



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL 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 LA FABRICACIÓN DE CERVEZA.

AUTOR: Cristóbal Gascón Parrilla

TUTOR: M^a Cristina Santamarina Siurana

Selección

Curso Académico: 2019-20

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se va a realizar un estudio sobre la posibilidad de instalar un sistema de iluminación natural en una planta industrial que se encuentra únicamente iluminada por luminarias artificiales. Dicha nave se dedica a la fabricación de cerveza y está ubicada en el polígono industrial L'Espartal III, Xixona, Alicante.

En la primera parte del trabajo, se explica el proceso productivo que se tiene, realizando un contexto económico previo del sector de la cerveza, así como la descripción de la distribución en planta de la fábrica objeto de estudio.

En segundo lugar, se estudian los diferentes tipos de sistemas de iluminación que existen, así como los fundamentos de la iluminación natural. También se especifica un método de analítico, mediante el cual, calcular la superficie de las aberturas del sistema de iluminación natural que se desea instalar.

En tercer lugar, se proponen tres alternativas arquitectónicas para el diseño de iluminación natural de acuerdo con las necesidades de iluminación de la fábrica. A continuación, se simulan las tres propuestas mediante la herramienta DIALux, la cual simula la distribución de la iluminación natural en el interior de la nave. Posteriormente, se selecciona la mejor de las tres propuestas conforme el análisis de resultados y se ejecutan una serie de mejoras para obtener un sistema de iluminación natural definitivo.

Por último, se elabora un análisis económico del proyecto. Se calculan los gastos eléctricos del sistema de iluminación artificial y del sistema de iluminación mixto, como también el gasto que supone la instalación del sistema de iluminación natural. Se obtiene el ahorro energético que supone la instalación de dicho sistema y se calcula la viabilidad económica del proyecto.

Palabras clave: sistema de iluminación natural y ahorro energético.

PRÓLOGO

El presente trabajo de fin de grado fue escogido en base al interés surgido en la asignatura optativa "*Construcción y arquitectura Industrial*", cursada en el actual curso de la titulación de Ingeniería Química. Dicha asignatura resultó ser algo muy novedoso para aquellos alumnos que decidimos escogerla, puesto que se explicaron conceptos de ingeniería competentes para la profesión que no fueron muy desarrollados a lo largo de la carrera.

En este proyecto se han despertado intereses en mí que tenía adormecidos, pues echaba en falta la motivación que supone realizar un trabajo de estas características, con toda la labor de investigación y esfuerzo que supone realizarlo. También he sentido un gran interés acerca del sector de la ingeniería de la construcción, planteándome en un futuro, poder llegar a especializarme en la materia.

Para finalizar, quería agradecer todo el trabajo realizado por mi tutora, tanto a la ayuda que nos ha dado para realizar este proyecto, como su labor educativa, contagiando el entusiasmo que posee en su asignatura al resto de alumnos. También dar gracias a mi familia, por esforzarse para darme una educación y apoyarme en las decisiones que he ido tomando a lo largo de mi vida.

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMÁGENES página 3

ÍNDICE DE TABLAS página 4

ÍNDICE DE ECUACIONES página 5

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 6 |
| 3. | EL SECTOR DE LA CERVEZA EN ESPAÑA..... | 7 |
| 4. | PROCESO PRODUCTIVO..... | 9 |
| 4.1. | Malteado..... | 9 |
| 4.2. | Cocción..... | 11 |
| 4.3. | Fermentación..... | 12 |
| 4.4. | Envasado..... | 13 |
| 5. | DISTRIBUCIÓN EN PLANTA..... | 15 |
| 6. | ILUMINACIÓN..... | 16 |
| 6.1. | Tipos de iluminación..... | 16 |
| 6.2. | Sistemas de iluminación natural..... | 16 |
| 6.3. | Fundamentos iluminación natural..... | 18 |
| 6.4. | Requerimientos..... | 19 |
| 6.4.1. | Eficiencia energética en iluminación establecida por el CTE..... | 19 |
| 6.5. | Métodos de cálculo..... | 20 |
| 6.5.1. | Método analítico..... | 20 |
| 6.6. | Criterios de aceptación del sistema de iluminación natural..... | 22 |
| 7. | DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL..... | 23 |
| 7.1. | Presentación de las propuestas..... | 26 |
| 7.1.1. | Propuesta 1..... | 27 |
| 7.1.2. | Propuesta 2..... | 29 |
| 7.1.3. | Propuesta 3..... | 31 |
| 7.2. | Criterios de simulación en DIALux..... | 32 |
| 8. | PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS..... | 33 |
| 8.1. | PRESENTACION DE RESULTADOS..... | 34 |
| 8.1.1. | Propuesta 1..... | 34 |
| 8.1.2. | Propuesta 2..... | 36 |
| 8.1.3. | Propuesta 3..... | 38 |
| 8.2. | Análisis de resultados..... | 42 |

| | | |
|---------|---|----|
| 8.3. | PROPUESTA 4. | 45 |
| 8.3.1. | PRESENTACION DE RESULTADOS PROPUESTA 4. | 47 |
| 8.3.2. | ANALISIS DE RESULTADOS DE LA PROPUESTA 4 | 49 |
| 9. | ILUMINACIÓN ARTIFICIAL. | 51 |
| 9.1. | Eficiencia energética. | 52 |
| 10. | ANÁLISIS ECONÓMICO | 54 |
| 10.1. | Cálculo de la factura eléctrica | 54 |
| 10.1.1. | Caso 1: 100% uso de iluminación artificial. | 56 |
| 10.1.2. | Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural. | 57 |
| 10.1.3. | Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural. | 58 |
| 10.2. | Resumen de los gastos anuales. | 60 |
| 10.2.1. | Caso 1: 100% uso de iluminación artificial. | 60 |
| 10.2.2. | Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural. | 60 |
| 10.2.3. | Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural. | 60 |
| 10.3. | Ahorro calculado. | 61 |
| 10.3.1. | Ahorro gasto factura eléctrica. | 61 |
| 10.3.2. | Ahorro en la renovación de las luminarias. | 61 |
| 10.3.3. | Ahorro TOTAL. | 61 |
| 10.4. | Cálculo de la rentabilidad del proyecto | 62 |
| 11. | CONCLUSIONES | 64 |
| 12. | BIBLIOGRAFÍA | 65 |

ANEXO 1 página 66

ANEXO 2 página 73

ANEXO 3 página 75

ÍNDICE DE IMAGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Evolución del consumo de cerveza entre 2009-2018. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018..... | 7 |
| Imagen 2. Evolución de la producción de cerveza entre 2009-2018. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018..... | 8 |
| Imagen 3. Producción de cerveza en los países europeos. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018..... | 8 |
| Imagen 4. Grano de cebada..... | 10 |
| Imagen 5. Tostado de la cebada. | 10 |
| Imagen 6. Dextrinización-Sacarificación del almidón..... | 11 |
| Imagen 7. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de cerveza..... | 14 |
| Imagen 8. Distribución en planta de la fábrica..... | 15 |
| Imagen 9. Tipos básicos de sistemas de iluminación..... | 17 |
| Imagen 10. Distribución anual de la iluminación horizontal al aire libre en Valencia (latitud 30°)..... | 17 |
| Imagen 11. Tipos de radiación que inciden sobre una superficie..... | 18 |
| Imagen 12. Captación de bóveda celeste. Fuente PoliformaTUPV. | 21 |
| Imagen 13. Curva factor reducción ventana-muro. Fuente PoliformaTUPV. | 21 |
| Imagen 14: Sectorización por áreas de la planta industrial. | 23 |
| Imagen 15: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux. | 27 |
| Imagen 16: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux. | 28 |
| Imagen 17: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux. | 28 |
| Imagen 18: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux. | 29 |
| Imagen 19: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux. | 30 |
| Imagen 20: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux. | 30 |
| Imagen 21: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux. | 31 |
| Imagen 22: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux. | 31 |
| Imagen 23: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux. | 32 |
| Imagen 24. Isolíneas del plano útil. Propuesta 1. 23 de junio 14:00 horas..... | 34 |
| Imagen 25. Valor de las isolíneas del plano útil. | 34 |
| Imagen 26. Isolíneas del plano útil. Propuesta 1. 20 de diciembre 14:00 horas..... | 35 |
| Imagen 27. Valor de las isolíneas del plano útil. | 35 |
| Imagen 28. Isolíneas del plano útil. Propuesta 2. 23 de junio 14:00 horas..... | 36 |
| Imagen 29. Valor de las isolíneas del plano útil. | 36 |
| Imagen 30. Isolíneas del plano útil. Propuesta 2. 20 de diciembre 9:00 horas..... | 37 |
| Imagen 31. Valor de las isolíneas del plano útil. | 37 |
| Imagen 32. Isolíneas del plano útil. Propuesta 3. 23 de junio 14:00 horas..... | 38 |
| Imagen 33. Valor de las isolíneas del plano útil. | 38 |
| Imagen 34. Isolíneas del plano útil. Propuesta 3. 20 de diciembre 14:00 horas..... | 39 |
| Imagen 35. Valor de las isolíneas del plano útil. | 39 |
| Imagen 36. Deslumbramiento que produce la luz solar en el ojo humano. | 40 |
| Imagen 37. Deslumbramiento en la nave industrial. Fuente AutoCAD..... | 40 |
| Imagen 38. Deslumbramiento en la nave industrial. Fuente AutoCAD..... | 41 |
| Imagen 39: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux. | 46 |
| Imagen 40: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux. | 46 |
| Imagen 41: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux. | 47 |
| Imagen 42. Isolíneas del plano útil. Propuesta 4. 23 de junio 14:00 horas. | 47 |

| | |
|--|----|
| Imagen 43. Valor de las isolíneas del plano útil. | 47 |
| Imagen 44. Isolíneas del plano útil. Propuesta 3. 20 de diciembre 14:00 horas. | 48 |
| Imagen 45. Valor de las isolíneas del plano útil. | 48 |
| Imagen 46. % de aprovechamiento de luz natural en función de la latitud e iluminación..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Sectorización por áreas de la planta industrial..... | 23 |
| Tabla 2. Sectores de la nave con su correspondiente superficie e iluminación requerida..... | 25 |
| Tabla 3. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 1. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 34 |
| Tabla 4. Datos por sectores. Propuesta 1. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 35 |
| Tabla 5. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 1. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas..... | 35 |
| Tabla 6. Datos por sectores. Propuesta 1. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas..... | 36 |
| Tabla 7. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 2. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 36 |
| Tabla 8. Datos por sectores. Propuesta 2. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 37 |
| Tabla 9. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 2. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas..... | 37 |
| Tabla 10. Datos por sectores. Propuesta 2. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas..... | 37 |
| Tabla 11. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 3. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 38 |
| Tabla 12. Datos por sectores. Propuesta 3. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas..... | 38 |
| Tabla 13. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 3. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas.. | 39 |
| Tabla 14. Datos por sectores. Propuesta 3. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas..... | 39 |
| Tabla 15. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 1... | 42 |
| Tabla 16. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 2... | 42 |
| Tabla 17. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 3... | 43 |
| Tabla 18. Resultados globales de iluminación media y uniformidad..... | 45 |
| Tabla 19. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 3... | 49 |
| Tabla 20. Resultados globales de iluminación media y uniformidad..... | 50 |
| Tabla 21. Tarifa 3.1 M.T-A.T óptima de Endesa..... | 55 |
| Tabla 22. Horarios tarifa 3.1 M.T-A.T óptima de Endesa..... | 55 |
| Tabla 23. Horarios de trabajo en la nave industrial..... | 55 |
| Tabla 24. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 1..... | 56 |
| Tabla 26. Cálculo del término de energía para el Caso 1..... | 56 |
| Tabla 27. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 1..... | 57 |
| Tabla 28. Total factura eléctrica + IVA. Caso 1..... | 57 |
| Tabla 29. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 2..... | 57 |
| Tabla 30. Cálculo del término de energía para el Caso 2..... | 58 |
| Tabla 31. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 2..... | 58 |
| Tabla 32. Total factura eléctrica + IVA. Caso 2..... | 58 |
| Tabla 33. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 3..... | 58 |
| Tabla 34. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 3..... | 59 |
| Tabla 35. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 2..... | 59 |
| Tabla 36. Total factura eléctrica + IVA. Caso 3..... | 59 |
| Tabla 37. Gastos eléctricos totales para cada uno de los tres casos descritos..... | 60 |
| Tabla 38. Gasto anual total. Caso 1..... | 60 |
| Tabla 39. Gasto anual total. Caso 2..... | 60 |
| Tabla 40. Gasto anual total. Caso 3..... | 60 |
| Tabla 42. Ahorro en la factura eléctrica ente los tres casos..... | 61 |
| Tabla 43. Ahorro en la gasto de renovación de las luminarias entre los tres casos..... | 61 |
| Tabla 44. Ahorro total entre los tres casos..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 45. Flujos de Caja e inversiones para los casos 2 y 3..... | 62 |
| Tabla 46. Cálculo del VAN para los casos 2 y 3..... | 63 |
| Tabla 47. Cálculo del TIR para los casos 2 y 3..... | 63 |
| Tabla 48. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural..... | 67 |
| Tabla 49. Cuadro de mediciones de la instalación del sistema de iluminación natural..... | 68 |
| Tabla 50. Cuadro de los presupuestos parciales de la instalación del sistema de iluminación natural. | 69 |
| Tabla 51. Cuadro de los presupuestos finales de la instalación del sistema de iluminación natural..... | 69 |
| Tabla 52. Cuadro de precios descompuestos correspondiente al mantenimiento de los lucernarios.. | 69 |
| Tabla 53. Cuadro de mediciones correspondientes al mantenimiento de los lucernarios..... | 69 |
| Tabla 54. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes al mantenimiento de los lucernarios. | 70 |
| Tabla 55. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes al mantenimiento de los lucernarios..... | 70 |
| Tabla 56. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 1..... | 70 |
| Tabla 57. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 1...71 | 71 |
| Tabla 58. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso1. | 71 |
| Tabla 59. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 1. | 71 |
| Tabla 60. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 2. | 71 |
| Tabla 61. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2....71 | 71 |
| Tabla 62. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2..... | 71 |
| Tabla 63. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2..... | 72 |
| Tabla 64. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 3. | 72 |
| Tabla 65. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3....72 | 72 |
| Tabla 66. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3. | 72 |
| Tabla 67. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3. | 72 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | |
| Ecuación nº1: Valor de Eficiencia Energética de la Instalación..... | 19 |
| Ecuación nº2. Método analítico..... | 20 |
| Ecuación nº3. Factor de ventanas..... | 20 |
| Ecuación nº4. Iluminación media..... | 25 |
| Ecuación nº5 Término de energía..... | 55 |
| Ecuación nº6 Impuesto eléctrico..... | 56 |
| Ecuación nº7 VAN..... | 62 |
| Ecuación nº8. TIR..... | 62 |
| Ecuación nº9. Vida útil de las luminarias. | 70 |

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se parte de un problema base inicial que se desea solucionar. Se tiene una fábrica de cerveza ubicada en el polígono industrial L'Espartal III, Xixona, Alicante. Dicho problema es el siguiente: la nave se encuentra únicamente iluminada por luminarias artificiales, no posee aberturas para la iluminación natural, es decir, la planta actúa a modo caja negra o caja de zapatos.

Así pues, el proyecto consiste en diseñar el sistema iluminación natural que cumpla los requisitos exigibles en una planta que funciona en la actualidad sólo con iluminación artificial. Se pretende obtener la conformación espacial de ventanales y lucernarios que cumplan con los requisitos de iluminación propios de una actividad como la fabricación de cerveza. Encontrar la ubicación concreta de dichos ventanales y lucernarios es una tarea complicada, puesto que se han de tener en cuenta múltiples factores, como la ubicación del norte, ubicación de vigas y pilares, requerimientos de la planta, etc.

Así pues, se trata de un problema arquitectónico, donde se calculará la superficie de ventanales y lucernarios necesarios para que se obtenga una iluminación de acuerdo con la normativa vigente. Para ello, se han sintetizado y valorado diferentes alternativas para el sistema de iluminación, las cuales serán simuladas mediante la herramienta DIALux, que es solo una herramienta que permite simular la distribución de la luz natural para cada uno de los sistemas de iluminación natural que se proponen. Tras realizar dichas simulaciones, se analizarán sus pros y contras, obteniendo finalmente una propuesta definitiva para el sistema de iluminación natural, como se ha comentado con anterioridad en el resumen.

2. OBJETIVOS

- Entender el proceso productivo que se tiene y el requerimiento de iluminación para que la visión, como función fisiológica, se realice en condiciones adecuadas.
- Estudiar y entender los diferentes sistemas de iluminación natural que existen, así como sus soluciones constructivas.
- Familiarizarse con la normativa europea vigente para su aplicación.
- Realizar el diseño arquitectónico del sistema de iluminación natural mediante un proceso iterativo.
- Analizar los resultados de los diseños presentados y escoger el que posea los valores óptimos y mejorar dicho diseño.
- Calcular el gasto eléctrico para diferentes escenarios de uso de iluminación artificial y calcular el ahorro que supone la instalación del sistema de iluminación natural.
- Realizar el presupuesto del proyecto.
- Calcular y analizar la viabilidad económica del proyecto.

3. EL SECTOR DE LA CERVEZA EN ESPAÑA

En España la cerveza es considerada actualmente un producto alimentario según el Boletín Oficial Del Estado publicado el sábado 17 de diciembre de 2016.

Existe una gran cultura cervecera en España, donde se consume muy habitualmente tanto en bares, restaurantes o en los propios domicilios particulares, utilizada habitualmente como acompañamiento de la comida (el 70% de las veces que se consume, se encuentra acompañada de comida). Se trata de una de las bebidas más transversales que existen, ya que en 2018 fue consumida por el 88,5% de los hombres y el 86,6% de las mujeres

El 90% de la cerveza que se consume se produce dentro del propio país, lo que significa que el sector de la fabricación de cerveza supone un 1,3% del producto interior bruto del país, unos ingresos de 15.500 millones de euros. También, se está produciendo un aumento en el volumen de consumo y producción de cerveza como muestran los siguientes gráficos:

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO APARENTE DE CERVEZA POR CANAL (millones de hectolitros)⁷⁻⁸

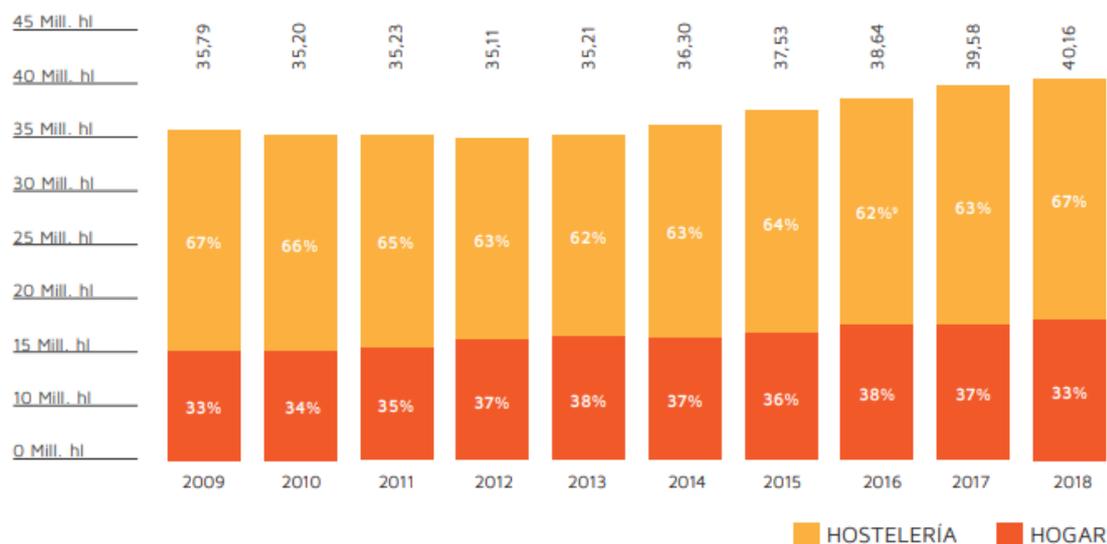


Imagen 1. Evolución del consumo de cerveza entre 2009-2018. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN ESPAÑA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS (millones de hectolitros)⁸

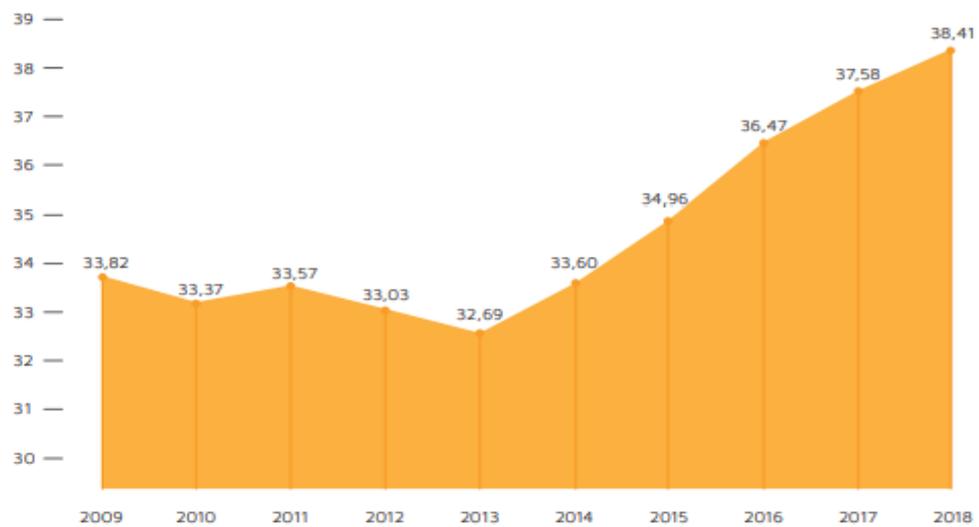


Imagen 2. Evolución de la producción de cerveza entre 2009-2018. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018.

Como se observa en ambos gráficos, la cerveza es un producto alimentario en auge, donde está creciendo el consumo y producción de esta bebida alcohólica. Lo que significa que es un producto esencial en la vida cotidiana de las personas y esencial para la economía española, ya que el número de puesto de trabajos generados por dicha bebida asciende a más de 344.000 personas.

PRODUCCIÓN DE CERVEZA EN EUROPA (miles de hl)¹⁸

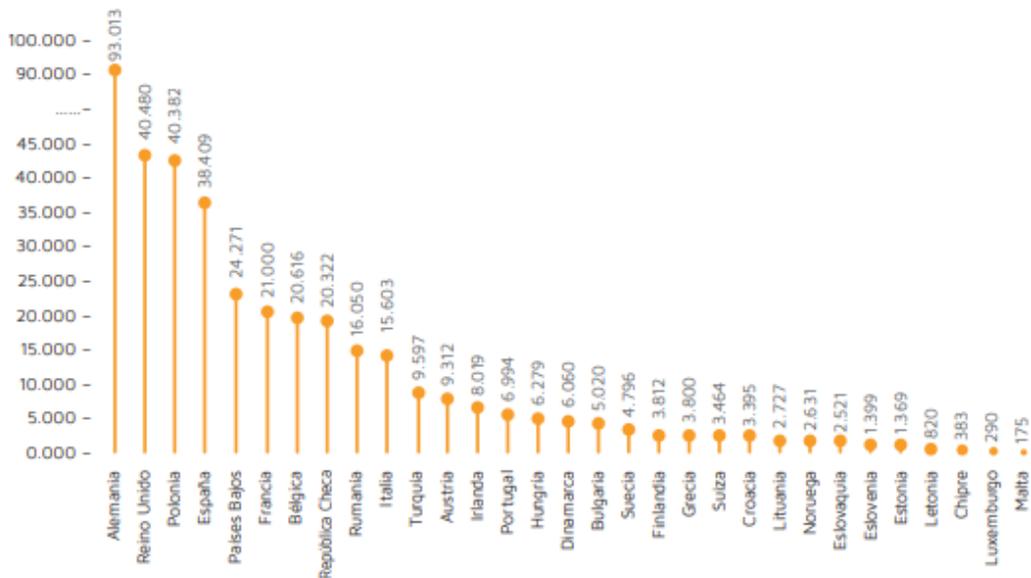


Imagen 3. Producción de cerveza en los países europeos. Fuente www.cerveceros.org Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2018.

