

T: horizonte temporal

t: cada periodo

i: interés (en tanto por 1)

$I_0$ : inversión inicial (€)

Lo ideal de dicho cálculo sería que diera un valor positivo, lo cual indicaría que el proyecto es rentable. Poseer un VAN de cero, no es rentable dado que no se obtiene ningún tipo de beneficio.

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es el valor del interés para un valor del VAN de cero y mide lo que rinde el proyecto. Por ello, el valor del TIR debe ser mayor al interés de mercado.

Con todo ello, los valores de VAN y TIR se muestran a continuación:

| Supuesto       | $I_0$ (€) | V(€)    | VAN 2% (€) | VAN 4% (€) | VAN 6% (€) | VAN 8% (€) | TIR (%) |
|----------------|-----------|---------|------------|------------|------------|------------|---------|
| 20% artificial | 57526,51  | 5371,64 | 47346,47   | 26389,68   | 11141,08   | -185,46    | 7,96    |
| 30% artificial | 57526,51  | 7374,62 | 86451,56   | 57680,39   | 36745,88   | 21195,91   | 12,08   |

Tabla 73. VAN y TIR

Dando la suposición de 25 años de vida útil para el sistema de iluminación natural será rentable simplemente en los siguientes casos a realizar iluminaciones mixtas:

- 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural: Siempre y cuando los intereses sean menores del 7,96%.
- 30% iluminación artificial + 70% iluminación natural: Siempre y cuando los intereses sean menores del 12,08%.

## 8. CONCLUSIONES

Las conclusiones extraídas de este trabajo son:

- De las cuatro propuestas estudiadas de iluminación de ventanales en cubierta, se ha obtenido una que cumple los niveles de iluminación interior expuestos en la Norma UNE-EN 12464.1, los niveles de uniformidad dentro de la planta y con la inexistencia de deslumbramientos.
- No ha existido exceso de iluminación natural incidida en la planta en la escena de luz más comprometida que era la del 23 de Junio. Por tanto, no existe la necesidad de colocar elementos intermedios para eliminar los excesos de iluminación lumínica en las épocas de verano.
- Se ha calculado el coste de utilización de luz artificial dado que para el correcto funcionamiento de la planta durante todas las jornadas de trabajo no es suficiente la iluminación natural, sobre todo en los turnos de trabajo nocturnos.
- En la tarifa eléctrica se observa el elevado coste dado que el empleo de las luminarias durante las jornadas laborables se consideraba que eran empleadas al 100%.
- La comparación económica para poder observar si el proyecto de la inserción de lucernarios era aconsejable, se ha realizado calculando el coste del mantenimiento de éstos y el valor de la instalación de ellos.
- La realización de la iluminación mixta es una opción viable dado que, en el estudio se observa que los gastos son menores teniendo en cuenta todos los posibles costes de las luminarias y de los lucernarios. Por tanto, es más económico realizar un empleo porcentual de las luminarias que el empleo completo de éstas.
- En la ejecución del análisis económico, con la ayuda del cálculo del VAN y del TIR es donde se averigua si es aconsejable llevar a cabo el proyecto o no. En este caso, ha salido favorable dado que los valores del TIR son del 7,96% y 12,08%. Por consiguiente, se puede señalar que es económicamente viable la realización de la instalación de iluminación natural en la planta química industrial.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Registro oficial de productores y operadores de medios de defensa fitosanitario (ROPO). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

García Fernández, J., Boix Aragonès, O. (2009). *Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores*.

UNE 12464.1. *Norma Europea sobre Iluminación para Interiores*.

Base de Precios del IVE (2015). *Instituto Valenciano de la Edificación*.

Guía técnica: Aprovechamiento de la luz natural (2015). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Viñoles Cebolla, R., Fuentes Bargas, J., Vivancos Bono, J. (2002). *Cuestiones resueltas de oficina técnica y gestión de proyectos*.

[www.diccionariofinanciero.com](http://www.diccionariofinanciero.com)

[www.idae.es](http://www.idae.es)

[www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es)

[www.ine.es](http://www.ine.es)

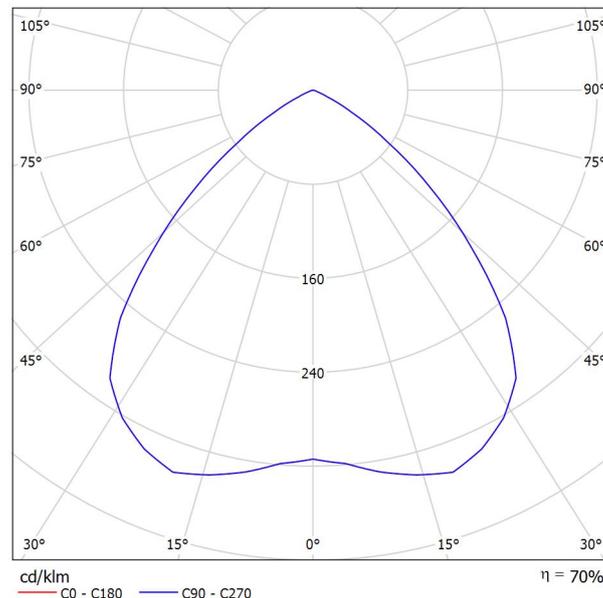
Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a producción de fitosanitarios