España el cuarto país de la zona euro que produce más cerveza, este último gráfico simboliza la potencia de este sector dentro de la economía nacional

4. PROCESO PRODUCTIVO

En primer lugar, se va a describir el producto de fabricación de esta planta industrial, la cerveza, con lo cual se va a definir qué es y a explicar brevemente el proceso de elaboración.

La cerveza es una bebida alcohólica fermentada no destilada, elaborada a partir de cereales, levaduras, agua, lúpulo y grits (cereales que ayudan a estabilizar la espuma, aumentar o disminuir la densidad y darle matices de sabor a la cerveza). Dicho cereal es, en la gran mayoría de los casos, cebada (debido a su gran actividad enzimática, color y olor característicos), pero puede tratarse también de otro tipo de cereal, ya sea avena, trigo, espelta, mijo, sorgo, etc. Al igual que también existen diferentes variedades de levadura y lúpulo.

En la actualidad, existen miles de tipos de cerveza ya que, dependiendo del tipo de materia prima que se usa, en que cantidad se usa, la duración o intensidad de las etapas de su elaboración, se obtiene un tipo de cerveza exclusivo, que puede ser parecido o diferenciado de otros tipos, pero único y singular.

Se va a explicar el proceso de elaboración de la cerveza en función del diagrama de bloques realizado en la página 14.

En primer lugar, se produce la recepción de las materias primas, como se ha mencionado antes, cebada, levaduras, agua, lúpulo y grits. En cuanto a la recepción de la cebada, se transporta en camiones hasta la fábrica, donde, antes de descargar sobre un silo subterráneo, se produce un control de calidad in situ para comprobar la calidad del cereal. Una vez se comprueba la calidad, se produce un tamizado del cereal, fuera de la fábrica, donde se separa el cereal de ramas, hojas, etc. Después, se introduce el cereal en unos depósitos situados en el interior de la fábrica mediante cintas transportadoras o tornillos sin fin, donde se almacena el grano de cebada.

Por otra parte, el agua se almacena en depósitos en el interior de la fábrica, no obstante, se deben realizar unos tratamientos previos a su utilización. En primer lugar, realizar una filtración, sedimentación y coagulación-floculación; posteriormente, se requiere una desionización para eliminar las sustancias disueltas cargadas eléctricamente. Para ello, existen diversos métodos, como el intercambio iónico, electrodiálisis y ósmosis inversa. Por último, se procede a desinfectar el agua de microorganismos, haciendo uso de carbón activo u optar por una ozonización del agua.

El resto de las materias primas (levaduras, lúpulo, etc), se transportan en sacos y se almacenan a temperatura ambiente.

Una vez se ha realizado la recepción de la materia prima y tratado del agua, comienza el proceso elaboración. En resumen, consta de cuatro etapas principales, con sus respectivas subetapas, que se van a explicar a continuación:

4.1. Malteado

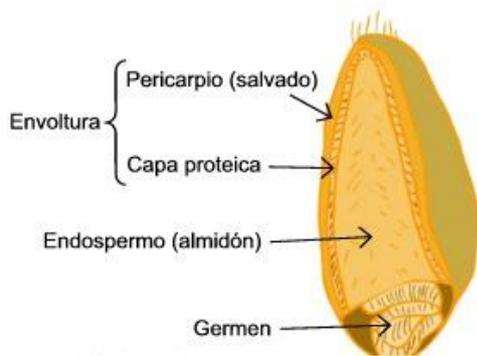
- Remojo
- Germinación
- Tostado

En primer lugar, se procede con el malteado, cuyo objetivo principal es convertir la cebada en malta (cebada germinada parcialmente). La primera subetapa del malteado es el remojo del grano. Aquí, se sumergen los granos de cereal en agua hasta alcanzar una humedad del 42-44 (%), lo que durará entre 36 y 48 horas, dependiendo del nivel de humedad que se pretenda alcanzar.

Las variables a controlar durante el proceso son:

- Temperatura: 12-14 °C.
- Grado de humedad del grano.
- Incorporación de O₂ durante el remojo para activar la respiración del cereal.

El principal objetivo de esta subetapa (remojo) es conseguir la activación del embrión del grano de cereal para que comience la germinación. Una vez el embrión pase de latente a activo, comenzará la segunda subetapa.



Durante el transcurso de esta subetapa, se pretende obtener la germinación parcial del grano para conseguir que las enzimas del germen, parte inferior del grano, rica en ciertas vitaminas y minerales pasen al endospermo, parte media del grano rica en almidón.

Observar imagen nº4

Imagen 4. Grano de cebada

Se comienzan a formar las raíces de los granos (germinación), este proceso finalizará cuando las raíces tengan un tamaño que sea, aproximadamente, 2/3 de la longitud del grano, lo cual suele tardar entre 10 y 12 días. Teniendo controlado en todo momento que la temperatura sea de 15°C durante toda la etapa.

Cuando se consiga el tamaño de raíz objetivo, empieza el tostado, donde se reduce la humedad a menos del 5%, es decir, se detiene la germinación. Al mismo tiempo se desarrollan algunos de los aromas característicos de la cerveza, debido a las reacciones entre los compuestos de malta. El tostado se divide en dos fases:

- Fase de desecación: Con una temperatura entre 45 y 50 °C se produce un secado lento hasta que se alcance una humedad aproximada del 10%, durante esta fase, aún se están dando los procesos enzimáticos (difusión enzimas del germen al endospermo).
- Golpe de fuego: Con una temperatura entre 75 y 80 °C se detienen definitivamente todos los procesos enzimáticos, se produce la desecación final.



El tostado determinará uno de los aspectos más importantes de la cerveza, que es su color. Las cervezas más oscuras se deben a maltas más tostadas, secado lento, mientras que las cervezas más claras se deben a secados más rápidos. Ver imagen nº5

Imagen 5. Tostado de la cebada.

A continuación, comienza la segunda etapa de la elaboración de la cerveza:

4.2. Cocción

- Molienda
- Braceado o macerado
- Filtración
- Ebullición y lupulado
- Enfriamiento del mosto

El objetivo principal de esta etapa es la elaboración de mosto a partir de malta de cebada, lúpulo y granos crudos. Se tiene que transformar el almidón en azúcar (glucosa) para que, posteriormente en la fermentación, se transforme la glucosa en alcohol.

Para lograr el objetivo, se comienza realizando una molienda, donde la malta de cebada es molida para lograr harina de malta. Cuanto más pequeño sea el grano, más superficie específica se tendrá, lo que favorecerá el posterior contacto con agua.

Una vez lograda la harina, se procede al braceado o macerado, donde se pretende conseguir el mosto azucarado. Para ello, se produce una mezcla de la harina y el agua, a una temperatura entre 50 y 70 °C, para favorecer la segregación de las enzimas de la harina al agua. La transformación enzimática que se produce es la siguiente, ver imagen nº 6.

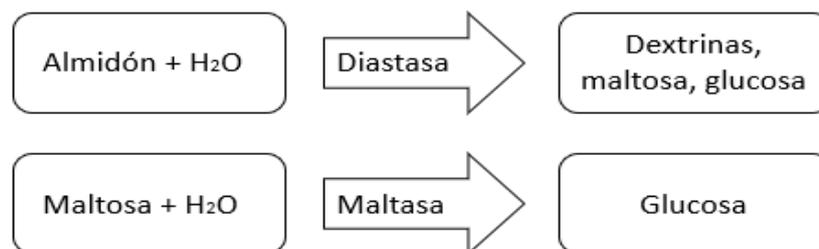


Imagen 6. Dextrinización-Sacarificación del almidón.

Básicamente, el almidón presente en la harina de malta reacciona con la enzima diastasa segregada por el germen durante la germinación para obtener, en su mayoría, maltosa, la cual reacciona enzimáticamente con la maltasa, también segregada por el germen durante la germinación, para obtener glucosa. Así pues, se obtiene el mosto azucarado. Dependiendo de la temperatura del proceso, se obtendrán mostos que posean más o menos azúcares, proteínas, dextrinas, etc.

En esta subetapa, se realiza un control de calidad mediante una comprobación usando el reactivo KI (yoduro potásico), el cual reacciona con el almidón, para mostrar un color azul. Si cuando se realiza en control de calidad, el reactivo no cambia de color, si no que sigue amarillo, significa que todo el almidón se ha transformado en glucosa, con lo cual pasaría a la siguiente fase. Si el reactivo cambia a azul, significa que aún hay almidón presente, con lo que debe repetirse el braceado/macerado.

Acabada esta subetapa, es necesaria una filtración en dos etapas. En primer lugar, la separación del mosto del bagazo (harina húmeda) y lavado del bagazo para recuperar el mosto restante que estuviera presente en el bagazo.

Acabada la filtración, se procede a la ebullición y lupulado. En esta subetapa, el mosto conseguido se lleva a ebullición durante 2 horas aproximadamente, añadiendo lúpulo, en cantidades 250-1500 g por cada 100 litros de mosto, dependiendo del sabor amargo que se desea obtener se añadirá más o menos lúpulo. El mosto se debe llevar a ebullición debido a motivos de estabilización biológica, bioquímica, coloidal y organoléptica; eliminando tanto microorganismos, enzimas, proteínas coloidales inestables que producen turbidez y aquellos compuestos volátiles que producen mal sabor.

A continuación, el mosto caliente salido de la etapa de ebullición ha de ser enfriado, con lo cual se hace pasar el mosto caliente por unos intercambiadores de placas, reduciendo la temperatura de 98°C a 8°C. Al reducir drásticamente la temperatura, se produce una precipitación de coloides y restos de lúpulo que poseía el mosto azucarado. Por último, se realiza una inyección de O₂ estéril, puesto que la siguiente etapa es la fermentación y el comienzo de ella es aerobia.

Cuando el mosto azucarado ha sido enfriado, se introduce en los tanques de fermentación. El objetivo del proceso de fermentación es convertir el azúcar en alcohol (etanol) y CO₂. Mientras, se tienen que ir desarrollando algunos de los aromas característicos de la cerveza.

La fermentación del mosto se divide en una o dos etapas:

4.3. Fermentación

- Fermentación primaria.
- Fermentación secundaria (opcional).
- Filtración

En primer lugar, durante la fermentación primaria, el primer paso es añadir las levaduras del género *Saccharomyces*. Se necesita la inyección de oxígeno mencionada anteriormente para que se produzca el crecimiento microbiano de las levaduras hasta el valor óptimo.

Cuando se tenga el número de levaduras objetivo, se detiene la inyección de oxígeno, con lo que se detiene el crecimiento de las levaduras. Ahora, comienza una segunda etapa anaerobia, donde las levaduras transforman el 90% de los azúcares del mosto en etanol y CO₂.

Después de haber convertido la gran mayoría de azúcares en etanol, se puede optar por una fermentación secundaria, donde se puede añadir azúcar extra para obtener una cerveza con mayor graduación de alcohol, o por la maduración de la cerveza. La maduración de la cerveza consiste en introducir el mosto que ya solo posee un 10% azúcares en tanques, para que, en una duración de 2 a 3 meses, haya fermentado el porcentaje restante de glucosa, se sature la cerveza de CO₂ y decanten la totalidad de levadura y coloides.

Para acabar con el proceso de elaboración de la cerveza, se lleva a filtración. Mediante el uso de filtros kieselguhr o diatomeas por debajo de 0°C se consigue eliminar el resto de las levaduras y los coloides. Las tierras diatomeas son algas que funcionan como un filtro, clarificando la cerveza.

Después de haber filtrado la cerveza, se tiene que proceder al envasado, cuarta etapa del proceso de elaboración de la cerveza.

4.4. Envasado

Antes de proceder con el envasado, se debe de realizar un control de calidad para observar que se cumplen los estándares de calidad adecuados del producto. Se debe inspeccionar el color, sabor y observar que no existan levaduras y coloides en la cerveza.

El objetivo de esta etapa final es conseguir introducir la cerveza en los recipientes correspondientes evitando que se desarrollen posibles levaduras que hayan atravesado el filtro, evitar la pérdida de CO₂ y la entrada de O₂.

Para un correcto envasado, se tiene que realizar y tener en cuenta lo siguiente:

- Pasteurización flash. Aplicación de calor (68-69 °C) u optar por una microfiltración.
- Utilización de grifos isobarométricos los cuales encajen perfectamente con todos los envases para evitar la pérdida de presión.
- Que la espuma de la cerveza evite que exista aire en el cuello de la botella, es decir, que desaloje el aire.

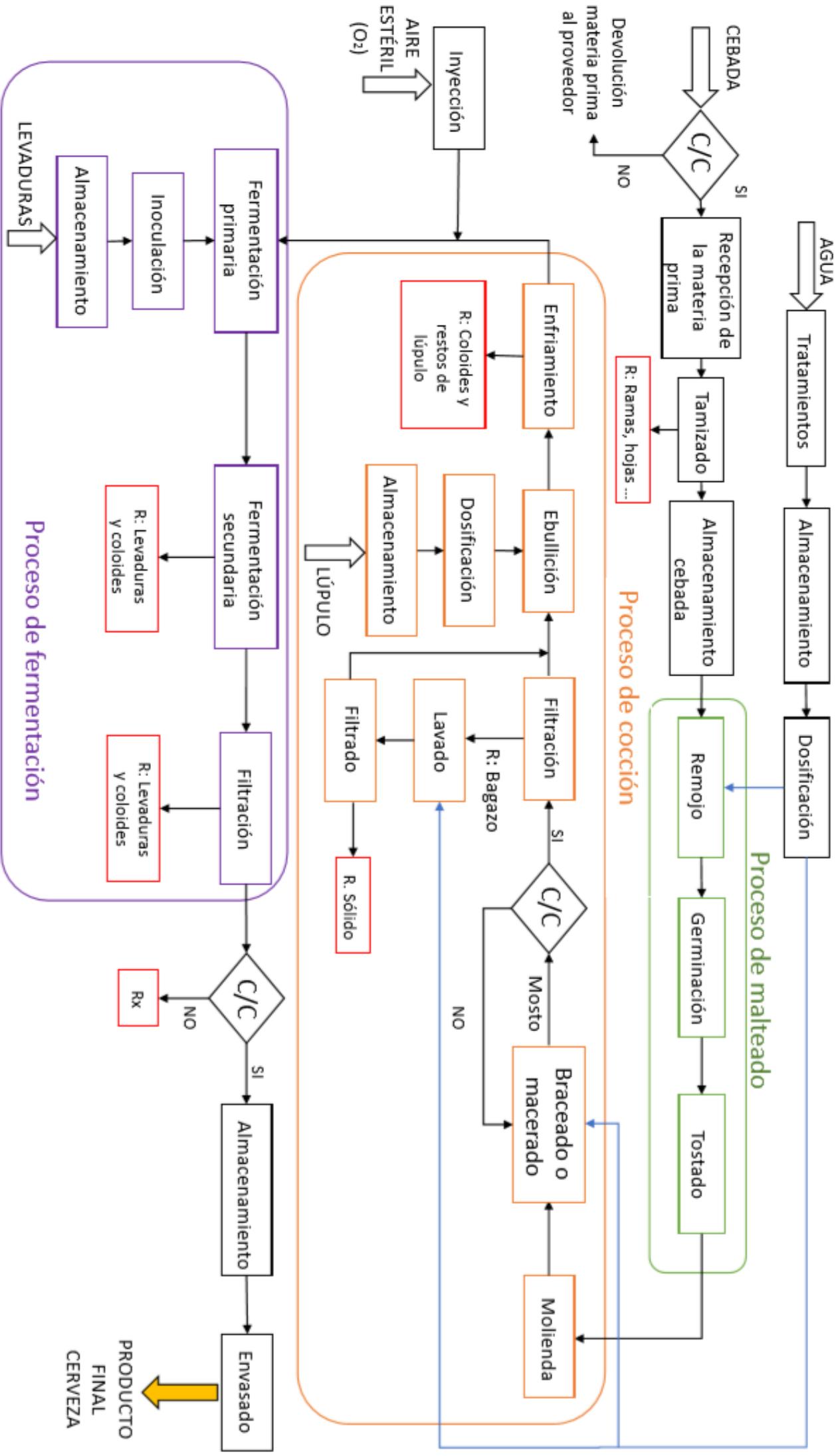


Imagen 7. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de cerveza.

5. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La planta industrial objeto de estudio es, como se ha mencionado en la introducción, una fábrica dedicada a la fabricación de cerveza, de dimensiones 30x20 metros, es decir, 600 m² de superficie. Dicha nave industrial, como describe el título de este trabajo, se encuentra ubicada en Xixona (Alicante), polígono industrial L'Espartal III,

Así pues, se va a describir la distribución en planta que posee dicha fábrica.

En primer lugar, la fábrica está dividida en dos partes, una en la que se transforma la materia prima en cerveza (donde ocurren los procesos químicos/enzimáticos de la elaboración de la cerveza), en los que se encuentran el almacén de materia prima, laboratorio de calidad, malteado, cocción, fermentación y residuos. En la otra parte de la fábrica se encuentran las oficinas y vestuarios, el almacén de botellas vacías, tapones y etiquetas, el envasado-etiquetado de las botellas y el almacén de producto acabado. Observar la siguiente imagen.

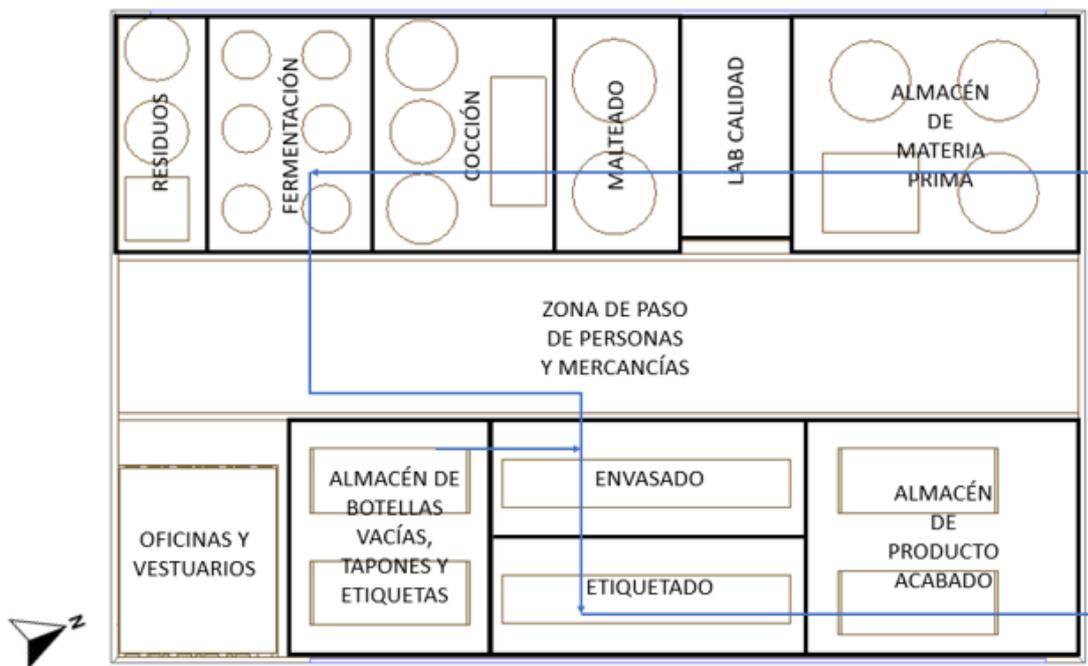


Imagen 8. Distribución en planta de la fábrica.

→ Dirección del flujo de elaboración del proceso

El proceso de fabricación sigue la trayectoria de la flecha azul. En primer lugar, entra la materia prima, se realiza el malteado, cocción y fermentación de la cerveza. Una vez se ha completado la elaboración de la cerveza, se envasa, se etiqueta y se expide.

La distribución en planta es importante puesto que el sistema de iluminación natural va a estar diseñado a partir de esta. En este caso, como se explicará en el apartado siguiente, existen zonas con mayores requerimientos lumínicos que otras. Por ejemplo, el envasado va a requerir una iluminación mayor que las demás zonas (explicado en el siguiente apartado), con lo que el sistema de iluminación natural debe contemplar este hecho. Así pues, una vez conocida la distribución en planta y los requerimientos de luz que se van a calcular en el siguiente apartado, se puede comenzar a realizar los diseños de los sistemas de iluminación natural.

6. ILUMINACIÓN

La iluminación que se desea poseer en los puestos de trabajo es un aspecto muy importante a la hora de diseñar tanto el sistema de iluminación natural como la colocación de las luminarias artificiales. La correcta iluminación de un puesto de trabajo permite que los operarios puedan disponer de las óptimas condiciones de visibilidad para realizar cada una de sus tareas pertinentes sin riesgo para su salud y seguridad y para la de los demás.

Por ello, las características luminosas deben ser las idóneas, puesto que, si no lo son, se puede generar dificultades visuales, cansancio/fatiga de la vista, se ven afectadas tanto las funciones fisiológicas como las psicológicas.

6.1. Tipos de iluminación

Dependiendo de la procedencia de la luz, existen dos tipos:

- Iluminación natural: es aquella procedente de la luz solar diurna, permite la distinción de colores perfectamente, más económica, menos contaminante, más renovable y es la que produce menor fatiga a la vista.
- Iluminación artificial: es la suministrada por fuentes de luz artificiales, bombillas, focos, linternas, etc.

Dependiendo de la forma de iluminar una zona, existen dos tipos:

- General: la luz se encuentra repartida uniformemente por todo el plano de trabajo.
- Localizada: la luz incide más sobre alguna parte del plano de trabajo porque así se quiere. Se usa para que la luz incida más sobre zonas que se encuentran mal iluminadas.

6.2. Sistemas de iluminación natural

En cualquier actividad desarrollada por una persona, siempre que sea posible, se debe desarrollar con luz natural procedente del sol. Solo cuando por cuestiones del sistema productivo, por cuestiones climáticas, o porque la actividad se esté efectuando en horario nocturno, se hará uso de iluminación artificial.

Como se ha comentado antes, se ha de optar siempre por optimizar la luz natural al máximo, por sus beneficios económicos, porque se trata de energía renovable, etc.

Se deben tener en cuenta algunas de las características de la luz natural a la hora de diseñar un sistema de iluminación natural:

- Se deben de conocer los diferentes tipos de distribución de iluminación en el cielo, ya que pueden ser cielos uniformes, cubiertos de nubes, etc. Hay que saber con absoluta certeza el clima y la zona geográfica en la que se esté.
- La iluminancia solar es otro aspecto importante que estudiar, puesto que, si se encuentra en una zona donde la iluminancia solar es excesivamente elevada, puede suponer un perjuicio en la salud de los trabajadores.
- También se ha de tener en cuenta el posible deslumbramiento que pueden sufrir los trabajadores si el sistema no se diseña de forma adecuada, ya sea por incidencia directa de la luz solar o algún reflejo de ella sobre alguna superficie.

- Para el aprovechamiento de la luz solar, se ha de tener en cuenta la forma y volumen del edificio, así como la forma y material de las aperturas (ventanales y tragaluces) para la entrada de la luz solar, como muestra la siguiente imagen.

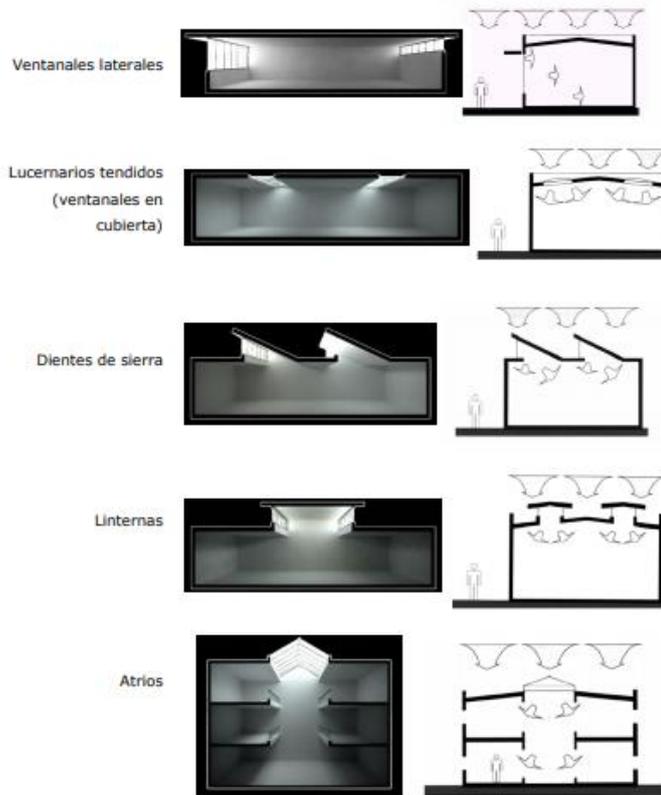


Imagen 9. Tipos básicos de sistemas de iluminación.

La siguiente imagen muestra la cantidad de horas al año que se puede aprovechar la luz solar, lo cual proporciona una idea de la importancia de aprovechar esta fuente de luz gratuita:

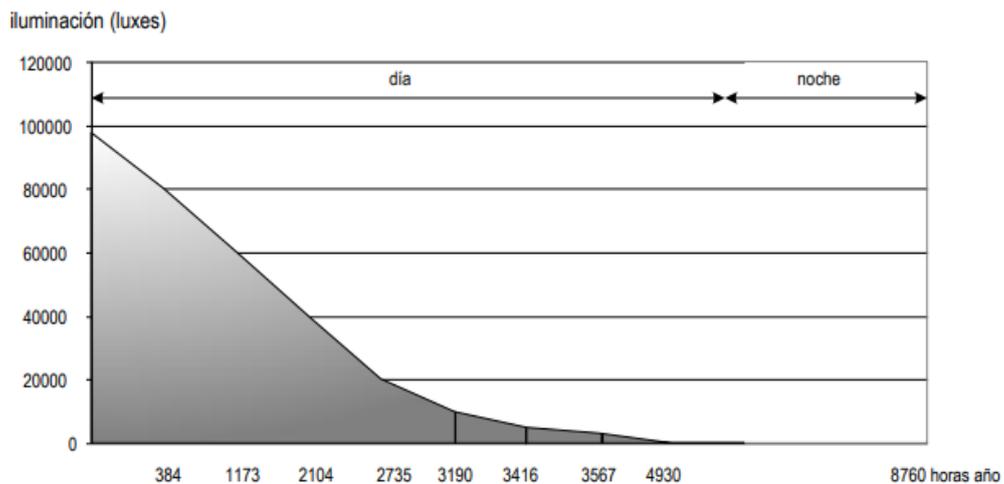


Imagen 10. Distribución anual de la iluminación horizontal al aire libre en Valencia (latitud 30°).

Un año posee 8760 horas, de las cuales 4930 son de luz (día). De estas 4930 horas de luz que tiene el año, 3416 cuentan con un nivel de iluminación (difusa) superior o igual a 3000 luxes. A

la vista de la gráfica anterior, se observa que se puede hacer uso del sistema de iluminación por un periodo equivalente al **69,23%** (3416/4930) del total de horas de luz.

6.3. Fundamentos iluminación natural.

Uno de los fundamentos más importantes de la iluminación natural es la radiación, la cual penetra en un local y puede ser de tres tipos, según muestra la imagen siguiente:

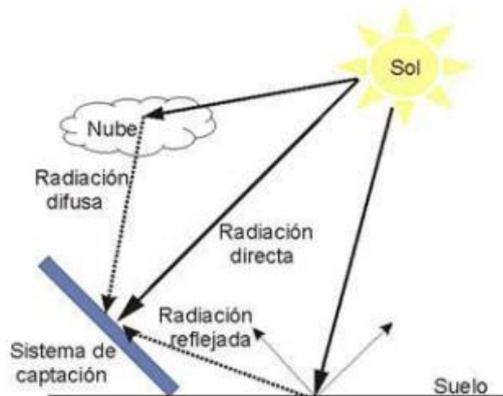


Imagen 11. Tipos de radiación que inciden sobre una superficie.

- Radiación directa: Es aquella que proviene directamente de la bóveda celeste. La que es infligida en de forma directa desde el sol hasta el plano de trabajo. La luz procedente de forma directa varía en función del año como consecuencia de la posición del sol respecto al plano de trabajo que se haya considerado.
- Radiación difusa del cielo: Es aquella que proviene del cielo como consecuencia de la dispersión de la radiación solar que incide sobre la atmosfera.
- Radiación reflejada: Es aquella que proviene de una superficie que refleja la radiación solar. La cantidad de radiación que refleje dicha superficie dependerá del coeficiente de reflexión del suelo (Albedo), el cual depende del tipo de material de la superficie que este reflejando dicha radiación.

Estos tres tipos de radiación constituyen las tres formas de captación de luz natural de un local y su intensidad/presencia depende de:

- Movimiento de traslación de la tierra.
- Movimiento de rotación de la tierra.
- Los cambio meteorológicos.

También, la cantidad de radiación directa y difusa también depende de factores como la latitud del local, la existencia de edificios colindantes que dificulten la entrada de luz solar, etc.

Por otra parte, otro fundamento importante de la iluminación natural son las distribuciones ideales de la luminosidad del cielo. Para estimar cuál es la radiación directa y difusa que incide sobre una superficie (horizontal, vertical o inclinada) al aire libre la *Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)* ha desarrollado una serie de modelos matemáticos de distribuciones ideales de la luminosidad del cielo. Existen tres tipos que son los más comunes que se encuentran:

- Cielo cubierto: Formado por un 90% de nubes con un sol no visible.
- Cielo uniforme. Cuando la proporción de nubes va de un 70% a un 100%.
- Cielo despejado. Cuando la proporción de nubes es menor al 30%.

En este estudio, se considera cielo cubierto, que es el más común ya que se suele estimar la luminosidad mínima del cielo y así, poder garantizar un cierto nivel de iluminación natural en el interior de la nave durante una gran parte de tiempo al año.

6.4. Requerimientos

Para garantizar una correcta iluminación en el puesto de trabajo y que los operarios puedan realizar sus respectivos trabajos correctamente y de una forma segura, se han establecido una serie de normas que fijan unos niveles de iluminación mínimos dependiendo de la actividad industrial que se esté desarrollando. Existe la norma DIN 5035, el Real Decreto 486/1997 (vigente en España) y la normativa europea 12464.1 que regulan lo mencionado anteriormente.

Por otra parte, para asegurar la salud y seguridad de los trabajadores, estas normas exigen que la luz ha de ser más intensa en aquellas zonas donde exista un riesgo de caída o desprendimiento, donde haya maquinaria con alto riesgo mecánico/eléctrico, etc. También, como se ha mencionado en el apartado 6.2, se han de evitar los posibles deslumbramientos que puedan sufrir los trabajadores.

Existe un proceso de eficiencia energética en el Código Técnico de la Edificación (CTE) el cual no se aplica a la edificación industrial, pero, a falta de norma específica, se puede contrastar con dichas exigencias de eficiencia energética que se extraen del CTE.

6.4.1. Eficiencia energética en iluminación establecida por el CTE.

La verificación mediante este método del CTE consta de tres pasos, pero solo se va a estudiar el primero de ellos:

- Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación, comprobando que no se superan los valores de la Tabla 2.1. del CTE DB HE.

Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI):

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_m}$$

Ecuación nº 1.

Siendo:

- P; Potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W]
- S; La superficie iluminada [m²]
- E_m; La iluminancia media mantenida [lux]

En el CTE se indican unos valores máximos para el coeficiente VEEI dependiendo de las zonas de actividad, son unos valores que se ha de intentar no superar. Así pues, mientras el VEEI se mantenga por debajo de **4**, se puede considerar que la zona es energéticamente eficiente.

6.5. Métodos de cálculo.

6.5.1. Método analítico

El método analítico de cálculo que se va a hacer uso se basa en el método de rendimiento del Dr. Fruhling, fundamentado en la norma alemana DIN 5034 de iluminación natural de recintos, pero adaptándolo para instalaciones de carácter industrial.

Mediante el uso de este método analítico se puede determinar la superficie de ventanas y lucernarios que es necesario disponer para satisfacer los requerimientos lumínicos, fijando la iluminación exterior horizontal mínima, determinando el resto de los parámetros de la fórmula y despejando.

La fórmula del método analítico es la siguiente:

$$E_{int} = E_a * f * f' * \eta * \frac{S_v}{S_s}$$

Ecuación nº 2.

Siendo:

- **E_{int} : Es el nivel de iluminación horizontal media interior.**

Se trata de la iluminación que se requiere que haya como media dentro de la planta industrial. En ausencia de un valor específico en el RD, recurrimos a determinarlo a partir de la UNE.

Este valor se calcula de la siguiente forma: En primer lugar, hay que dividir la planta industrial en diferentes zonas dependiendo de las actividades que se desarrollen en ellas, dividirla en sectores. Una vez hecho, hay que hacer uso de la normativa europea sobre iluminación para espacios interiores (UNE 12464.1). En ella, existe un listado de las diferentes actividades que se pueden dar dependiendo del tipo de industria, asignando para cada una un valor de iluminación media.

- **E_a : Es el nivel de iluminación horizontal en el exterior.**

Es la iluminación exterior que se da en la ubicación donde se encuentra la planta industrial. En el presente problema, se toman 3000 luxes de iluminación exterior, que es la iluminación exterior en Valencia de media a las 9:00 am en diciembre.

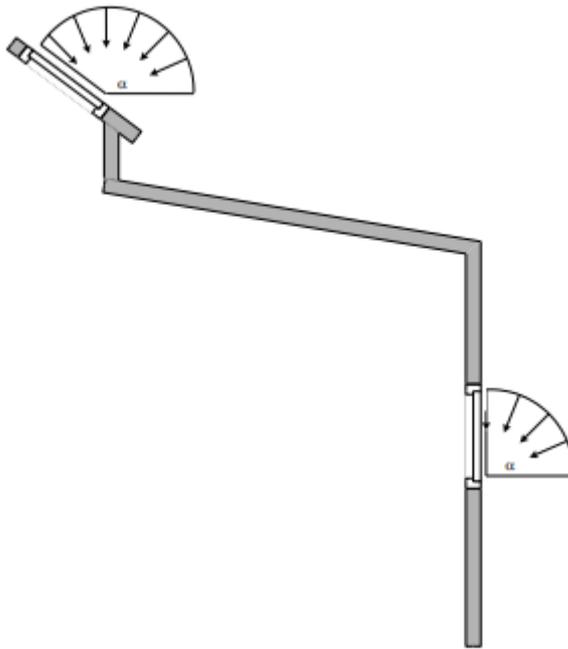
- **f : factor de ventanas.**

Este parámetro tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana dependiendo de cuál sea la disposición del edificio.

Para calcularlo, se hace uso de la siguiente expresión:

$$f = \frac{\alpha}{180}$$

Ecuación nº 3.



Siendo α , para el caso de la ventana, el ángulo desde un plano horizontal hasta la ventana.

Siendo α , para el caso del lucernario, el ángulo desde un plano horizontal hasta el lucernario.

Como se puede observar, α es mayor para el caso del lucernario, es decir, se capta más cúpula celeste que en la ventana.

Imagen 12. Captación de bóveda celeste. Fuente PoliformaTUPV.

- **f'**: factor característico de reducción ventana-muro.

Es un factor que tiene en cuenta la reducción del paso de la radiación solar través del cerramiento lateral debido a el grosor de la pared. Así pues, cuanto más ancha sea, menor será dicho factor.

Se puede calcular dicho factor, haciendo uso del siguiente gráfico.

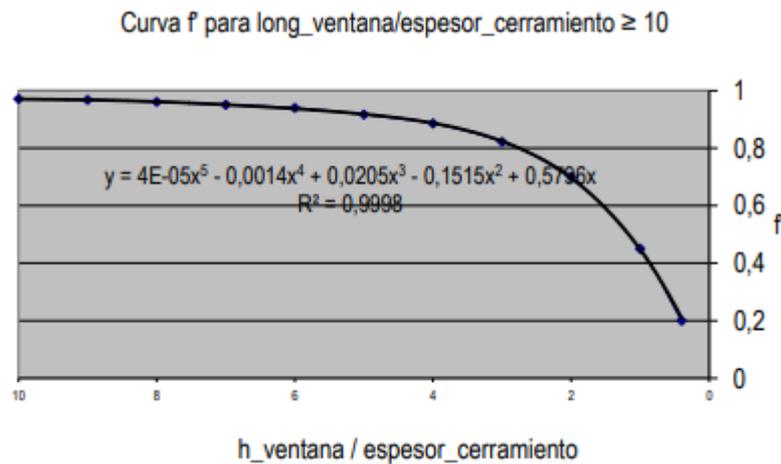


Imagen 13. Curva factor reducción ventana-muro. Fuente PoliformaTUPV.

Para naves industriales, el espesor del cerramiento lateral es muy bajo, casi despreciable, ya que es una chapa metálica, con lo cual la relación altura de la ventana por espesor del cerramiento posee un valor muy elevado, con lo cual el valor del factor f' es aproximadamente 1.

- **η : Rendimiento del recinto.**

Es el coeficiente de reflexión media de suelos-paredes-techos en función del tipo de material de acabado. El rendimiento del recinto tiene en cuenta que una parte flujo luminoso que entra a través de ventanas y lucernarios incide directamente sobre el plano de trabajo. No obstante, también existe una parte del flujo luminoso que incide sobre otras superficies, las cuales, a su vez, reflejan parte de la radiación solar hacia el plano de trabajo en muchas ocasiones.

Para realizar el predimensionado del sistema de iluminación natural, se estima que dicho coeficiente posee un valor entre 40-50 % para plantas industriales con paredes blancas y suelos oscuros.

- **Sv: Superficie de ventanas.**

Es la superficie de ventanas que se requieren para lograr alcanzar el valor de iluminación medio exigido por la norma europea.

- **Ss: Superficie del suelo del recinto.**

Es la superficie del local que se pretende iluminar. En este problema, la nave posee una superficie de 20 metros de luz por 30 metros de longitud que se ha de iluminar, es decir, 600 m².

6.6. Criterios de aceptación del sistema de iluminación natural

Cuando se hayan realizado las distintas propuestas para el diseño del sistema de iluminación natural, se deben realizar las respectivas simulaciones para comprobar la eficiencia de dichos diseños. Posteriormente, para realizar el análisis de los resultados de las simulaciones, se deberán comprobar los tres parámetros siguientes:

▪ *Nivel de iluminación media (E_m).*

El concepto es el mismo explicado en el apartado anterior (E_{int}). Es el nivel de iluminación horizontal media interior (medido en luxes), es decir, la iluminación media que se posee la planta industrial. Para que el resultado de la simulación sea satisfactorio, E_m debe ser igual o mayor a E_{int} , que es el valor mínimo que exige la norma europea.

▪ *Uniformidad (E_{min}/E_m).*

Este parámetro determina si, dentro de una zona determinada, existen grados de iluminación muy diferentes dentro de ella. Se utiliza para medir si una zona esta iluminada de manera uniforme. Se calcula mediante el cociente entre valor mínimo de iluminación de la zona a estudiar y el nivel de iluminación media de dicha zona. Dicho valor deberá ser superior al 0,3 para considerar que la zona posee una correcta uniformidad.

▪ *Deslumbramiento.*

El deslumbramiento es un parámetro que se usa para saber a partir de que distancia, desde la ventana por la cual está incidiendo la luz solar, se produce deslumbramiento al ojo humano. Este parámetro sirve para averiguar qué puestos de trabajos son susceptibles de sufrir deslumbramientos, para así, proponer medidas para evitarlos.

Se considera que se está produciendo un deslumbramiento si los rayos de luz procedentes de una ventana situada en algún cerramiento lateral o, los rayos de luz procedentes de los lucernarios cenitales están incidiendo directamente sobre el ojo humano con un ángulo menor

a 30°. No obstante, en el presente trabajo el deslumbramiento se calculará cuando incida con un ángulo menor que 40°, puesto que cuando la luz incide sobre el ojo humano entre 30-40 ° se sigue considerando que es molesto.

- *Iluminación máxima (E_{max}).*

Un parámetro importante que también se ha de tener en cuenta es la iluminación máxima del local, la cual no debe superar los 2000 luxes. Cuando se supera este valor de iluminancia solar, el ojo humano se resiente, resulta molesto, por lo que se debe evitar que alguna zona de la fábrica alcance dicho valor.

7. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

En primer lugar, antes de comenzar con el diseño de las propuestas, se ha de calcular la superficie de ventanas y lucernarios necesarias para lograr alcanzar el valor de la iluminación media interior requerida por la norma europea. Para ello, se hará uso del método de cálculo analítico descrito en el [apartado 6.5.1](#).

Previamente al cálculo de la superficie de ventanas y lucernarios se ha de saber cuál es la iluminación media interior requerida por la normativa europea UNE 12464.1. Como se ha comentado antes, se ha de sectorizar la planta industrial en función de las actividades que se estén realizando.

Así pues, se ha dividido la fábrica en los siguientes sectores:

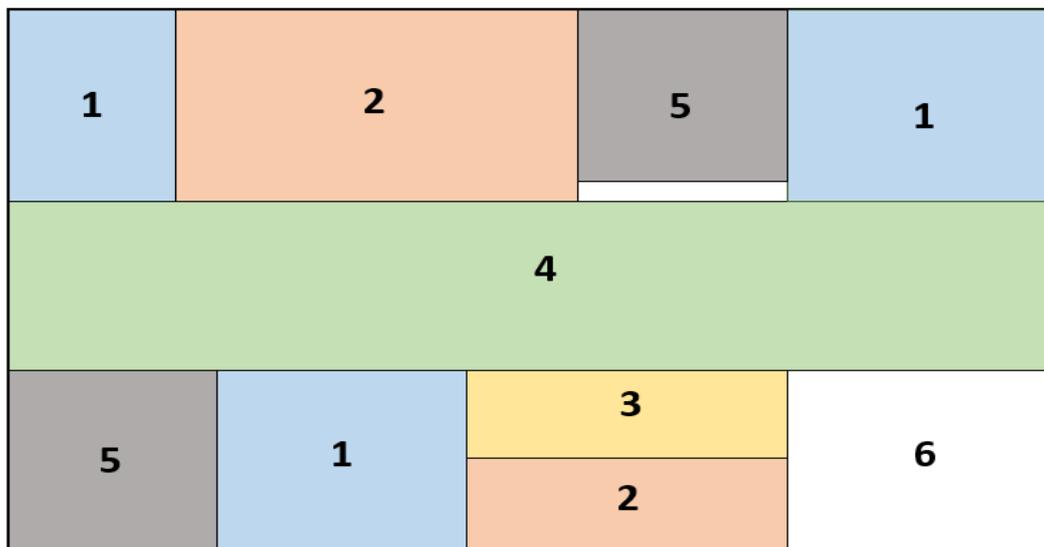


Imagen 14: Sectorización por áreas de la planta industrial.

Siendo:

| | |
|---|--|
| 1 | 1. Almacenes y cuarto de almacén. |
| 2 | 2. Zonas de trabajo en general. |
| 3 | 3. Inspección de colores productos (envasado). |
| 4 | 4. Áreas de circulación y pasillos. |
| 5 | 5. Módulos independientes. |
| 6 | 6. Manipulación de paquetes y expedición. |

Tabla 1. Sectorización por áreas de la planta industrial.

Importante: Los sectores nº 5 no se van a tener en cuenta a la hora de calcular las superficies ventanas y lucernarios puesto que son unos módulos independientes que tendrán su propio sistema de iluminación natural, con lo que, en cuanto al problema, actuarán a modo de caja de zapatos.

A continuación, hay que consultar la norma europea UNE 12464.1. En concreto, el apartado de *Tabla de Actividades industriales y artesanal* número 7, que es la referente a: *Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo*. De aquí se extraen los valores de iluminación media requeridos. También será necesario consultar el apartado de *Tabla de Zona de tráfico y áreas comunes de edificio*, para las áreas de circulación y los almacenes.

Al sector 1 pertenecen las siguientes zonas:

- Almacén materia prima.
 - Superficie: $(7 \times 7,5) \text{ m} = 52.5 \text{ m}^2$.
 - E_m lux (4.1 Almacenes y cuarto de almacén) = 100 luxes

- Residuos.
 - Superficie: $(3 \times 7.5) \text{ m} = 22.5 \text{ m}^2$.
 - E_m (4.1 Almacenes y cuarto de almacén) = 100 luxes

- Almacén de botellas vacías, tapones y etiquetas.
 - Superficie: $(6 \times 7,5) \text{ m} = 45 \text{ m}^2$.
 - E_m (4.1 Almacenes y cuarto de almacén) = 100 luxes

Al sector 2 pertenecen las siguientes zonas:

- Malteado (remojo, germinación, tostado).
 - Superficie: $(5 \times 7,5) \text{ m} = 37.5 \text{ m}^2$.
 - E_m lux (7.1 Zonas de trabajo en general) = 200 luxes

- Cocción (molienda, braceado/macerado, c/c, filtración, ebullición, enfriamiento).
 - Superficie: $(6 \times 7,5) \text{ m} = 45 \text{ m}^2$.
 - E_m (7.1 Zonas de trabajo en general) = 200 luxes

- Fermentación primaria y secundaria.
 - Superficie: $(5 \times 7,5) \text{ m} = 37.5 \text{ m}^2$.
 - E_m (7.1 Zonas de trabajo en general) = 200 luxes

- Etiquetado.
 - Superficie: $(11 \times 3.75) \text{ m} = 41.25 \text{ m}^2$.
 - E_m (7.1 Zonas de trabajo en general) = 200 luxes

Al sector 3 pertenecen las siguientes zonas:

- Envasado.
 - Superficie: $(11 \times 3.75) \text{ m} = 41.25 \text{ m}^2$.
 - E_m (Inspección de colores productos (envasado, molienda)) = 1000 luxes

Al sector 4 pertenecen las siguientes zonas:

- Pasillo.
 - Superficie: (5 x 30) m = 150 m².
 - E_m (1.1 Áreas de circulación y pasillo) = 100 luxes

Al sector 6 pertenecen las siguientes zonas:

- Almacén de producto acabado y expediciones.
 - Superficie: (8 x 7,5) m = 60 m².
 - E_m (4.2 Manipulación de paquetes y expedición) = 300 luxes

Con todo ello, ya se tiene la iluminación media interior para cada zona de trabajo.

| Sectores | Em norma EU (luxes) | Superficies (m ²) |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Almacenes y cuarto de almacén | 100 | 120 |
| Zonas de trabajo en general | 200 | 161,25 |
| Inspección de colores productos (envasado) | 1000 | 41,25 |
| Áreas de circulación y pasillos | 100 | 150 |
| Manipulación de paquetes y expedición | 300 | 60 |
| | S_{total} (m ²) | 532,5 |

Tabla 2. Sectores de la nave con su correspondiente superficie e iluminación requerida.

Para calcular la iluminación media de la planta industrial, excluyendo laboratorio de calidad y oficinas, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$\bar{E}_m = \frac{\sum_{\forall i} E_i(\text{lux}) * S_i(\text{m}^2)}{\sum_{\forall i} S_i(\text{m}^2)}$$

Ecuación nº 4.