# **ANEXO 1 - LUMINARIA**

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

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

Emisión de luz 1:



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 Vorschaltgeräte-Gehäuse aus Aluminium-Druckguß wieder lösbar 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 mm<sup>2</sup>. Leitungseinführung durch Kabelverschraubung PG16. Durchgangsverdrahtung über ausbrechbare 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 Kunststoffgehäuse 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 wahlweise mit Abdeckung aus temperaturwechselbeständigem Sicherheitsglas mit umlaufender Profilmidichtung und werkzeuglos bedienbaren Verschlüssen aus rostfreiem Stahl zur Erhöhung der Schutzart auf IP 54.

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

Emisión de luz 1:

| Valoración de deslumbramiento según UGR  |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| ρ Techo  | 70   | 70   | 50   | 50   | 30   | 70  | 50   | 50   | 30   |      |
| ρ Paredes  | 50   | 30   | 50   | 30   | 30   | 50  | 30   | 50   | 30   |      |
| ρ Suelo  | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20  | 20   | 20   | 20   |      |
| Tamaño del local<br>X Y  | Mirado en perpendicular<br>al eje de lámpara |      |      |      |      | Mirado longitudinalmente<br>al eje de lámpara |      |      |      |      |
| 2H   | 2H   | 27.5 | 26.8 | 27.7 | 27.9 | 26.5  | 27.5 | 26.8 | 27.7 | 27.9 |
| 3H   | 2H   | 26.4 | 27.3 | 26.7 | 27.5 | 27.8  | 26.4 | 27.3 | 26.7 | 27.5 |
| 4H   | 2H   | 26.3 | 27.2 | 26.6 | 27.4 | 27.7  | 26.3 | 27.2 | 26.6 | 27.4 |
| 6H   | 2H   | 26.3 | 27.0 | 26.6 | 27.3 | 27.6  | 26.3 | 27.0 | 26.6 | 27.3 |
| 8H   | 2H   | 26.2 | 26.9 | 26.6 | 27.2 | 27.6  | 26.2 | 26.9 | 26.6 | 27.2 |
| 12H  | 2H   | 26.2 | 26.9 | 26.5 | 27.2 | 27.5  | 26.2 | 26.9 | 26.5 | 27.2 |
| 2H   | 4H   | 26.5 | 27.3 | 26.8 | 27.5 | 27.8  | 26.5 | 27.3 | 26.8 | 27.5 |
| 3H   | 4H   | 26.4 | 27.0 | 26.7 | 27.4 | 27.7  | 26.4 | 27.0 | 26.7 | 27.4 |
| 4H   | 4H   | 26.3 | 26.9 | 26.7 | 27.2 | 27.6  | 26.3 | 26.9 | 26.7 | 27.2 |
| 6H   | 4H   | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.1 | 27.5  | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.1 |
| 8H   | 4H   | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.0 | 27.5  | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.0 |
| 12H  | 4H   | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 | 27.4  | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 |
| 2H   | 6H   | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.0 | 27.4  | 26.2 | 26.7 | 26.6 | 27.0 |
| 3H   | 6H   | 26.1 | 26.5 | 26.6 | 26.9 | 27.4  | 26.1 | 26.5 | 26.6 | 26.9 |
| 4H   | 6H   | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 |
| 6H   | 6H   | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 |
| 2H   | 8H   | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 | 27.4  | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 |
| 3H   | 8H   | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 |
| 4H   | 8H   | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 |
| 2H   | 12H  | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 | 27.4  | 26.2 | 26.6 | 26.6 | 27.0 |
| 3H   | 12H  | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.1 | 26.4 | 26.5 | 26.8 |
| 4H   | 12H  | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 | 27.3  | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.8 |
| Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias   |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
| S = 1.0H   | +1.1 / -2.2                                  |      |      |      |      | +1.1 / -2.2                                   |      |      |      |      |
| S = 1.5H   | +2.6 / -6.8                                  |      |      |      |      | +2.6 / -6.8                                   |      |      |      |      |
| S = 2.0H   | +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 |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |

## **ANEXO 2 - PLANOS**