Sustituyendo los valores, se obtiene lo siguiente:

$$\bar{E}_m = \frac{(100 * 120) + (200 * 161.25) + (1000 * 41.25) + (100 * 150) + (300 * 60)}{532.5} = 232.5 \text{ luxes}$$

Ya obtenida la iluminación media interior requerida y sabiendo que la iluminación horizontal en el exterior es aproximadamente 3000 luxes, se procede a calcular la superficie de ventanas necesaria.

Para ello, de la fórmula del método analítico se tiene que:

$$E_{int} = E_a * f * f' * \eta * \frac{Sv}{Ss}$$

Ecuación nº 2.

Siendo f, para el caso de ventanas en el cerramiento lateral:

$$f = \frac{\alpha}{180} = \frac{80}{180} = 0,5$$

Siendo f , para el caso de lucernarios en la cubierta a dos aguas con 5° de inclinación:

$$f = \frac{\alpha}{180} = \frac{180 - 5}{180} = 0,9722$$

En cuanto al parámetro f' , como se ha dicho antes, el espesor del cerramiento lateral es casi despreciable, con lo que viendo la gráfica mostrada en la imagen 13, se aproxima dicho factor a 1.

Por otra parte, en cuanto al rendimiento del recinto, se ha mencionado antes que poseía un valor entre 0,4 y 0,5. Así pues, para el problema se cogerá un valor intermedio, en este caso, 0,45.

Por último, la superficie de suelo, como puede verse en la tabla 2, son 532,5 m².

Una vez obtenidos todos los parámetros, se despeja la superficie de ventanas de la fórmula:

$$Sv = \frac{E_{int} * Ss}{E_a * f * f' * \eta}$$

Dependiendo del valor de f , se calculará la superficie de ventanas necesarias para lograr la iluminación requerida de la norma o la superficie de lucernarios necesarios para lograr la iluminación requerida de la norma.

- Para $f=0,5$ (cerramiento lateral)

$$Sv = \frac{232.5 * 535.5}{3000 * 0,5 * 1 * 0,45} = 184.5 \text{ m}^2$$

- Para $f=0,9722$ (lucernarios)

$$Sv = \frac{232.5 * 535.5}{3000 * 0,9722 * 1 * 0,45} = 94.86 \text{ m}^2$$

Así pues, ya se tiene la superficie de ventanas y lucernarios que es necesaria para lograr los requerimientos de luz necesarios.

No obstante, estos son unos valores aproximados, donde las superficies de ventanales y tragaluces están calculadas cuando se hace uso de vidrio transparente. En este problema, no se hará uso de vidrio transparente, si no de vidrio opaco de policarbonato, con lo que es posible que se requiera más superficie de ventanales y lucernarios de la calculada previamente.

7.1. Presentación de las propuestas

Una vez son conocidas las superficies de ventanales y lucernarios, se procede a realizar las tres propuestas diferentes para el diseño del sistema de iluminación.

Para llevar a cabo los tres diferentes sistemas de iluminación, se va a hacer uso de la herramienta informática DIALux, en la cual se puede elaborar un local con una geometría determinada que simule la distribución en planta real de la fábrica mediante el uso de figuras geométricas, tal como se mostrará a continuación. Cuando el local esté hecho correctamente, se elaborará la disposición de ventanales y lucernarios que formarán el sistema de iluminación natural.

Las tres propuestas para el diseño del sistema de iluminación que se van a presentar pueden dividirse en dos grupos. Ambas tienen tanto ventanales en los cerramientos laterales como lucernarios en la cubierta, pero las dos primeras propuestas poseen los lucernarios en dirección

del eje x. Mientras que la última propuesta tiene lucernarios dispuestos en dirección del eje y (dichos ejes serán definidos a continuación en la propuesta 1).

Por otra parte, en cuanto a la disposición de los ventanales, las tres propuestas poseen una idéntica distribución de dichos ventanales.

7.1.1. Propuesta 1.

En esta primera propuesta se tienen 12 ventanales de dimensiones 4x1,25 metros, sumando una superficie total de 60 m² y 12 lucernarios de 6x1,25 metros, sumando una superficie total de 90 m².

En todas las propuestas que se van a presentar, incluyendo esta, se va a optar por una mayor superficie de lucernarios en cubierta que de ventanales en el cerramiento lateral. Esto es debido a un motivo principal; un lucernario en una cubierta con una cierta inclinación capta un mayor ángulo de bóveda celeste, con lo cual capta más cantidad de iluminación durante el transcurso del día.

A continuación, se va a mostrar la disposición de ventanas y lucernarios se la propuesta 1:

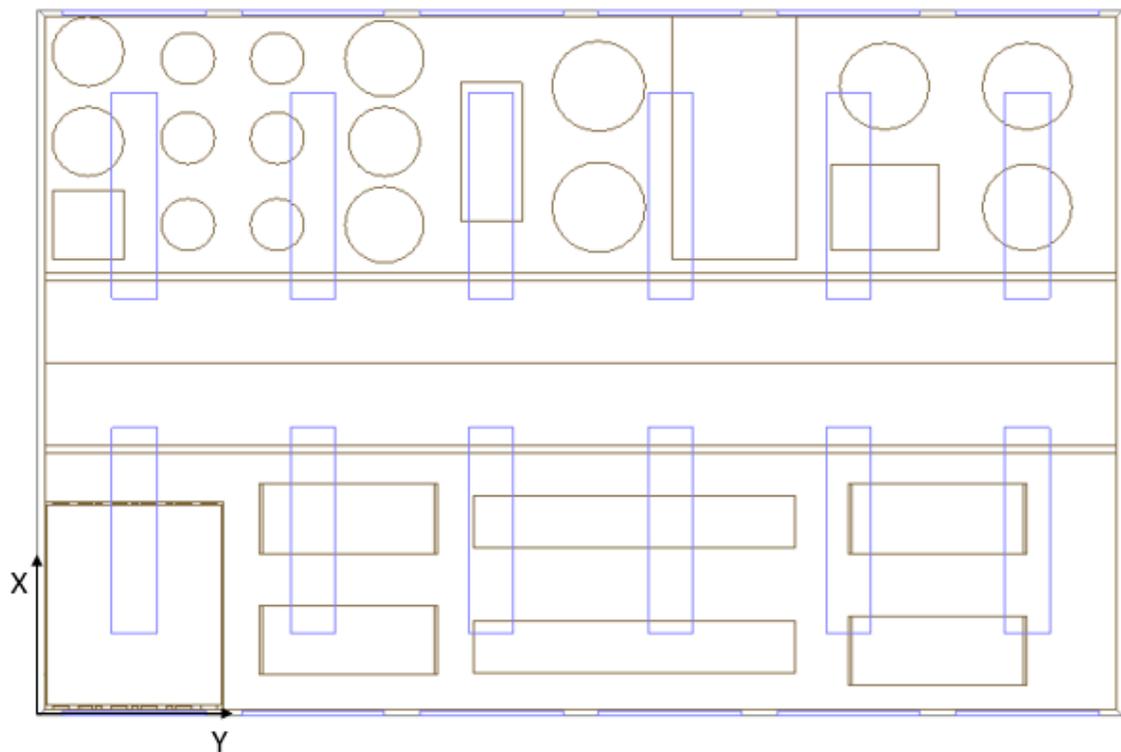


Imagen 15: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux.

Siendo remarcados en azul los lucernarios de la cubierta, separados a distancias equidistantes unos de otros. También se puede observar el eje de coordenadas en la parte inferior izquierda. Como se ha dicho, en las propuestas 1 y 2, los lucernarios están situados en dirección del eje x, mientras que en la propuesta 3 se encuentra ubicado en dirección del eje Y.

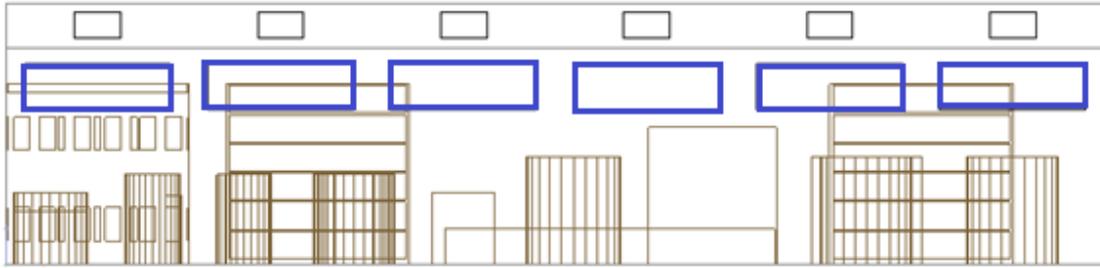


Imagen 16: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux.

Siendo remarcadas en azul las ventanas del cerramiento lateral, separadas a distancias equidistantes unas de otras.

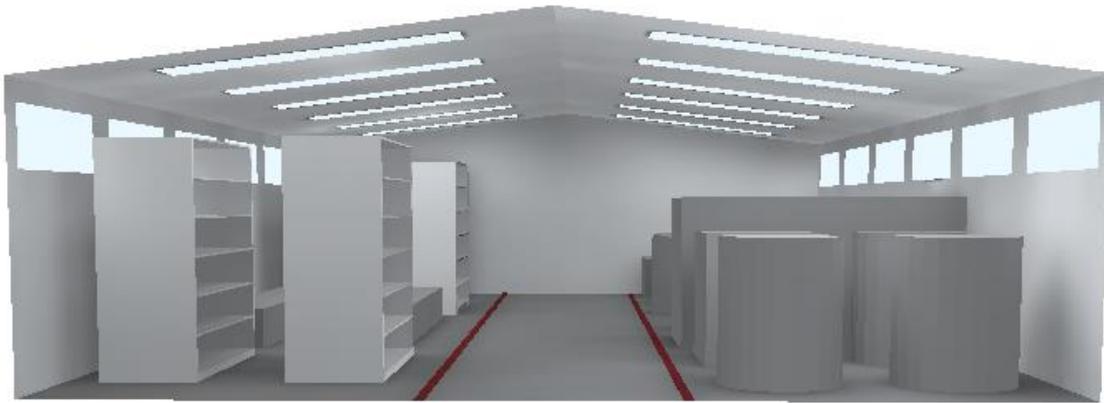


Imagen 17: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 1. Fuente DIALux.

7.1.2. Propuesta 2.

En esta segunda propuesta se tienen 12 ventanales de dimensiones 4x1.25 metros, sumando una superficie total de 60 m² y 6 lucernarios de 16x1metros, sumando una superficie total de 96 m².

A continuación, se va a mostrar la disposición de ventanas y lucernarios se la propuesta 2:

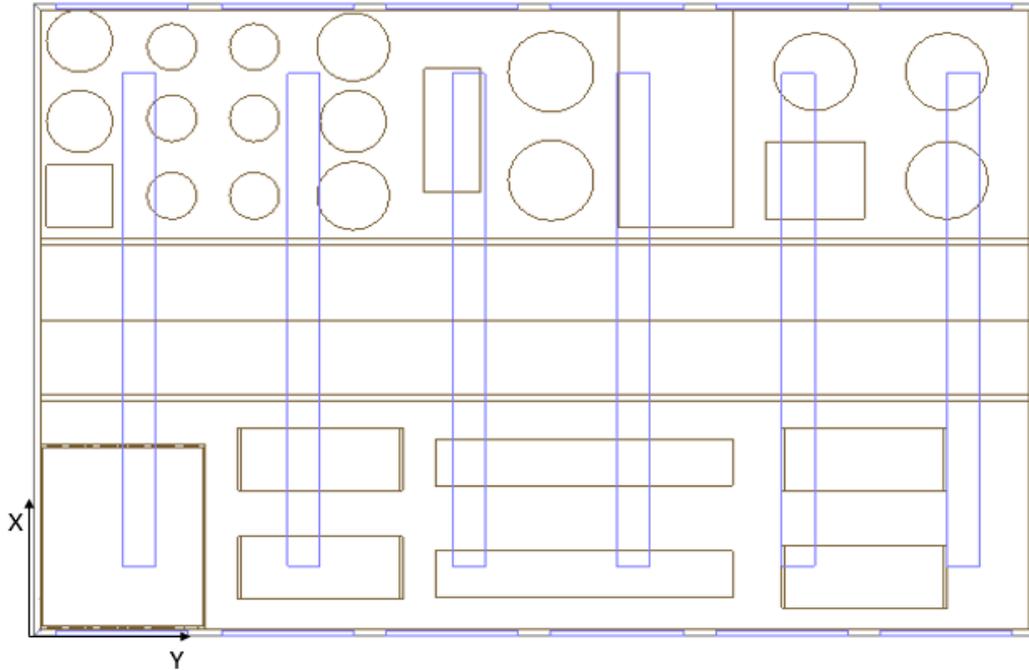


Imagen 18: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux.

Siendo remarcados en azul los lucernarios de la cubierta, separados a distancias equidistantes unos de otros.

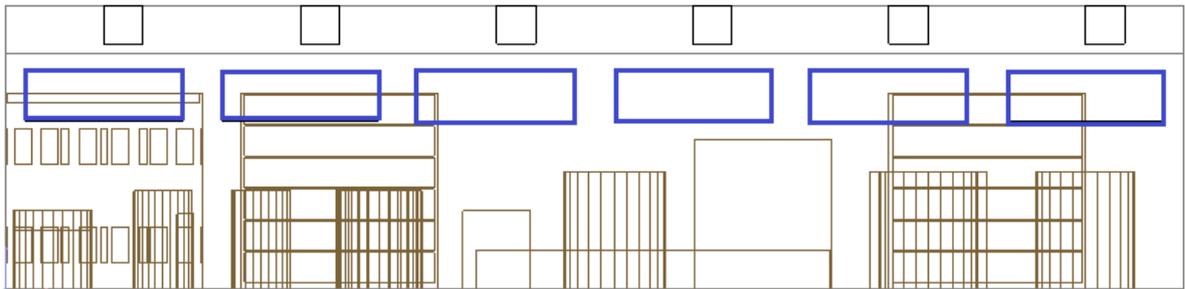


Imagen 19: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux.

Siendo remarcadas en azul las ventanas del cerramiento lateral, separadas a distancias equidistantes unas de otras.

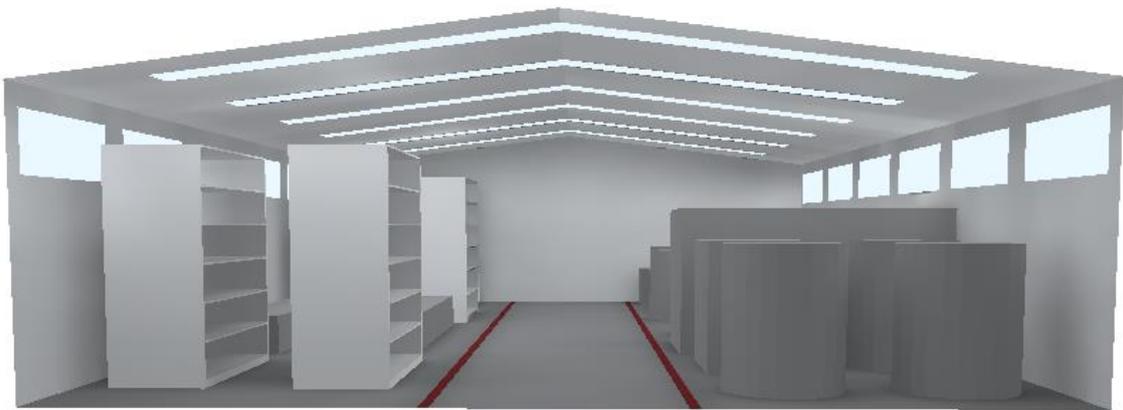


Imagen 20: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 2. Fuente DIALux.

7.1.3. Propuesta 3.

En esta tercera propuesta se tienen 12 ventanales de dimensiones 4x1.25 metros, sumando una superficie total de 60 m² y 4 lucernarios de dimensiones 25x1 metros, sumando una superficie total de 100². Para la distribución de los lucernarios, se obtiene una superficie un poco mayor que la calculada por el método analítico en el [apartado 7](#), lo cual no es un problema porque dicho método es aproximado.

A continuación, se va a mostrar la disposición de ventanas y lucernarios se la propuesta 3:

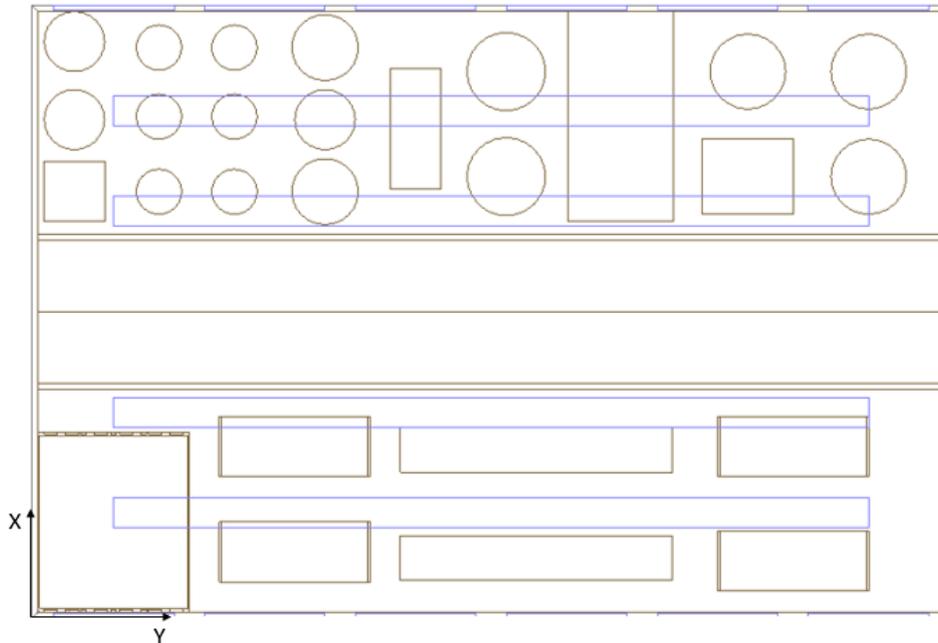


Imagen 21: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux.

Siendo remarcados en azul los lucernarios de la cubierta, separados a distancias equidistantes unos de otros.

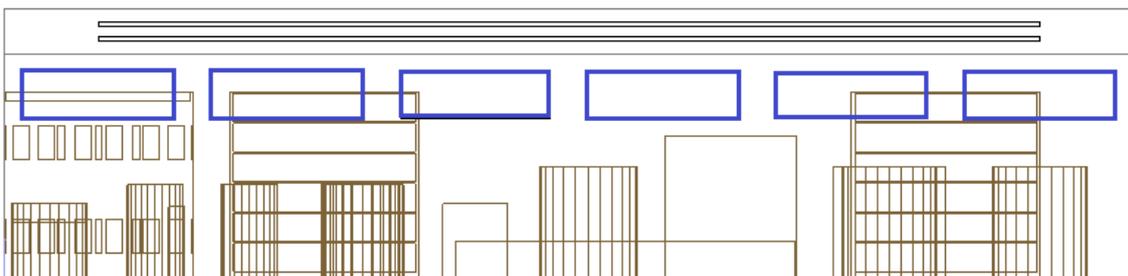


Imagen 22: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux.

Siendo remarcadas en azul las ventanas del cerramiento lateral, separadas a distancias equidistantes unas de otras.

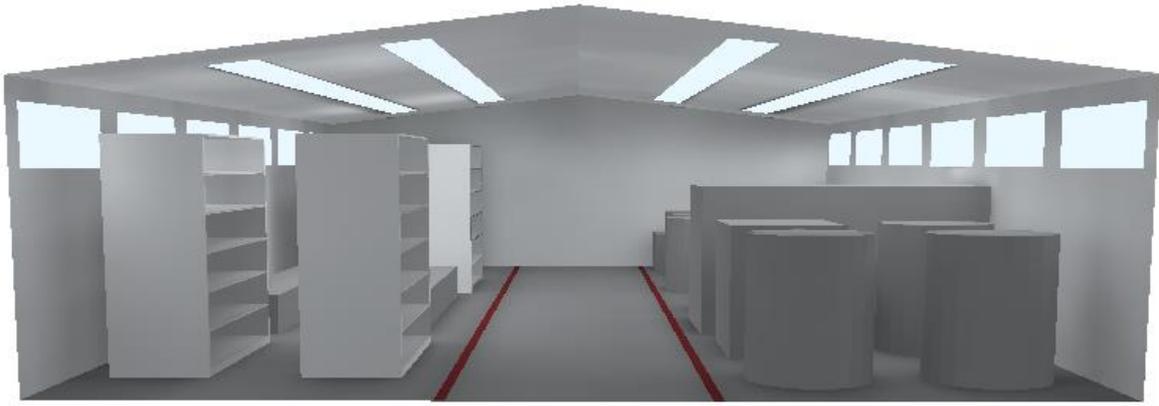


Imagen 23: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 3. Fuente DIALux.

7.2. Criterios de simulación en DIALux

Una vez elaboradas las tres alternativas para el sistema de iluminación, se procede a la simulación de cada una de las propuestas para poder conocer qué sistema es el más eficiente de los tres.

Para ello, como se ha mencionado antes, se hará uso de la herramienta DIALux. Este programa permite realizar una simulación de la distribución de la luz natural dentro de la planta industrial. En primer lugar, se elabora la geometría del local, donde hay que definir los coeficientes de reflexión de las distintas superficies, siendo hormigón para el suelo y metal para cerramientos laterales y cubierta.

También, hay que proporcionar algunos datos esenciales al programa para realizar la simulación de la iluminación natural, como la ubicación de local, en la cual se ha introducido Alicante. Otro dato muy importante que se ha de tener en cuenta es la dirección en la que está ubicada la nave, es decir, dónde se encuentra el norte (puede verse en la imagen 8, apartado 5).

Por otra parte, la simulación se va a realizar para dos casos en cada propuesta, en uno de los días con más iluminación del año, 23/06 a las 14:00 horas, y en uno de los días con menos iluminación del año, 20/12 a las 9:00 horas. Esto se hace por dos motivos, en primer lugar, si los requerimientos de luz se cumplen para el día más oscuro del año, se puede asumir que se cumplirán para el resto de los días del año. Por otra parte, también hay que controlar la iluminación que se producirá para el día más luminoso, para tener la certeza de que no se produce una iluminación excesiva, que pueda llegar a ser molesta.

Por último, las ventanas y lucernarios que se van a usar son de policarbonato, por lo que se le debe indicar al programa que se trata de un video opalino, con una estructura metal fija.

Cuando se han insertado todos los parámetros requeridos por el programa, se procede a realizar la simulación de cada uno de los sistemas de iluminación.

8. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

En primer lugar, se van a presentar los resultados obtenidos para cada propuesta, obtenidos mediante la simulación de la herramienta DIALux. Como se había mencionado en el apartado 6.6, los parámetros que determinan que sistema de iluminación es el más eficiente son la iluminación media (E_m), uniformidad (E_m/E_{max}), deslumbramiento e iluminación máxima (E_{max}).

Para ello, se realizará la simulación de cada propuesta para el día con más y menos iluminación del año, como se ha comentado. Para cada alternativa, se presenta una imagen con isolíneas, que muestran las zonas de la nave con diferentes niveles de iluminación y dos tablas; una con los valores de iluminación globales para la planta industrial y otra con valores de iluminación para los diferentes sectores de la fábrica.

Posteriormente, se analizará cada uno de los resultados de las diferentes alternativas del sistema de iluminación, observando que cumplan con los valores requeridos. Y de aquella propuesta que posea el sistema más eficiente, se realizará alguna mejora en ella, quedando como la propuesta definitiva del sistema de iluminación natural de la nave industrial.

8.1. PRESENTACION DE RESULTADOS

8.1.1. Propuesta 1.

12 ventanales de dimensiones 4x1.25 metros y 12 lucernarios de 6x1,25 metros.

Simulación el 23 de junio a las 14:00 horas

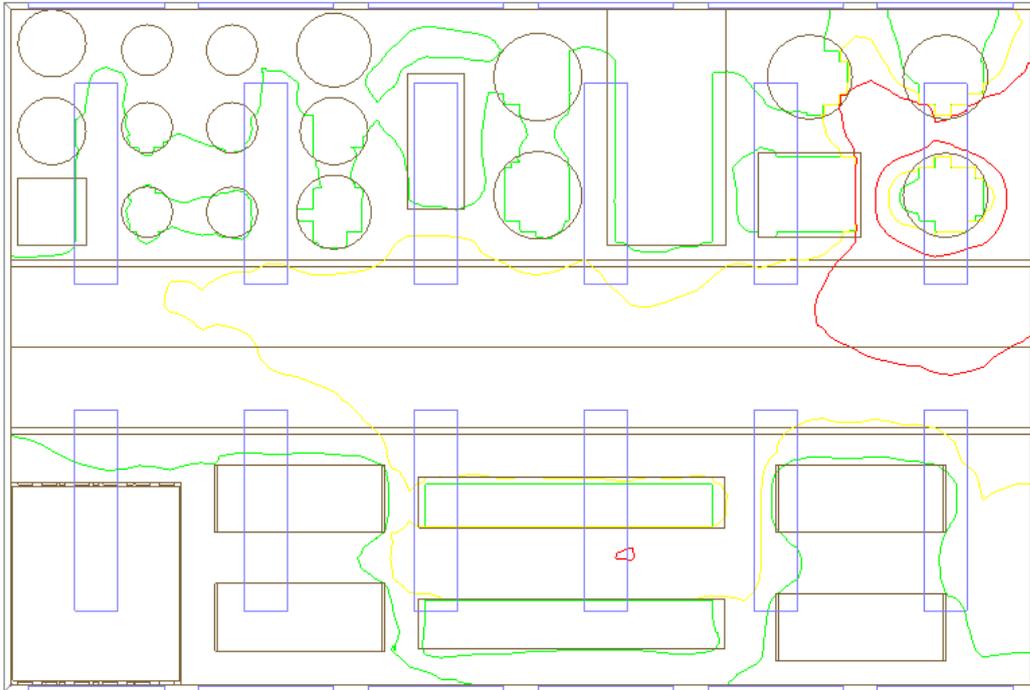


Imagen 24. Isolinias del plano útil. Propuesta 1. 23 de junio 14:00 horas.



Imagen 25. Valor de las isolinias del plano útil.

De la herramienta DIALux, también se obtienen los siguientes resultados:

| | Em (luxes) | Emin/Em | Emax (luxes) |
|---------|------------|---------|--------------|
| DIALux | 385 | 0,013 | 854 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 3. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 1. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

Dividiendo la nave en sectores en función de la labor que se desempeñe, como muestra la imagen 14 apartado 7, se calcula la iluminación media interior y la uniformidad para cada uno de los sectores, (para efectuar este cálculo se hace uso de un gráfico de valores que proporciona DIALux). Así, se eliminan tanto datos anómalos/incorrectos, como valores de iluminación en lo alto de las estanterías o en esquinas que no forman parte de ningún hipotético puesto de trabajo.

| | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Em (luxes) | 427,92 | 408,69 | 582,5 | 502,43 | 351,37 |
| E _{min} /E _m | 0,30 | 0,44 | 0,6475 | 0,61 | 0,58 |

Tabla 4. Datos por sectores. Propuesta 1. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

Simulación 20 diciembre a las 9:00 horas.

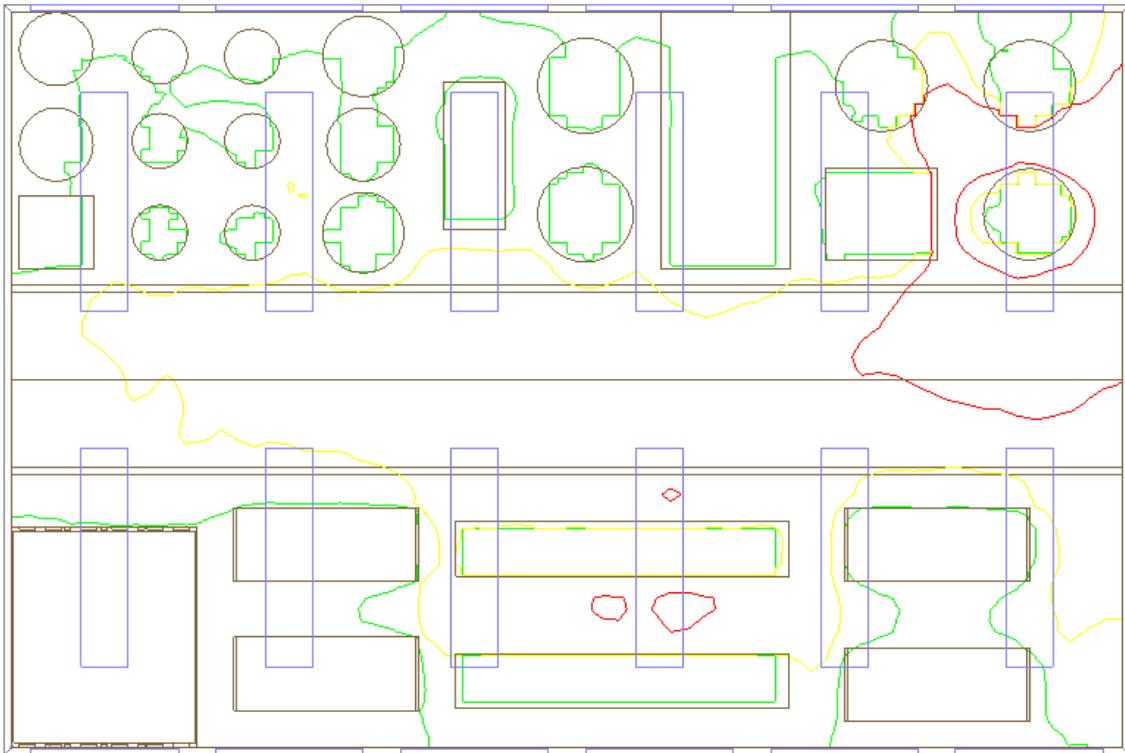


Imagen 26. Isótopas del plano útil. Propuesta 1. 20 de diciembre 14:00 horas.



Imagen 27. Valor de las isótopas del plano útil.

| | E _m (luxes) | E _{min} /E _m | E _{max} (luxes) |
|---------|------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| DIALux | 47 | 0,013 | 103 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 5. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 1. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas.

Hay que recalculer dichos parámetros como se ha hecho en el caso anterior debido a los datos anómalos comentados previamente.

| | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Em (luxes) | 50,00 | 49,44 | 67,91 | 59,40 | 43,68 |
| E _{min} /E _m | 0,46 | 0,63 | 0,91 | 0,61 | 0,57 |

Tabla 6. Datos por sectores. Propuesta 1. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas.

8.1.2. Propuesta 2.

12 ventanales de dimensiones 4x1.25 metros, sumando una superficie total de 60 m² y 6 lucernarios de 16x1metros, sumando una superficie total de 96 m².

Simulación el 23 de junio a las 14:00 horas

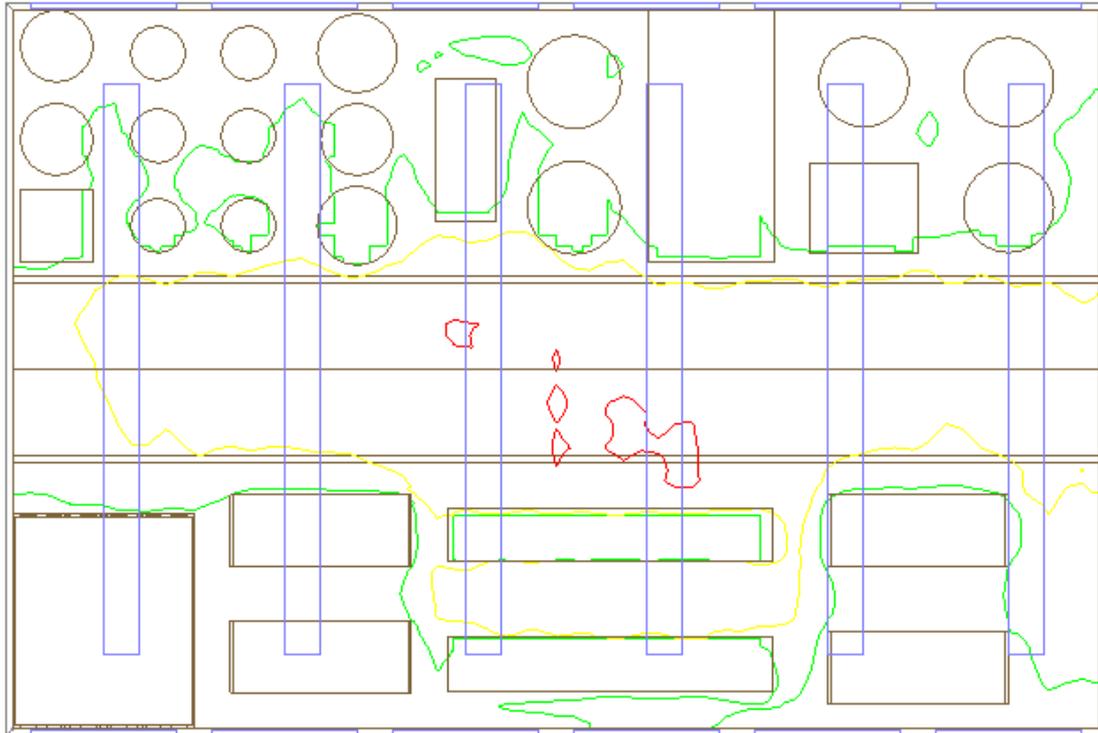


Imagen 28. Isolíneas del plano útil. Propuesta 2. 23 de junio 14:00 horas.

Isolíneas del plano útil

1. Valor lx

2. Valor lx

3. Valor lx

Imagen 29. Valor de las isolíneas del plano útil.

| | E _m (luxes) | E _{min} /E _m | E _{max} (luxes) |
|---------|------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| DIALux | 364 | 0,013 | 616 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 7. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 2. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

| | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Em (luxes) | 275,92 | 438,93 | 550,50 | 516,17 | 329,55 |
| E _{min} /E _m | 0,46 | 0,57 | 0,83 | 0,63 | 0,52 |

Tabla 8. Datos por sectores. Propuesta 2. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

Simulación 20 diciembre a las 9:00 horas.

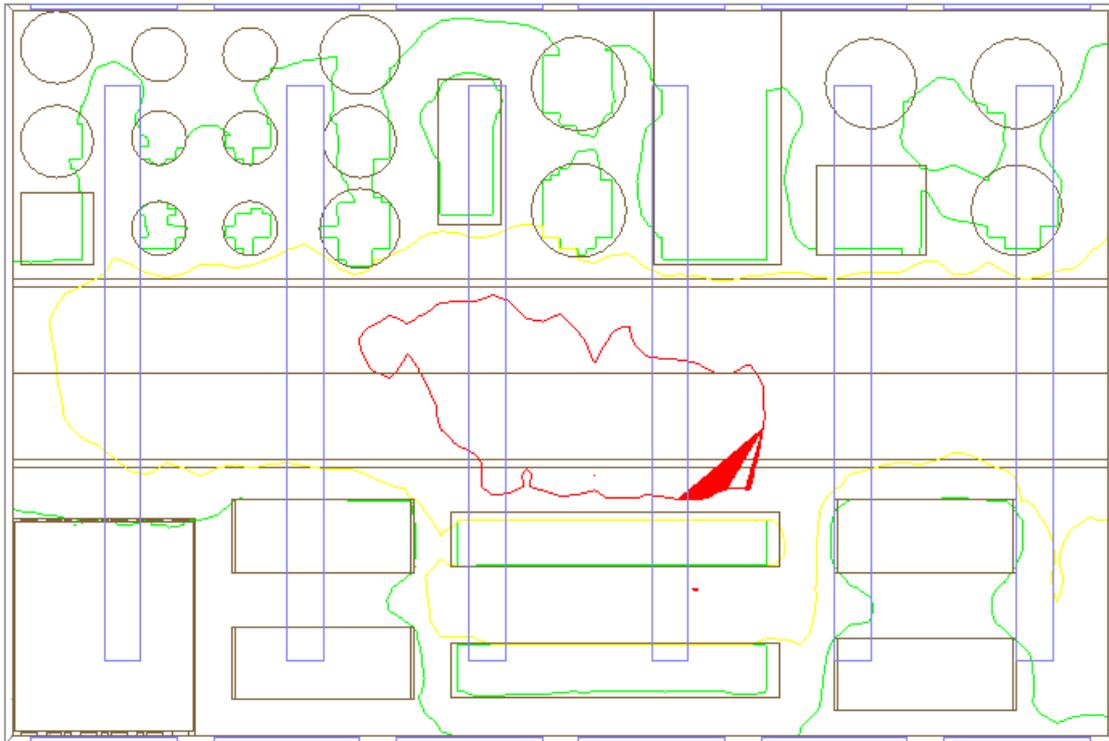


Imagen 30. Isolíneas del plano útil. Propuesta 2. 20 de diciembre 9:00 horas.



Imagen 31. Valor de las isolíneas del plano útil.

| | E _m (luxes) | E _{min} /E _m | M _{ax} (luxes) |
|---------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| DIALux | 44 | 0,013 | 75 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 9. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 2. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas.

| | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Em (luxes) | 35,00 | 49,06 | 68,52 | 63,35 | 40,35 |
| E _{min} /E _m | 0,43 | 0,61 | 0,85 | 0,68 | 0,52 |

Tabla 10. Datos por sectores. Propuesta 2. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas.

8.1.3. Propuesta 3

12 ventanales de dimensiones 4x1.25 metro y 4 lucernarios de dimensiones 25x1 metros.

Simulación el 23 de junio a las 14:00 horas

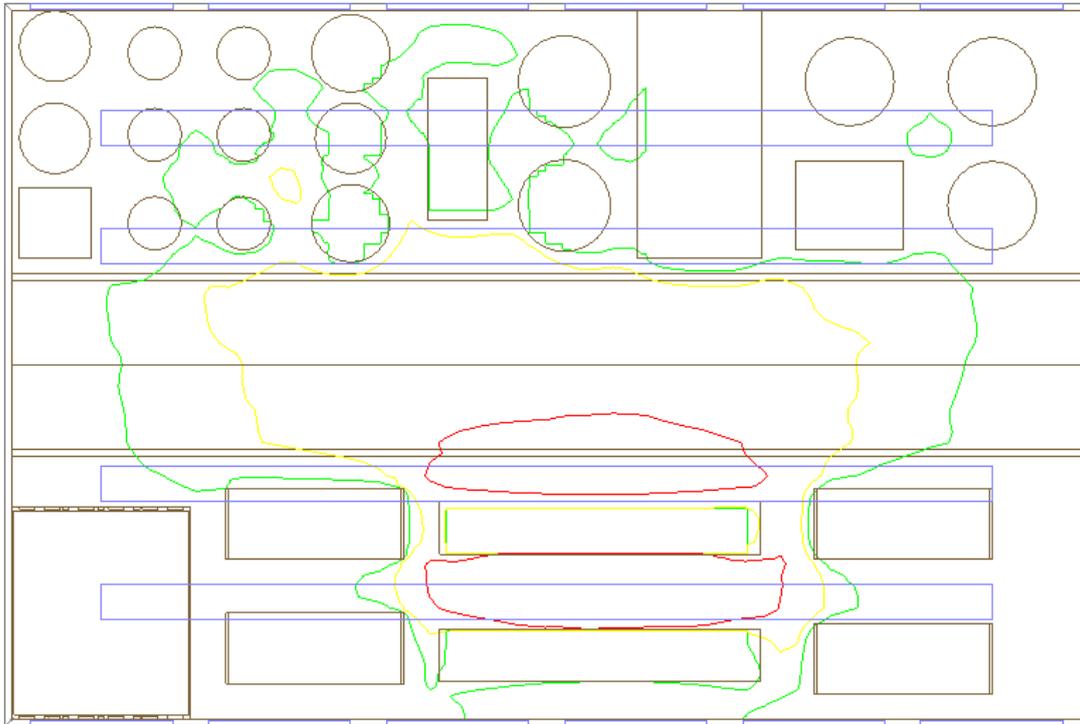


Imagen 32. Isolíneas del plano útil. Propuesta 3. 23 de junio 14:00 horas.

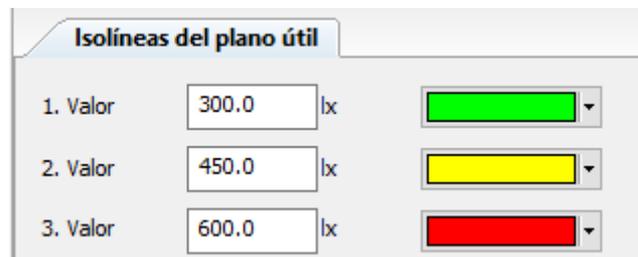


Imagen 33. Valor de las isolíneas del plano útil.

| | E_m (luxes) | E_{min}/E_m | E_{max} (luxes) |
|---------|---------------|---------------|-------------------|
| Nave | 359 | 0,013 | 708 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 11. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 3. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| E_m (luxes) | 293,11 | 470,00 | 649,76 | 444,79 | 279,11 |
| E_{min}/E_m | 0,50 | 0,70 | 0,91 | 0,51 | 0,49 |

Tabla 12. Datos por sectores. Propuesta 3. Simulación 23 de junio a las 14:00 horas.

Simulación 20 diciembre a las 9:00 horas.

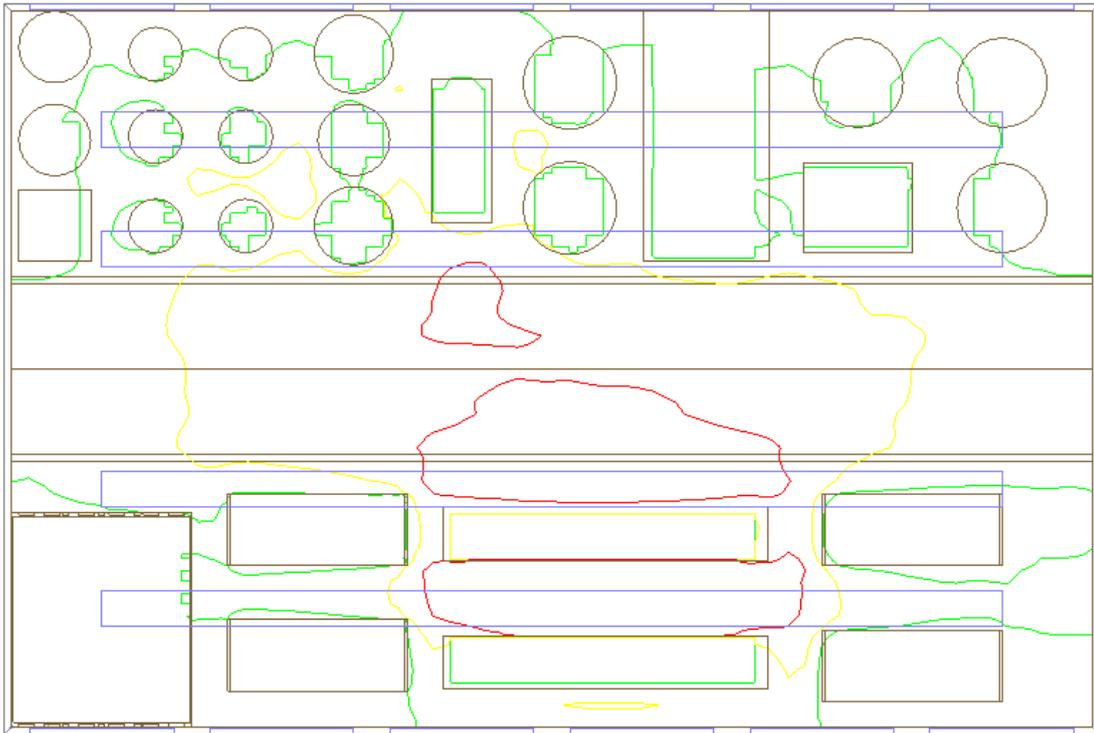


Imagen 34. Isolíneas del plano útil. Propuesta 3. 20 de diciembre 14:00 horas.



Imagen 35. Valor de las isótopas del plano útil.

| | E_m (luxes) | E_{min}/E_m | E_{max} (luxes) |
|---------|---------------|---------------|-------------------|
| DIALux | 43 | 0,013 | 86 |
| Teórico | 232,5 | 0,3 | 2000 |

Tabla 13. Datos DIALux y teóricos. Propuesta 3. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas

| Sectores | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_m (luxes) | 34,00 | 57,14 | 78,43 | 53,88 | 34,78 |
| E_{min}/E_m | 0,53 | 0,70 | 0,92 | 0,58 | 0,63 |

Tabla 14. Datos por sectores. Propuesta 3. Simulación 20 de diciembre a las 9:00 horas

Por último, en cuanto al deslumbramiento, la herramienta DIALux no permite realizar el cálculo, por lo que se realiza dicho cálculo a continuación:

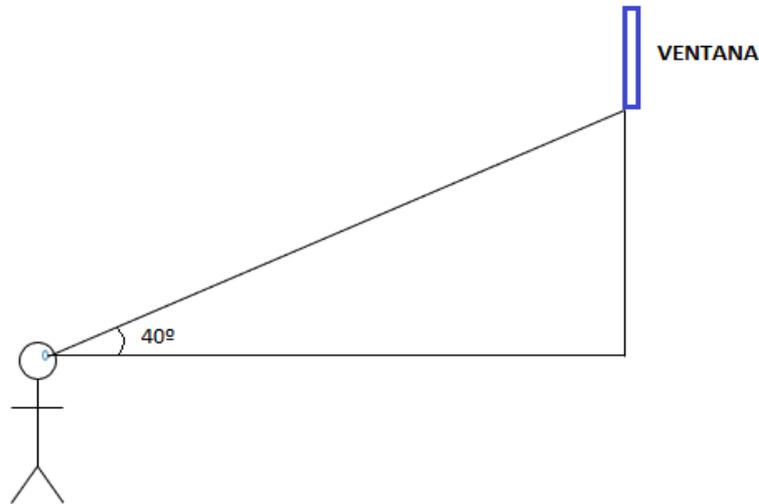


Imagen 36. Deslumbramiento que produce la luz solar en el ojo humano.

Como se había explicado en el apartado 6.6, el deslumbramiento se produce cuando la radiación solar incide sobre el ojo humano con un ángulo igual o inferior a 40°. En este caso, las tres propuestas poseen la misma distribución de ventanales (causantes de este hecho), así pues, dicho deslumbramiento que se produce en estas alternativas es idéntico.

Para calcular a partir de que distancia se produce deslumbramiento, habrá que considerar que la altura media a la que se encuentra el trabajador, esta altura se ha estimado en 1,5 metros aproximadamente, una media entre las personas que se encuentran trabajando de pie y aquellas que se encuentran trabajando en bancos de trabajo sentados. Con ello, se obtiene lo siguiente:

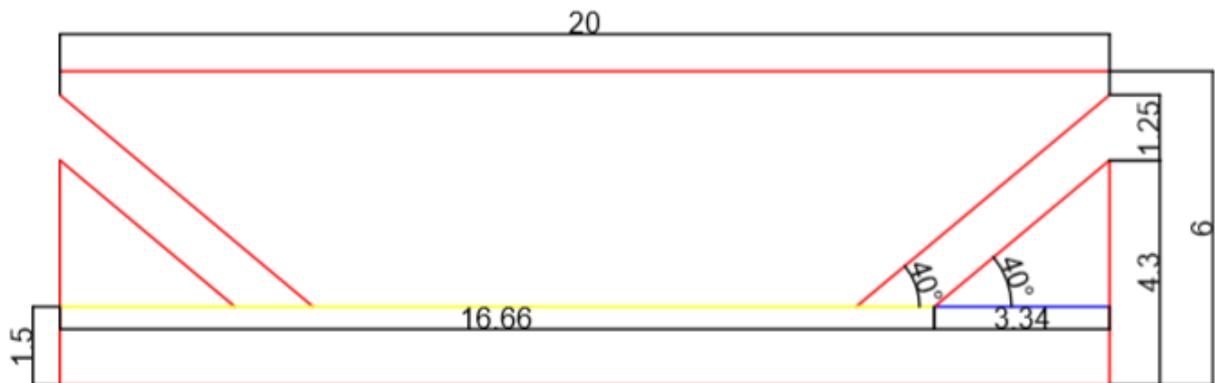


Imagen 37. Deslumbramiento en la nave industrial. Fuente AutoCAD.

Como se puede observar, en las tres propuestas se tienen ventanales de 1,25 metros de altura, situados a 4,3 metros de la solera. Así pues, cuando el ángulo desde la línea azul (altura ojo humano) sea 40° con la parte inferior del ventanal, se tendrá la distancia a partir de la cual se produce deslumbramiento, la cual es, como se puede observar, 3,34 metros.

A partir de esta distancia, es cuando se producirá deslumbramiento (línea amarilla, 16,66 metros). Lo mismo ocurre con el ventanal de la izquierda que es idéntico al de la derecha. Así pues, el deslumbramiento es direccional y depende de hacia dónde mire el trabajador cuando realiza su tarea, siendo dicha distancia, en el caso del ventanal situado en el cerramiento lateral, 3,34 metros.

Por otra parte, los lucernarios cenitales también producen deslumbramientos, así pues, repitiendo el mismo proceso que se acaba de realizar, se obtiene la distancia a partir de la cual se produce deslumbramiento cuando la luz atraviesa los lucernarios, que son 7,11 metros.

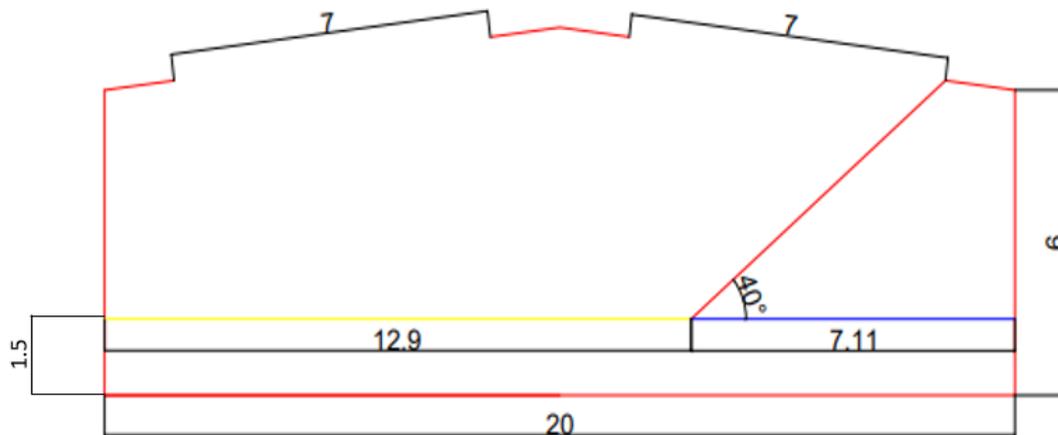


Imagen 37. Deslumbramiento en la nave industrial. Fuente AutoCAD.

Para evitar dichos deslumbramientos que se pueden producir en cualquier época de año, tanto los deslumbramientos producidos por los ventanales, como los producidos por los lucernarios cenitales, se deben de realizar una serie de medidas.

Estas medidas pueden resultar tan obvias como ubicar los puestos de trabajo de forma que no se encuentren mirando directamente hacia el ventanal o lucernario que está produciendo el deslumbramiento. Otra forma de evitar el deslumbramiento consiste en la instalación de paneles en los puestos de trabajo propensos a sufrir deslumbramientos. Cualquiera de las dos medidas es eficaz a la hora de resolver este problema.

8.2. Análisis de resultados

Como se ha mencionado al principio del [apartado 8 de “Presentación y análisis de resultados”](#), para averiguar cuál de las tres propuestas posee el sistema de iluminación más eficiente, hay que examinar los parámetros de iluminación media interior, uniformidad e iluminación máxima (el deslumbramiento se ha estudiado antes, que es el mismo para los tres casos).

A continuación, se van a presentar los resultados de cada una de las propuestas, observando que se cumplan los requerimientos exigidos y observando que alternativa posee los valores óptimos de iluminación.

| PROPUESTA 1 | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| 23/06 14:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E_m DIALux | E_m sector | E_m global | E_{min}/E_m | E_{min}/E_m a cumplir | E_{max} | E_{max} permitida |
| 1 | 427,92 | 100 | 232,5 | 0,30 | $\geq 0,30$ | 854 | <2000 |
| 2 | 408,69 | 200 | | 0,44 | | | |
| 3 | 582,50 | 1000 | | 0,65 | | | |
| 4 | 502,43 | 100 | | 0,61 | | | |
| 6 | 351,37 | 300 | | 0,58 | | | |
| 20/12 9:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E_m DIALux | E_m sector | E_m global | E_{min}/E_m | E_{min}/E_m a cumplir | E_{max} | E_{max} permitida |
| 2 | 50,00 | 100 | 232,5 | 0,46 | $\geq 0,30$ | 103 | <2000 |
| 3 | 49,44 | 200 | | 0,63 | | | |
| 4 | 67,91 | 1000 | | 0,91 | | | |
| 5 | 59,40 | 100 | | 0,61 | | | |
| 6 | 43,68 | 300 | | 0,57 | | | |

Tabla 15. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 1.

| PROPUESTA 2 | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| 23/06 14:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E_m DIALux | E_m sector | E_m global | E_{min}/E_m | E_{min}/E_m a cumplir | E_{max} | E_{max} permitida |
| 1 | 275,92 | 100 | 232,5 | 0,46 | $\geq 0,30$ | 616 | <2000 |
| 2 | 438,93 | 200 | | 0,57 | | | |
| 3 | 550,50 | 1000 | | 0,83 | | | |
| 4 | 516,17 | 100 | | 0,63 | | | |
| 6 | 329,55 | 300 | | 0,52 | | | |
| 20/12 9:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E_m DIALux | E_m sector | E_m global | E_{min}/E_m | E_{min}/E_m a cumplir | E_{max} | E_{max} permitida |
| 1 | 35,00 | 100 | 232,5 | 0,43 | $\geq 0,30$ | 75 | <2000 |
| 2 | 49,06 | 200 | | 0,61 | | | |
| 3 | 68,52 | 1000 | | 0,85 | | | |
| 4 | 63,35 | 100 | | 0,68 | | | |
| 6 | 40,35 | 300 | | 0,52 | | | |

Tabla 16. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 2.

| PROPUESTA 3 | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------------------------------|--|------------------|----------------------------|
| 23/06 14:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E _m DIALux | E _m sector | Em global | E _{min} /E _m | E _{min} /E _m a cumplir | E _{max} | E _{max} permitida |
| 1 | 293,11 | 100 | 232,5 | 0,50 | ≥0,30 | 708 | <2000 |
| 2 | 470,00 | 200 | | 0,70 | | | |
| 3 | 649,76 | 1000 | | 0,91 | | | |
| 4 | 444,79 | 100 | | 0,51 | | | |
| 6 | 279,11 | 300 | | 0,49 | | | |
| 20/12 9:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | E _m DIALux | E _m sector | Em global | E _{min} /E _m | E _{min} /E _m a cumplir | E _{max} | E _{max} permitida |
| 1 | 34,00 | 100 | 232,5 | 0,53 | ≥0,30 | 86 | <2000 |
| 2 | 57,14 | 200 | | 0,70 | | | |
| 3 | 78,43 | 1000 | | 0,92 | | | |
| 4 | 53,88 | 100 | | 0,58 | | | |
| 6 | 34,78 | 300 | | 0,63 | | | |

Tabla 17. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 3.

Siendo:

| | |
|--|-------------------------------|
| | No alcanza el valor requerido |
|--|-------------------------------|

Observando los resultados, las tres propuestas en las dos fechas simuladas no alcanzan los valores requeridos de iluminación en los mismos casos. Dichos casos son:

1. No alcanzan la iluminación media de cada sector a las 9:00 hrs el 20 de diciembre.
2. No alcanzan la iluminación media del sector 3 a las 14:00 hrs el 23 de junio.
3. No se supera en ningún momento los 2000 luxes.

En primer lugar, es razonable que no se alcance la iluminación media requerida para el día con menos iluminación del año a las 9:00 hrs. No obstante, conforme avancen las horas en este día, la iluminación ira en aumento, obviamente. Pero a las 9:00 am aún no ha acabado de amanecer completamente, por lo que es lógico que no se alcancen los valores de iluminación. Por ello, durante algunas fechas de invierno, el sistema de iluminación natural deberá ser apoyado por un sistema de iluminación artificial.

En segundo lugar, que no se alcancen los 1000 luxes requeridos para el sector tres, también es algo lógico, puesto que es un requerimiento de luz elevado comparado con el resto de las zonas. Dicho sector es la zona de la nave donde se va a producir el envasado de la cerveza. En un principio, el envasado no requiere grandes iluminaciones ya que se trata de una cinta automatizada donde se rellenan las botellas de cerveza, no obstante, se requieren 1000 luxes porque en este sector se va a producir una inspección del color de la cerveza, donde se determina si cumple o no con los estándares de calidad. Así pues, conseguir obtener la iluminación requerida por la norma en este sector va a ser prácticamente imposible a no ser que tengan muchas más aberturas para el sistema de iluminación natural, lo cual no sería viable económicamente hablando.

Al llegar a esta conclusión surgen una serie de preguntas:

- ¿Por qué no hay más aberturas?
- ¿Existen pérdidas energéticas?
- ¿Cómo le afecta a la cerveza la iluminación?

Con el método analítico se había calculado la superficie necesaria de ventanales y tragaluces para lograr alcanzar el requerimiento que exige la norma. Se ha podido observar que, aún usando una superficie un poco más elevada de la que se había calculado con este método, se sigue sin alcanzar en uno de los sectores la iluminación exigida. ¿Qué pasaría si seguimos aumentando la superficie? Seguir aumentando la superficie de ventanales y tragaluces puede significar que se alcance en todos los sectores el valor de iluminación media interior regido por la normativa europea.

No obstante, hay que pensar lo que esto supone, es decir, ¿es rentable instalar más y más paneles de policarbonato para asegurar que se alcanza la iluminación? Desde el punto de vista económico, no resulta una solución viable, puesto que la inversión para realizar el proyecto sería mucho más cara y no se conseguirían ahorros energéticos tan elevados como para que resultase beneficioso (además de que el sistema definitivo que se va a diseñar en el siguiente apartado ya es eficiente y la iluminación es casi correcta, no se puede realizar un aprovechamiento mucho mayor de la iluminación natural). Este hecho no se ha calculado, pero resulta algo obvio, ninguna fábrica situada en un polígono industrial posee un sistema de iluminación natural elevado, si no el justo para poseer un ahorro energético pequeño con respecto al no usar luminaria artificial. Por todo ello, instalar más paneles es una solución inviable.

Otro aspecto que considerar es que se tiene una fábrica de cerveza, existen muchos procesos en la elaboración de la cerveza, reacciones químicas que se tiene que dar en su justa medida, que una iluminación excesiva podría llegar a estropear al aumentar la temperatura. Por ejemplo, la fermentación es un proceso a temperaturas bajas, cuya alta exposición a la luz natural podría ser fatal para el proceso. Este es un hecho que se debe tener en cuenta para la solución definitiva que se va a presentar, se ha diseñado un sistema de iluminación para que todas las zonas posean una correcta iluminación. Sin embargo, durante todo el proceso se ha de conseguir que las temperaturas de todas las elaboraciones sean las correctas, ya sea instalando paneles para conseguir que los equipos no se calienten en exceso o que dichos equipos tengan equipos de aislamiento térmico.

Por otra parte, un resumen de las tres propuestas.

| | | E_m global | E_{min}/E_m global |
|-------------|------------------|--------------|----------------------|
| Propuesta 1 | 23-jun 14:00 hrs | 454,58 | 0,52 |
| | 20-dic 9:00 hrs | 54,09 | 0,64 |
| Propuesta 2 | 23-jun 14:00 hrs | 422,21 | 0,60 |
| | 20-dic 9:00 hrs | 51,26 | 0,62 |
| Propuesta 3 | 23-jun 14:00 hrs | 427,35 | 0,62 |
| | 20-dic 9:00 hrs | 51,64 | 0,67 |

Tabla 18. Resultados globales de iluminación media y uniformidad.

Estos datos son un resumen de las tres tablas anteriores, calculado por sectores. Al realizar el cálculo por sectores, se han obviado algunos datos, como valores de iluminación situados en esquinas, encima de equipos, encima de maquinaria o encima de estanterías.

Siendo:

| |
|---------------------------------------|
| Mejor valor de todas las alternativas |
|---------------------------------------|

A continuación, comparando los datos globales entre las diferentes alternativas, se ha concluido en lo siguiente. En general, la propuesta número 1 es la que posee valores de iluminación más elevados tanto para la fecha del 23/06 a las 14:00 hrs como el 20/12 a las 9:00 hrs. También posee la mayor uniformidad de la distribución de la iluminación natural para el caso del del 20/12 a las 9:00 hrs.

Por otra parte, esta alternativa es en la que menos superficie de lucernarios se ha hecho uso, por lo que aún se podría aumentar la superficie de lucernarios y así, mejorar los valores de iluminación media interior. Como se observa en el análisis de resultados, se puede concluir que, en esta propuesta, teniendo igual o menor superficie de aberturas que las otras alternativas, se poseen valores más elevados de iluminación.

Se debe aumentar la superficie ya que hace falta aumentar la iluminación media interior para el caso del 20/12 a las 9:00 hrs y así, se aproxime lo máximo a lo requerido por la normativa europea y evitar el uso de iluminación artificial y conseguir un sistema de iluminación natural lo más eficiente posible.

Por lo tanto, se realizarán una serie de mejoras para esta alternativa y así, conseguir un sistema de iluminación natural definitivo para la nave industrial.

8.3. PROPUESTA 4.

Esta propuesta del sistema de iluminación consta de 12 lucernarios de dimensiones 7x1,5 metros, lo que supone una superficie total de 126 m². Esta superficie es considerablemente más elevada que la sugerida en la propuesta 1 porque se pretende aumentar lo máximo posible la iluminación para el caso del día más oscuro del año, como se acababa de explicar.

También se han instalado dos ventanales, uno de dimensiones 28x1,5 metros, y otro de dimensiones 23x1,5 metros, sumando una superficie total de 76,5 m². Esta asimetría en cuanto a los ventanales se debe a que el ventanal que mide 23 metros no puede recorrer todo el cerramiento lateral ya que el módulo de oficinas se lo impide. Por otra parte, se decidió optar por colocar dos ventanales que ocupen todo el largo del cerramiento lateral, con el objetivo de captar más cantidad de luz natural.

A continuación, las imágenes de la distribución de ventanales y lucernarios en la nave industrial.

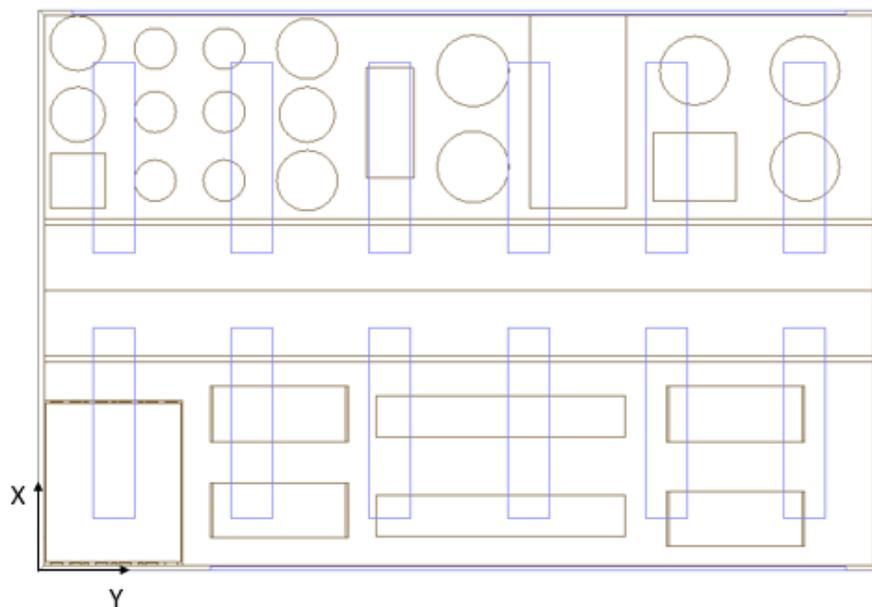


Imagen 39: Vista de la planta de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux.

Siendo remarcados en azul los lucernarios de la cubierta, separados a distancias equidistantes unos de otros.

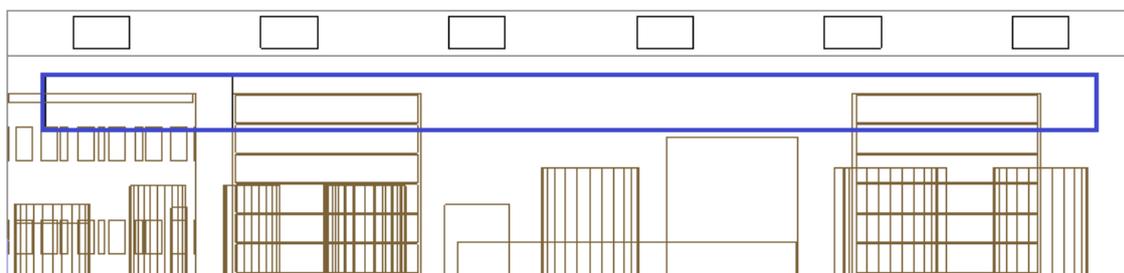


Imagen 40: Vista lateral de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux.

Siendo remarcadas en azul las ventanas del cerramiento lateral, separados a distancias equidistantes unas de otras



Imagen 41: Vista 3D de la nave industrial, propuesta 4. Fuente DIALux.

8.3.1. PRESENTACION DE RESULTADOS PROPUESTA 4

1 ventanal 28x1,5 metros, otro ventanal 23x1,5 metros y 12 lucernarios 7x1,5 metros.

Simulación el 23 de junio a las 14:00 horas

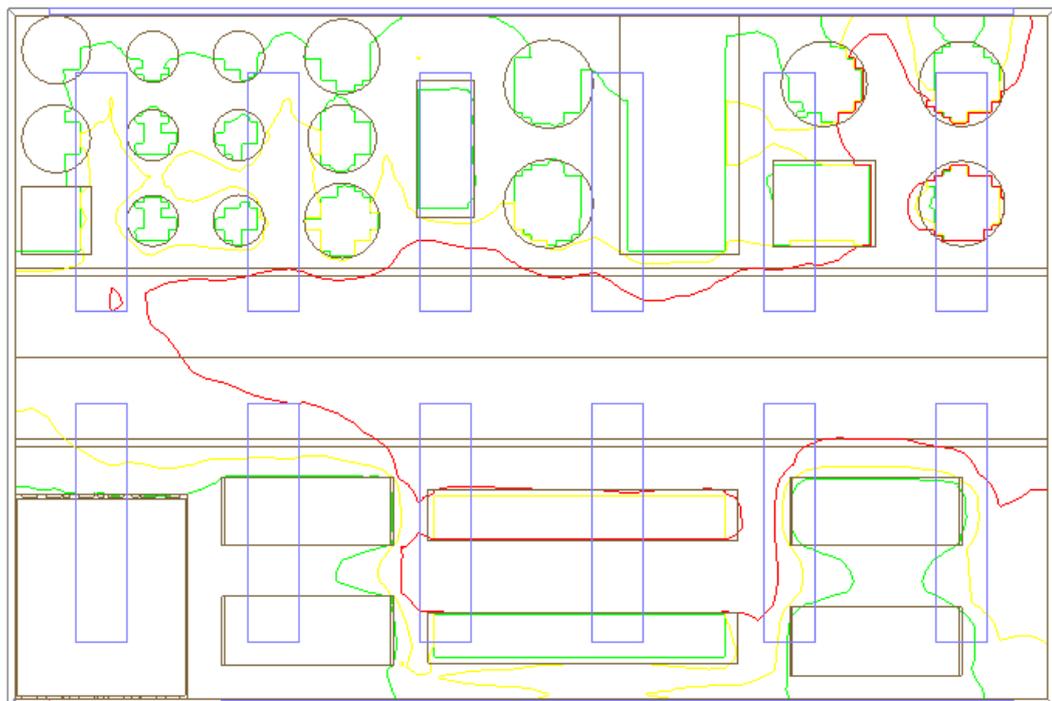


Imagen 42. Isolíneas del plano útil. Propuesta 4. 23 de junio 14:00 horas.

| Isolíneas del plano útil | | |
|--------------------------|----------|---------------------------------------|
| 1. Valor | 300.0 lx | █ |
| 2. Valor | 450.0 lx | █ |
| 3. Valor | 600.0 lx | █ |

Imagen 43. Valor de las isolíneas del plano útil.

Simulación 20 diciembre a las 9:00 horas.

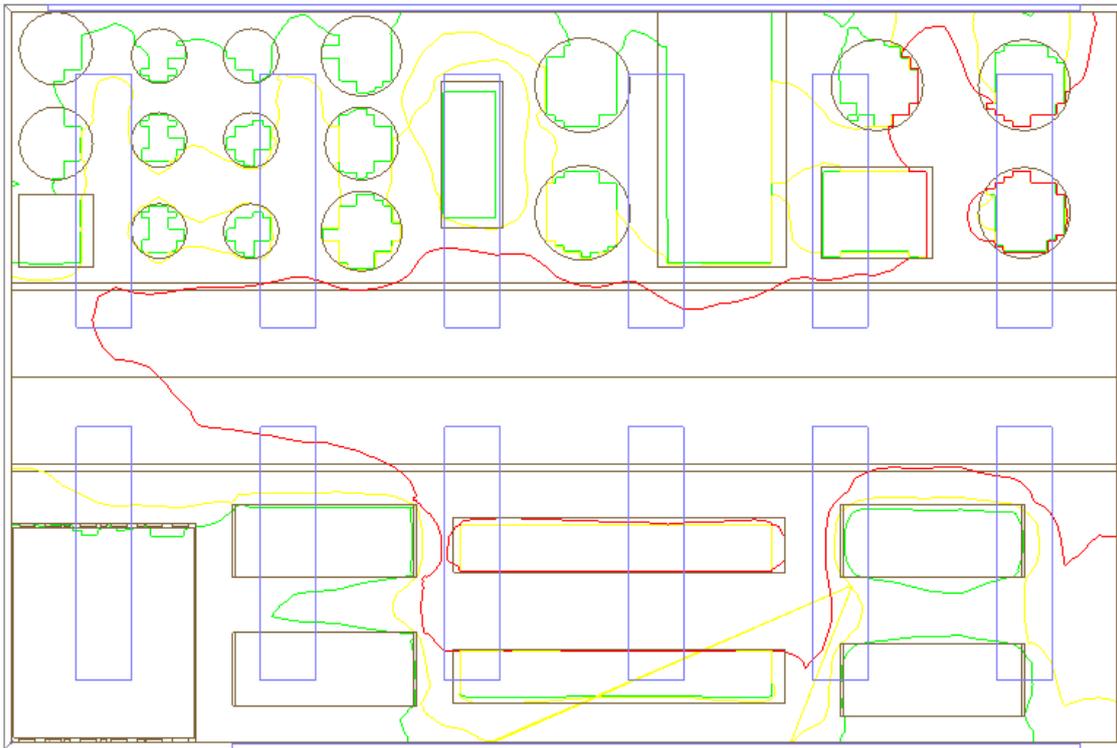


Imagen 44. Isolíneas del plano útil. Propuesta 4. 20 de diciembre 14:00 horas.

| Isolíneas del plano útil | | |
|--------------------------|---------|--|
| 1. Valor | 30.0 lx | |
| 2. Valor | 50.0 lx | |
| 3. Valor | 70.0 lx | |

Imagen 45. Valor de las isolíneas del plano útil.

8.3.2. ANALISIS DE RESULTADOS DE LA PROPUESTA 4

| PROPUESTA 4 | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|--|------------------|----------------------------|
| 23/06 14:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | Em DIALux | Em sector | Em global | E _{min} /E _m | E _{min} /E _m a cumplir | E _{max} | E _{max} permitida |
| 1 | 512,86 | 100 | 232,5 | 0,44 | 0,30 | 1104 | 2000 |
| 2 | 555,84 | 200 | | 0,67 | | | |
| 3 | 760,00 | 1000 | | 0,90 | | | |
| 4 | 688,20 | 100 | | 0,57 | | | |
| 6 | 481,94 | 300 | | 0,57 | | | |
| 20/12 9:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | Em DIALux | Em sector | Em global | E _{min} /E _m | E _{min} /E _m a cumplir | E _{max} | E _{max} permitida |
| 2 | 71,42 | 100 | 232,5 | 0,38 | 0,30 | 134 | 2000 |
| 3 | 68,00 | 200 | | 0,71 | | | |
| 4 | 91,71 | 1000 | | 0,88 | | | |
| 5 | 82,95 | 100 | | 0,52 | | | |
| 6 | 56,37 | 300 | | 0,53 | | | |
| 20/12 11:00 hrs | | | | | | | |
| Sectores | Em DIALux | Em sector | Em global | E _{min} /E _m | E _{min} /E _m a cumplir | E _{max} | E _{max} permitida |
| 2 | 217,78 | 100 | 232,5 | 0,39 | 0,30 | 64 | 2000 |
| 3 | 216,75 | 200 | | 0,71 | | | |
| 4 | 293,14 | 1000 | | 0,88 | | | |
| 5 | 260,13 | 100 | | 0,58 | | | |
| 6 | 179,74 | 300 | | 0,52 | | | |

Tabla 19. Resultados de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Propuesta 3.

Observando los resultados, se pueden extraer una serie de conclusiones:

- Globalmente, la propuesta 4 mejora los valores de iluminación media interior en cada una de las zonas en comparación con las otras alternativas.
- En la simulación del día más oscuro del año, 20/12 a las 9:00 am, se siguen sin alcanzar los valores requeridos por la norma, pero se tienen resultados próximos a los de la norma.
- En la simulación del día con más iluminación del año, 23/06 a las 14:00 pm, se sigue sin alcanzar los 1000 luxes requeridos en el sector tres, pero ha aumentado la iluminación en 200 luxes en este sector con respecto a la alternativa que había obtenido un valor más elevado en dicha zona, la propuesta 1.
- Se ha realizado una simulación del día más oscuro del año, pero a las 11:00 am. Como se puede observar, la iluminación media interior, ya posee un valor de 233,51 luxes, siendo 232,5 luxes la iluminación interior media de la nave requerida por la normativa europea. En conclusión, se ha mejorado lo máximo posible el sistema de iluminación natural, intentando limitar el uso de iluminación artificial en la mayoría de lo posible. No obstante, es inevitable hacer uso de dicha iluminación artificial, tanto para días muy oscuros, nublados, lluviosos, horario nocturno, etc.

| | | Em | Emin/Em |
|-------------|-----------------|--------|---------|
| Propuesta 1 | 23-jun 14:00 pm | 454,58 | 0,52 |
| | 20-dic 9:00 am | 54,09 | 0,64 |
| Propuesta 4 | 23-jun 14:00 pm | 599,77 | 0,51 |
| | 20-dic 9:00 am | 74,09 | 0,60 |
| | 20-dic 11:00 am | 233,51 | 0,59 |

Tabla 20. Resultados globales de iluminación media y uniformidad

En esta tabla se puede observar el aumento de iluminación natural que se ha producido en la nave industrial como consecuencia de las mejoras implementadas en el sistema de iluminación. Por ejemplo, se ha producido un aumento de 140 luxes para el caso de la fecha 23/06 a las 14:00 pm. También ha aumentado la iluminación en la fecha del 20/12 9:00 am, como se ha comentado en las conclusiones anteriores. Por último, se han mantenido los valores de uniformidad con respecto a la propuesta 1, con lo que la distribución de la luz natural de la nave industrial será óptima.

9. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

A continuación, se va a describir la instalación de luminarias artificiales que posee la nave industrial. Este es el punto de partida del presente trabajo, como se ha comentado en la introducción, la fábrica parte del punto de que se encuentra únicamente iluminada por estas luminarias, sin poseer aperturas para la luz natural.

Se parte de un sistema de 20 luminarias artificiales tipo LED GentleSpace de 292 W de potencia cada una. Así pues, se tiene el punto de partida, la nave industrial se encuentra únicamente iluminada por estas luminarias, seguidamente, se va a realizar un balance económico (cálculo de la factura eléctrica para diversos escenarios) y posteriormente averiguar el ahorro que supone la instalación de un sistema de luz natural.

Se va a generar un presupuesto en el que se va a calcular el coste de la instalación del sistema de iluminación natural, su mantenimiento y el coste de renovar las luminarias artificiales en función de su vida útil. Sin embargo, no se va a realizar un presupuesto de la instalación de las luminarias, puesto que se parte de que estas se encuentran ya instaladas.

9.1. Eficiencia energética.

Tal y como se había comentado en el apartado 6.4, el Código Técnico de Edificación (CTE) especifica una forma (no de obligado cumplimiento), un procedimiento para averiguar si el sistema de iluminación natural es energéticamente eficiente.

Para el estudio de este hecho, se plantearán diversos escenarios en los que existe un uso paralelo de iluminación natural y artificial. Haciendo uso de la gráfica iluminación exterior-latitud que se muestra a continuación, se puede averiguar el % de aprovechamiento de luz natural en la planta industrial. En este caso, la fábrica está ubicada en Alicante, Xixona, 38 grados latitud norte, donde la iluminancia solar puede llegar a los 9500 luxes. Por lo tanto, el % aprovechamiento de la luz natural se encuentra entre el 85-90 %.

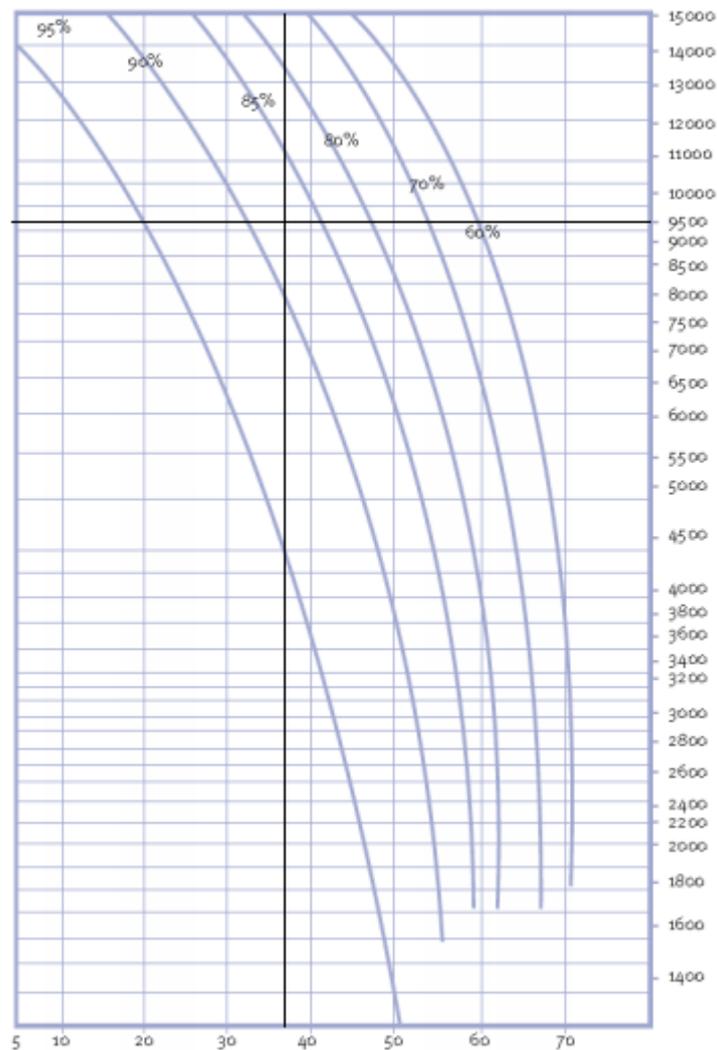


Imagen 46. % de aprovechamiento de luz natural en función de la latitud e iluminancia.

Así pues, se van a describir tres casos:

- 100% uso de iluminación artificial.
- 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural.
- 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural.

Se plantea el tercer caso puesto que no se va a tener una situación tan óptima que permita usar únicamente un 10% de uso de artificial, ese es el caso ideal, donde se tienen que dar las condiciones climatológicas idóneas.

CASO 1: 100% iluminación artificial

La eficiencia de una zona se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * Em}$$

Siendo:

- P: Potencia de las luminarias (W). Es el uso de las luminarias por el número de ellas.
- S: Superficie de la zona a iluminar (m²)
- Em: Iluminación media interior requerida (luxes)

Como se ha comentado en el apartado X, el valor de la eficiencia energética debe ser ≤ 5 para considerar que no se está malgastando energía, es decir, para considerar que es energéticamente eficiente.

CASO 1: 100% iluminación artificial.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * Em} = \frac{20 * 292 * 100}{532,5 * 232,5} = 4.71((W/m^2)/100lux)$$

CASO 2: 10% iluminación artificial, 90% iluminación natural.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * Em} = \frac{0.1 * 20 * 267 * 100}{532,5 * 232,5} = 0.47((W/m^2)/100lux)$$

CASO 3: 30% iluminación artificial, 70% iluminación natural.

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * Em} = \frac{0.3 * 20 * 267 * 100}{532,5 * 232,5} = 1.41 ((W/m^2)/100lux)$$

Como se ha observado en el cálculo de la eficiencia energética, este valor es menor cuando se hace menos uso de iluminación artificial, lo mismo ocurre en el caso contrario. Así pues, el valor que siempre se desea obtener, aunque resulte imposible es que $VEEI = 0 ((W/m^2)/100lux)$. No obstante, lo que se ha de intentar es que sea lo mínimo posible.

10. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico va a consistir, por una parte, en realizar la factura eléctrica anual de la fábrica para los tres casos descritos anteriormente:

- Caso 1: 100% uso de iluminación artificial.
- Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural.
- Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural.

Así pues, se va a calcular el consumo eléctrico anual para cada uno de los tres casos. A continuación, se calculará el ahorro que se produce entre el caso 2-caso 1 y caso 3-caso 1 al hacer menos uso de iluminación artificial. Posteriormente, otra parte del análisis económico consta de calcular el mantenimiento de las luminarias y su renovación, cuyos costes se deberán tener en cuenta a la hora de calcular la rentabilidad del proyecto.

10.1. Cálculo de la factura eléctrica

Para el cálculo de la factura de la luz, se consideran dos términos importantes: término de potencia y término de energía. El término de potencia hace referencia a la potencia total contratada, la cual es independiente del consumo mensual que se esté realizando. Por otra parte, el término de energía hace referencia al consumo real. Para que sea entendible, se puede tener contratada una potencia de 55 kW, gasto fijo, que es el término de potencia independiente de lo que se esté consumiendo realmente (es el precio por tener contratada una tarifa). Luego, el consumo, término de energía, se expresa en kWh, durante cuantas horas se consumen x kW.

En este proyecto no se va a calcular el término de potencia, porque, para ello, se ha de conocer el gasto eléctrico total de la fábrica. Se ha de conocer todo el consumo de las máquinas, bombas, tomas de corriente trifásica, etc. Como no ha sido posible obtener estos datos para el estudio académico que se está realizando, este término no se va a calcular. Se podría hacer una estimación, comparando con alguna fábrica de cerveza que tenga características similares, no obstante, ese no es el objeto de estudio, ya que el término de potencia es un valor fijo que no va a intervenir en el cálculo del ahorro energético.

En cuanto al cálculo del término de energía, antes se necesita conocer qué tarifa se tiene contratada para conocer los €/kWh, para ello, hay que saber aproximadamente qué potencia se va a consumir. En los planos de la parcela de L'Espartal III, se tienen únicamente tomas de media y alta tensión. También, observando las potencias totales en algunos proyectos centrados en la fabricación de cerveza, se observa que el consumo es medio-alto, el correspondiente a una PYME de las características de este trabajo.

Con todo ello, se ha concluido que una tarifa adecuada puede ser la 3.1 de media-alta tensión para PYMES de potencia eléctrica hasta 450 kW, en concreto, se ha elegido la tarifa óptima de Endesa. Se hizo una búsqueda de empresas suministradoras de electricidad por la zona de Xixona (Alicante) y Endesa era de las más presentes junto con Iberdrola.

| | Termino fijo €/kW día | Termino fijo €/kW año | Termino de energía €/kWh |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Tarifa eléctrica 3.1 | 0,1621 | 59,1665 | 0,1003 |
| | 0,0999 | 36,4635 | 0,0942 |
| | 0,0229 | 8,3585 | 0,0712 |

Tabla 21. Tarifa 3.1 M.T-A.T óptima de Endesa.

Para la siguiente tarifa, se tienen tres periodos de consumo: punta, llano y valle, cuyos horarios se describen en la siguiente tabla.

| Invierno (noviembre-marzo) | | | Verano (abril-octubre) | | |
|----------------------------|----------------------|---------|------------------------|----------------------|---------|
| Punta | Llano | Valle | Punta | Llano | Valle |
| 18-22 hrs | 8-18 hrs & 22-24 hrs | 0-8 hrs | 11h-15h | 8-11 hrs & 15-24 hrs | 0-8 hrs |

Tabla 22. Horarios tarifa 3.1 M.T-A.T óptima de Endesa.

Una vez se conoce los precios y los horarios de los tres periodos de consumo, hay que establecer los hipotéticos horarios de trabajo que va a haber en la fábrica. Así pues, se ha construido la siguiente tabla de horas a trabajar para cada mes, considerando las festividades nacionales y otros días vacacionales y que el horario de trabajo es de 6 am hasta 7 pm.

| Meses | Total de días | Cada día (hrs) | | |
|------------|---------------|----------------|-------|-------|
| | | Valle | Llano | Punta |
| Enero | 24 | 2 | 10 | 1 |
| Febrero | 25 | 2 | 10 | 1 |
| Marzo | 25 | 2 | 10 | 1 |
| Abril | 24 | 2 | 7 | 4 |
| Mayo | 24 | 2 | 7 | 4 |
| Junio | 25 | 2 | 7 | 4 |
| Julio | 27 | 2 | 7 | 4 |
| Agosto | 25 | 2 | 7 | 4 |
| Septiembre | 26 | 2 | 7 | 4 |
| Octubre | 25 | 2 | 7 | 4 |
| Noviembre | 25 | 2 | 10 | 1 |
| Diciembre | 24 | 2 | 10 | 1 |
| Total días | 299 | | | |

Tabla 23. Horarios de trabajo en la nave industrial.

Así pues, una vez conocidos los precios de la electricidad contratada, el número de horas que se va a trabajar en cada periodo de consumo y el número de días que se va a trabajar cada mes, se procede a calcular la factura eléctrica para los tres casos planteados.

El cálculo del coste eléctrico, como se ha mencionado anteriormente, únicamente considerará el término de energía, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$T.E = \sum P_c * C_l * H_c * N_d$$

Ecuación nº5.

- P_c = Precio de cada consumo (€/kWh)
- C_l = Consumo de las luminarias (kW)
- H_c = Horas trabajadas en cada periodo de consumo (horas)
- N_d = Número de días trabajados al mes (días)

El sumatorio describe que se debe repetir para los tres periodos de consumo: valle, llano y punta.

10.1.1. Caso 1: 100% uso de iluminación artificial.

En primer lugar, se hace un uso total del sistema de iluminación artificial, 20 luminarias.

| | |
|------|--------------|
| 20 | Luminarias |
| 292 | Potencia (W) |
| 5840 | W totales |
| 5,84 | kW totales |

Tabla 24. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 1.

En este caso, al ser 100% uso de iluminación artificial, se va a hacer uso de las 20 luminarias disponibles en la nave industrial.

Aplicando la ecuación nº 5, se calcula el término de energía.

| Meses | Término de energía (€) |
|------------|------------------------|
| Enero | 166,05 |
| Febrero | 172,97 |
| Marzo | 172,97 |
| Abril | 168,61 |
| Mayo | 168,61 |
| Junio | 175,64 |
| Julio | 189,69 |
| Agosto | 175,64 |
| Septiembre | 182,66 |
| Octubre | 175,64 |
| Noviembre | 172,97 |
| Diciembre | 166,05 |

Tabla 26. Cálculo del término de energía para el Caso 1.

A continuación, se debe calcular el impuesto que existe sobre la electricidad, que es uno de los impuestos especiales fijados por el Gobierno de España, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Impuesto eléctrico} = (TP + TE) * 1.05113 * 4,864\%$$

Ecuación nº6.

- TP = Término de potencia.
- TE = Término de energía.

Aplicando la ecuación nº 6, se calcula el impuesto eléctrico.

Como el término de potencia no se va a calcular, no se considera.

| Meses | Término de energía (€) | Impuesto eléctrico (€) | Te+Ie (€) |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|
| Enero | 166,05 | 8,49 | 174,54 |
| Febrero | 172,97 | 8,84 | 181,81 |
| Marzo | 172,97 | 8,84 | 181,81 |
| Abril | 168,61 | 8,62 | 177,23 |
| Mayo | 168,61 | 8,62 | 177,23 |
| Junio | 175,64 | 8,98 | 184,62 |
| Julio | 189,69 | 9,70 | 199,39 |
| Agosto | 175,64 | 8,98 | 184,62 |
| Septiembre | 182,66 | 9,34 | 192,00 |
| Octubre | 175,64 | 8,98 | 184,62 |
| Noviembre | 172,97 | 8,84 | 181,81 |
| Diciembre | 166,05 | 8,49 | 174,54 |
| | | TOTAL (€) | 2194,21 |

Tabla 27. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 1.

Para obtener la factura eléctrica, únicamente falta añadir al cálculo total el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), el cual es un 21% sobre dicho total.

| | |
|------------------|------------------|
| TOTAL | 2194,21 € |
| IVA (21%) | 460,78 € |
| TOTAL+IVA | 2655,00 € |

Tabla 28. Total factura eléctrica + IVA. Caso 1.

10.1.2. Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural.

| | |
|-------|--------------|
| 20 | Luminarias |
| 2 | 10% uso |
| 292 | Potencia (W) |
| 584 | W totales |
| 0,584 | kW totales |

Tabla 29. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 2.

En este caso, solo se va a hacer uso de un 10% del total de las luminarias, lo que significa que solamente funcionarán dos de ellas para este caso de estudio.

Aplicando la ecuación nº 5, se calcula el término de energía.

| Meses | Termino de energía (€) |
|------------|------------------------|
| Enero | 16,60 |
| Febrero | 17,30 |
| Marzo | 17,30 |
| Abril | 16,86 |
| Mayo | 16,86 |
| Junio | 17,56 |
| Julio | 18,97 |
| Agosto | 17,56 |
| Septiembre | 18,27 |
| Octubre | 17,56 |
| Noviembre | 17,30 |
| Diciembre | 16,60 |

Tabla 30. Cálculo del término de energía para el Caso 2.

A continuación, el cálculo del impuesto eléctrico, haciendo uso de la ecuación nº6.

| Meses | Termino de energía (€) | Impuesto eléctrico (€) | Te+Ie (€) |
|------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Enero | 16,60 | 0,85 | 17,45 |
| Febrero | 17,30 | 0,88 | 18,18 |
| Marzo | 17,30 | 0,88 | 18,18 |
| Abril | 16,86 | 0,86 | 17,72 |
| Mayo | 16,86 | 0,86 | 17,72 |
| Junio | 17,56 | 0,90 | 18,46 |
| Julio | 18,97 | 0,97 | 19,94 |
| Agosto | 17,56 | 0,90 | 18,46 |
| Septiembre | 18,27 | 0,93 | 19,20 |
| Octubre | 17,56 | 0,90 | 18,46 |
| Noviembre | 17,30 | 0,88 | 18,18 |
| Diciembre | 16,60 | 0,85 | 17,45 |
| TOTAL (€) | | | 219,42 |

Tabla 31. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 2.

Para obtener la factura eléctrica, únicamente falta añadir al cálculo total el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), el cual es un 21% sobre dicho total.

| | |
|------------------|-----------------|
| TOTAL | 219,42 € |
| IVA | 46,08 € |
| TOTAL+IVA | 265,50 € |

Tabla 32. Total factura eléctrica + IVA. Caso 2.

10.1.3. Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural.

| | |
|-------|--------------|
| 20 | luminarias |
| 6 | 30% uso |
| 292 | Potencia (W) |
| 1752 | W totales |
| 1,752 | kW totales |

Tabla 33. Número y consumo de las luminarias artificiales. Caso 3.

En este caso, solo se va a hacer uso de un 30% del total de las luminarias, lo que significa que solamente funcionarán seis de ellas para este caso de estudio.

Aplicando la ecuación nº 5, se calcula el término de energía.

| Meses | Término de energía (€) |
|------------|------------------------|
| Enero | 49,81 |
| Febrero | 51,89 |
| Marzo | 51,89 |
| Abril | 50,58 |
| Mayo | 50,58 |
| Junio | 52,69 |
| Julio | 56,91 |
| Agosto | 52,69 |
| Septiembre | 54,80 |
| Octubre | 52,69 |
| Noviembre | 51,89 |
| Diciembre | 49,81 |

Tabla 34. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 3.

A continuación, el cálculo del impuesto eléctrico, haciendo uso de la ecuación nº6.

| Meses | Término de energía (€) | Impuesto eléctrico (€) | Te+Ie (€) |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|
| Enero | 49,81 | 2,55 | 52,36 |
| Febrero | 51,89 | 2,65 | 54,54 |
| Marzo | 51,89 | 2,65 | 54,54 |
| Abril | 50,58 | 2,59 | 53,17 |
| Mayo | 50,58 | 2,59 | 53,17 |
| Junio | 52,69 | 2,69 | 55,39 |
| Julio | 56,91 | 2,91 | 59,82 |
| Agosto | 52,69 | 2,69 | 55,39 |
| Septiembre | 54,80 | 2,80 | 57,60 |
| Octubre | 52,69 | 2,69 | 55,39 |
| Noviembre | 51,89 | 2,65 | 54,54 |
| Diciembre | 49,81 | 2,55 | 52,36 |
| | | TOTAL (€) | 658,26 |

Tabla 35. Término de energía e impuesto eléctrico para el Caso 3.

Para obtener la factura eléctrica, únicamente falta añadir al cálculo total el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), el cual es un 21% sobre dicho total.

| | |
|------------------|-----------------|
| TOTAL | 658,26 € |
| IVA | 138,24 € |
| TOTAL+IVA | 796,50 € |

Tabla 36. Total factura eléctrica + IVA. Caso 3.

10.2. Resumen de los gastos anuales.

| | 100% iluminación artificial | 10% iluminación artificial | 30% iluminación artificial |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Termino de energía | 2.087,49 € | 208,75 € | 626,25 € |
| Impuesto eléctrico | 106,73 € | 10,67 € | 32,02 € |
| TE + IE (TOTAL) | 2.194,21 € | 219,42 € | 658,26 € |
| IVA | 460,78 € | 46,08 € | 138,24 € |
| TOTAL+IVA | 2.655,00 € | 265,50 € | 796,50 € |

Tabla 37. Gastos eléctricos totales para cada uno de los tres casos descritos.

Una vez calculados los gastos eléctricos totales, los gastos procedentes de la factura eléctrica, se han de incluir los gastos calculados en el apartado de presupuestos del mantenimiento de los lucernarios y renovación de las luminarias.

10.2.1. Caso 1: 100% uso de iluminación artificial.

| Caso 1 | |
|-----------------------------|-------------------|
| Gasto eléctrico total | 2.655,00 € |
| Gasto renovación luminarias | 2.045,64 € |
| GASTO ANUAL TOTAL | 4.700,64 € |

Tabla 38. Gasto anual total. Caso 1.

10.2.2. Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural.

| Caso 2 | |
|---------------------------------|-----------------|
| Gasto eléctrico total | 265,50 € |
| Gasto renovación luminarias | 204,56 € |
| Gasto mantenimiento lucernarios | 78,05 € |
| GASTO ANUAL TOTAL | 548,11 € |

Tabla 39. Gasto anual total. Caso 2.

10.2.3. Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural.

| 11. Caso 3 | |
|---------------------------------|-------------------|
| Gasto eléctrico total | 796,50 € |
| Gasto renovación luminarias | 613,69 € |
| Gasto mantenimiento lucernarios | 78,05 € |
| GASTO ANUAL TOTAL | 1.488,24 € |

Tabla 40. Gasto anual total. Caso 3.

10.3. Ahorro calculado.

10.3.1. Ahorro gasto factura eléctrica.

| | Coste | Ahorro |
|---------------------------------|------------|------------|
| Gasto eléctrico 100% artificial | 2.655,00 € | - |
| Gasto eléctrico 10% artificial | 265,50 € | 2.389,50 € |
| Gasto eléctrico 30% artificial | 796,50 € | 1.858,50 € |

Tabla 42. Ahorro en la factura eléctrica ente los tres casos.

10.3.2. Ahorro en la renovación de las luminarias.

| | Coste | Ahorro |
|-----------------------------|------------|------------|
| Coste anual 100% artificial | 2.045,64 € | - |
| Coste anual 10% artificial | 204,56 € | 1.841,08 € |
| Coste anual 30% artificial | 613,69 € | 1.431,95 € |

Tabla 43. Ahorro en la gasto de renovación de las luminarias entre los tres casos.

10.3.3. Ahorro TOTAL.

| | Coste | Ahorro |
|-----------------------------|------------|------------|
| Gasto TOTAL 100% artificial | 4.700,64 € | - |
| Gasto TOTAL 10% artificial | 548,11 € | 4.152,53 € |
| Gasto TOTAL 30% artificial | 1.488,24 € | 3.212,40 € |

Tabla 44. Ahorro total entre los tres casos.

Aquí se puede observar el ahorro que supone la instalación del sistema de iluminación natural entre los tres casos. Se debe tener en cuenta que dependiendo de la estación del año y del clima se hará un uso u otro de iluminación artificial. No obstante, en la ubicación donde está ubicada la fábrica (Alicante) el aprovechamiento de la luz natural es importante, puesto que durante el año se tienen un gran número de horas de luz natural.

Para poder realizar una valoración de la rentabilidad del proyecto, se va a proceder al cálculo del Valor Neto Anual (VAN), con el cual se van a obtener unas conclusiones fiables sobre la rentabilidad del proyecto.

10.4. Cálculo de la rentabilidad del proyecto

Para conocer si merece la pena la realización de este proyecto, es decir, la instalación de un sistema de iluminación natural, y así la fábrica posea un sistema de iluminación mixta, reduciendo el consumo de electricidad, se va a realizar el cálculo del Valor Anual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).

Dicho parámetro se puede calcular mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j}$$

Ecuación nº 7.

Donde:

- VAN: es el Valor Anual Neto.
- FC_j: es el Flujo de Caja para el año j.
- i: es la TIN (Tipo de Interés Nominal) o el IPC (Índice de Precios de Consumo).
- I₀: es la inversión para el año 0 (cuando la inversión se va a realizar previamente al comienzo del proyecto).
- j: es igual al año en curso.

El VAN es el valor actualizado de todos los flujos de caja que se esperan, es decir, es la diferencia entre el valor actualizado de todos los cobros menos el valor actualizado de los pagos.

Si el VAN > 0 indica que la inversión en el proyecto va a producir unos excedentes superiores precisamente en la cuantía del VAN, dichos excedentes podrían obtenerse invirtiendo la misma cantidad de dinero que se ha obtenido como excedente a un interés i.

Por otro lado, en cuanto a la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), es el valor de la Tasa de Interés (i) que anula el VAN, es decir, VAN = 0.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+\lambda)^j}$$

Ecuación nº 8.

Donde:

- $\lambda = \text{TIR}$.

| | Flujo de Caja | inversión Inicial |
|------------------------|---------------|-------------------|
| Caso 2. 10% artificial | 4.152,53 € | 29.961,37 € |
| Caso 3. 30% artificial | 3.212,40 € | 29.961,37 € |

Tabla 45. Flujos de Caja e inversiones para los casos 2 y 3.

| | VAN (i=0,02) | VAN (i=0,04) | VAN (i=0,06) | VAN (i=0,08) | VAN (i=0,1) |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Caso 2. 10% artificial | 51.110,32 € | 34.909,75 € | 23.121,87 € | 14.365,93 € | 7.731,29 € |
| Caso 3. 30% artificial | 32.755,77 € | 20.222,99 € | 11.103,88 € | 4.330,28 € | -802,29 € |

Tabla 46. Cálculo del VAN para los casos 2 y 3.

| | FC | TIR |
|------------------------|------------|-------|
| Caso 2. 10% artificial | 4.152,53 € | 13,2% |
| Caso 3. 30% artificial | 3.212,40 € | 9,7% |

Tabla 47. Cálculo del TIR para los casos 2 y 3.

Como se puede observar en ambas tablas anteriores, todos los Valores Actuales Netos poseen valores positivos, a excepción del Caso 3 con TIN=0,1. Por lo tanto, se considera, desde el punto de vista del VAN, que se trata de un proyecto rentable, puesto que se posee excedente en ambos casos. A la vista de los datos se observa que el Caso 2 es más rentable que el Caso 3, esto es una obviedad, puesto que en el Caso 2 se hace menor uso de las luminarias, con lo que el gasto es menor en electricidad, al gastar menos se ahorra más. Por otra parte, el Caso 3, como se ha dicho anteriormente, es rentable, pero en menor medida, ya que se hace uso de más electricidad.

Para acabar, observando los valores de la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), se obtienen unos valores de 0,132 para el Caso 2 y 0,097 para el Caso 3. Se trata de unos valores bastante elevados, por lo que se deduce que el proyecto es rentable y la inversión en él, adecuada.

11.CONCLUSIONES

- De las tres propuestas para el diseño del sistema de iluminación natural, se ha obtenido una que posee unos valores adecuados a los que se estaba buscando, cumpliendo en todos los casos excepto en uno con los requisitos de iluminación extraídos de la normativa europea vigente UNE 12464.1.
- El sistema definitivo posee tanto ventanales en las dos caras de la fábrica (este y oeste) como lucernarios cenitales en cubierta. Por lo tanto, se pueden producir deslumbramientos con lo que se concluye que se deberían instalar paneles en aquellos puestos de trabajos que sean susceptibles de recibir dichos deslumbramientos y deben ser orientados en la dirección opuesta al ventanal o lucernario que provoque el deslumbramiento.
- Para esta propuesta se cumplen todos los parámetros que se debían de estudiar para asegurar que el diseño del sistema de iluminación natural es correcto, iluminación media (excepto en el envasado), uniformidad, iluminación máxima y deslumbramiento (el cual se ha solucionado).
- Se considera que, con la instalación de la propuesta definitiva, se está realizando un correcto aprovechamiento de la luz natural exterior, muy difícilmente mejorable en cuanto aspectos económicos se refiere.
- El sistema de iluminación está previsto que funcione con un 10% o un 30% de iluminación artificial y se concluye que nunca será posible poseer un sistema que funcione con un 100% de iluminación natural, ya que viendo en el histórico de años siempre existen días nublados en los cuales se tendrá que hacer uso de iluminación artificial, tal como se ha comentado en el desarrollo del trabajo.
- Mediante el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) para las tres casos planteados (100% uso de iluminación artificial, 10% uso de iluminación artificial y 30% uso de iluminación artificial) se puede observar que cuanto menor uso de energía artificial de las luminarias menor VEEI se tiene. La conclusión que se obtiene de este hecho es la siguiente: se ha conseguido que la fábrica posea una mayor eficiencia energética mediante la instalación del sistema de iluminación natural, lo que supone un ahorro energético.
- En cuanto a la viabilidad económica del proyecto, se observa que, para los dos casos de iluminación mixta, se tienen tanto $VAN > 0$ (excepto para el caso 30% con $TIN=0,1$) como TIR elevados (13,2% y 9,7% respectivamente). Con todo ello se concluye que el proyecto es económicamente viable con lo que se debería de realizar por todos los beneficios que supone.

12. BIBLIOGRAFÍA

- https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111383/Memoria_Vol_I.pdf
- Poliformat. Apuntes Construcción y arquitectura industrial.
- Poliformat. Apuntes Proyectos Ingeniería Química.
- Poliformat. Apuntes Procesos Industriales Ingeniería Química.
- <https://comparadorluz.com/pymes/tarifas>
- http://www.tarifa-electrica.es/bt_tres.php
- www.cerveceros.org
- Código Técnico de la Edificación (CTE)
- Base de Datos de Precios 2020 Instituto Valenciano de la Edificación.
- UNE 12464.1. Normativa Europea sobre Iluminación para Interiores.

ANEXO 1: PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

En primer lugar, se procede a calcular el importe resultante de la instalación de los lucernarios y ventanales en la nave industrial. En segundo lugar, el importe proveniente del mantenimiento que requieren dichos lucernarios. En tercer lugar, el coste de la renovación de las luminarias.

La propuesta definitiva del sistema de iluminación natural contiene los siguientes elementos a instalar:

- 12 ventanales de dimensiones 7x1,5 metros.
- 1 ventanal de dimensiones 28x1,5 metros.
- 1 ventanal de dimensiones 23x1,5 metros.

10.3. Presupuesto asociado al coste de instalación de los lucernarios.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL | |
|-------|-----------------|---|-------------|-----------------|----------|---------|--|
| 01.01 | m ² | Realización del hueco para el lucernario | | | | | |
| | hr | Oficial 1ª metal | 0,2 | 16,58 € | 3,32 € | | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 4,43 € | 0,09 € | | |
| | | | | | | 4,52 € | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.02 | m ² | Colocación carpintería metálica | | | | | |
| | ud | Premarco de aluminio | 1 | 8,37 € | 8,37 € | | |
| | hr | Oficial 1ª metal | 0,2 | 16,58 € | 3,32 € | | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | | |
| % | Costes directos | 0,02 | 12,80 € | 0,26 € | | | |
| | | | | | | 13,06 € | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.03 | m ² | Instalación de paneles de policarbonato | | | | | |
| | m ² | Placa policarbonato celular opal 8 mm | 1,05 | 60,00 € | 63,00 € | | |
| | hr | Oficial 1ª vidrio | 0,95 | 15,16 € | 14,40 € | | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | | |
| % | Costes directos | 0,02 | 58,46 € | 1,17 € | | | |
| | | | | | | 80,09 € | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.04 | m ² | Soldado de los paneles | | | | | |
| | hr | Oficial 1ª metal | 0,15 | 16,58 € | 2,49 € | | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,00625 | 133,90 € | 0,84 € | | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 3,32 € | 0,07 € | | |
| | | | | | | 3,39 € | |

Tabla 48. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL | |
|-------|----------------|---|----|-------|-------|------|----------|-------|--|
| 01.01 | m ² | Realización del hueco para el lucernario | | | | | | | |
| | m ² | Lucernarios | 12 | 1,5 | 7 | - | 126 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 28 | - | 42 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 23 | - | 34,5 | | |
| | | | | | | | | 202,5 | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.02 | m ² | Colocación carpintería metálica | | | | | | | |
| | m ² | Lucernarios | 12 | 1,5 | 7 | - | 126 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 28 | - | 42 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 23 | - | 34,5 | | |
| | | | | | | | | 202,5 | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.03 | m ² | Instalación de paneles de policarbonato | | | | | | | |
| | m ² | Lucernarios | 12 | 1,5 | 7 | - | 126 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 28 | - | 42 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 23 | - | 34,5 | | |
| | | | | | | | | 202,5 | |
| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL | |
| 01.04 | m ² | Soldado de los paneles | | | | | | | |
| | m ² | Lucernarios | 12 | 1,5 | 7 | - | 126 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 28 | - | 42 | | |
| | m ² | Ventanal | 1 | 1,5 | 23 | - | 34,5 | | |
| | | | | | | | | 202,5 | |

Tabla 49. Cuadro de mediciones de la instalación del sistema de iluminación natural.

| COD | DESCRIPCION | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|---|-------------|-------------|
| 01.01 | Realización del hueco para el lucernario | 915,40 € | |
| 01.02 | Colocación carpintería metálica | 2.644,22 € | |
| 01.03 | Instalación de paneles de policarbonato | 16.217,86 € | |
| 01.04 | Soldado de los paneles | 686,55 € | |
| | | | 20.464,02 € |

Tabla 50. Cuadro de los presupuestos parciales de la instalación del sistema de iluminación natural.

La suma de los presupuestos parciales forma el Presupuesto de Ejecución del Material (PEM), que posee un cómputo global de 20.464,02 €, como se observa en la tabla 50. A continuación, al PEM se le ha de sumar un porcentaje asignado a *Gastos Generales*, que se estima por defecto en un 15 % del PEM, que son ajenos a la ejecución de la obra. También al PEM se la ha de sumar el *Beneficio Industrial*, beneficio del contratista, estipulado en un 6% del PEM. Sumando estos dos términos al PEM se obtiene el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).

Posteriormente, al PEC se le ha de sumar el impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), el cual es un 21% del PEC para obtener el Presupuesto Base de Licitación. Así pues, se obtienen los siguientes presupuestos:

| | |
|--|--------------------|
| Gastos generales | 15% |
| Beneficio industrial | 6% |
| IVA | 21% |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL | 20.464,02 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA | 24.761,46 € |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN | 29.961,37 € |

Tabla 51. Cuadro de los presupuestos finales de la instalación del sistema de iluminación natural.

10.4. Presupuesto asociado al coste del mantenimiento de los lucernarios.

En este segundo presupuesto, se va a calcular el coste que supone mantener limpios y en buena calidad los lucernarios. Dicho mantenimiento se realiza cada 5 años, con lo que para calcular el gasto anual que supone, se ha de dividir el presupuesto final entre este número de años. En el caso de los ventanales, no se va a realizar un mantenimiento, con lo que no se van a incluir en el presupuesto.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|-----|--|-------------|-----------------|----------|--------|
| 01.01 | m2 | Mantenimiento de paneles de policarbonato | | | | |
| | hr | Oficial 1ª vidrio | 0,1 | 15,16 € | 1,52 € | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0042 | 133,90 € | 0,56 € | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 2,07 € | 0,041 € | |
| | | | | | | 2,12 € |

Tabla 52. Cuadro de precios descompuestos correspondiente al mantenimiento de los lucernarios.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|----|--|----|-------|-------|------|----------|-------|
| 01.01 | m2 | Mantenimiento de paneles de policarbonato | | | | | | |
| | m2 | Lucernarios | 12 | 1,5 | 7 | - | 126 | |
| | | | | | | | | 126 |

Tabla 53. Cuadro de mediciones correspondientes al mantenimiento de los lucernarios.

| COD | DESCRIPCION | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|---|----------|----------|
| 01.01 | Mantenimiento de paneles de policarbonato | 266,54 € | |
| | | | 266,54 € |

Tabla 54. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes al mantenimiento de los lucernarios.

De la misma manera que la descrita anteriormente, al presupuesto de Ejecución del Material (PEM), se le ha de sumar el Beneficio Industrial y los Gastos generales. Cuando se sumen dichos factores y se tenga el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se le suma el IVA para obtener el Presupuesto Base de Licitación.

| | |
|---|----------------|
| Gastos generales | 15% |
| Beneficio industrial | 6% |
| IVA | 21% |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL | 266,54 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA | 322,51 € |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN | 390,24 € |
| PRESUPUESTO TOTAL | 390,24 € |
| PRESUPUESTO TOTAL ANUAL (entre 5 años) | 78,05 € |

Tabla 55. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes al mantenimiento de los lucernarios.

1.1. Presupuesto asociado a la renovación de las luminarias.

En tercer lugar, el coste que supone el desgaste de las luminarias, es decir, cada cuanto han de ser renovadas. Para saberlo, se ha de mirar la ficha técnica para conocer el tiempo de vida útil, en este caso, este tipo de luminaria LED tiene una vida útil de 40000 horas, bastante elevada en comparación con otro tipo de luminarias.

Para conocer cada cuanto se han de renovar, se tiene que calcular el número de horas que se trabajan en la fábrica al año. Como se puede ver en la tabla 23, se trabajan un total de 299 días, 13 horas al día, lo que supone que al año se trabajen 3887 horas. Así pues, para saber cada cuantos años la luminaria ha de ser renovada:

$$\text{Vida útil} = \frac{40000}{3887} = 10,29 \text{ años}$$

Ecuación nº9. Cálculo de la vida útil.

Una vez sabida la vida útil, se ha de calcular el presupuesto para los tres casos de uso de iluminación artificial.

1.1.1. Caso 1: 100% uso de iluminación artificial.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|-----|--|-------------|-----------------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias (Caso 1) | | | | |
| | u | Luminaria | 1 | 700 | 700 € | |
| | hr | Oficial 1ª electricidad | 0,2 | 18,49 € | 3,70 € | |
| | día | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 704,81 | 14,10 € | |
| | | | | | | 719 € |

Tabla 56. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 1.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|----|------------------------------|----|-------|-------|------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias | | | | | | |
| | u | Luminarias | 20 | - | - | - | 20 | 20 |

Tabla 57. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 1.

| COD | DESCRIPCION | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|------------------------------|----------|----------|
| 01.01 | Renovación de las luminarias | 14.378 € | |
| | | | 14.378 € |

Tabla 58 Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 1.

Al presupuesto de Ejecución del Material (PEM), se le ha de sumar el Beneficio Industrial (6%) y los Gastos generales (15%). Cuando se sumen dichos factores y se tenga el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se le suma el IVA (21%) para obtener el Presupuesto Base de Licitación.

| | |
|---|----------|
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL | 14.378 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA | 17.398 € |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN | 21.051 € |
| PRESUPUESTO TOTAL | 21.051 € |
| PRESUPUESTO TOTAL ANUAL (entre 10,29 años) | 2.046 € |

Tabla 59. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 1.

1.1.2. Caso 2: 10 % uso de iluminación artificial; 90% uso de iluminación natural.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|-----|--|-------------|-----------------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias (Caso 2) | | | | |
| | u | Luminaria | 1 | 700 | 700 € | |
| | hr | Oficial 1ª electricidad | 0,2 | 18,49 € | 3,70 € | |
| | dia | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 704,81 | 14,10 € | |
| | | | | | | 719 € |

Tabla 60. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 2.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|----|------------------------------|----|-------|-------|------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias | | | | | | |
| | u | Luminarias | 2 | - | - | - | 2 | 2 |

Tabla 61. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2.

| COD | DESCRIPCION | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|------------------------------|----------|---------|
| 01.01 | Renovación de las luminarias | 1.438 € | |
| | | | 1.438 € |

Tabla 62 Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2

Al presupuesto de Ejecución del Material (PEM), se le ha de sumar el Beneficio Industrial (6%) y los Gastos generales (15%). Cuando se sumen dichos factores y se tenga el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se le suma el IVA (21%) para obtener el Presupuesto Base de Licitación.

| | |
|---|---------|
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL | 1.438 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA | 1.740 € |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN | 2.105 € |
| PRESUPUESTO TOTAL | 2.105 € |
| PRESUPUESTO TOTAL ANUAL (entre 10,29 años) | 205 € |

Tabla 63. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 2.

1.1.3.Caso 3: 30 % uso de iluminación artificial; 70% uso de iluminación natural.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | RENDIMIENTO | PRECIO UNITARIO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|-----|---------------------------------|-------------|-----------------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias | | | | |
| | u | Luminaria | 1 | 700 | 700 € | |
| | hr | Oficial 1ª electricidad | 0,2 | 18,49 € | 3,70 € | |
| | dia | Plataforma elevadora articulada | 0,0083 | 133,90 € | 1,12 € | |
| | % | Costes directos | 0,02 | 704,81 | 14,10 € | |
| | | | | | | 719 € |

Tabla 64. Cuadro de precios descompuestos correspondiente a la renovación de las luminarias. Caso 3.

| COD | UD | DESCRIPCIÓN | Nº | ANCHO | LARGO | ALTO | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|----|------------------------------|----|-------|-------|------|----------|-------|
| 01.01 | u | Renovación de las luminarias | | | | | | |
| | u | Luminarias | 6 | - | - | - | 6 | 6 |
| | | | | | | | | 6 |

Tabla 65. Cuadro de mediciones correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3.

| COD | DESCRIPCION | SUBTOTAL | TOTAL |
|-------|------------------------------|----------|---------|
| 01.01 | Renovación de las luminarias | 4.313 € | |
| | | | 4.313 € |

Tabla 66. Cuadro de los presupuestos parciales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3.

| | |
|---|---------|
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL | 4.313 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA | 5.219 € |
| PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN | 6.315 € |
| PRESUPUESTO TOTAL | 6.315 € |
| PRESUPUESTO TOTAL ANUAL (entre 10,29 años) | 614 € |

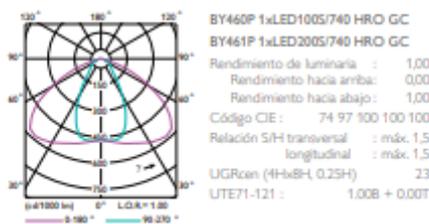
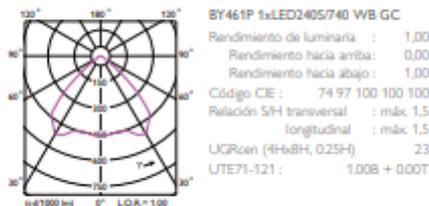
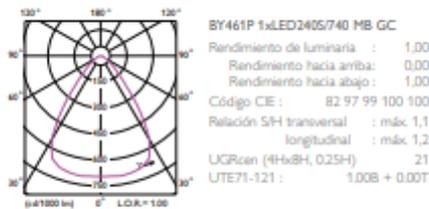
Tabla 67. Cuadro de los presupuestos finales correspondientes a la renovación de las luminarias. Caso 3.

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA

Características de producto

- Disponible en dos tamaños: cuatro y dos grupos de LEDs, respectivamente, en sustitución de las soluciones de halogenuros de 400 W y 250 W para naves a gran altura
- Gama LEDGINE de encendido instantáneo y prolongada vida útil
- Temperatura de color blanco neutro
- Diseño plano que ahorra espacio para otros sistemas, tales como rociadores, etc.
- Soportes de suspensión en "Y" capaces de sustentar hasta 45 kg para simplificar y asegurar la instalación
- Difusor de vidrio termoendurecido
- Detectores de movimiento integrados opcionales para favorecer aún más el ahorro de energía

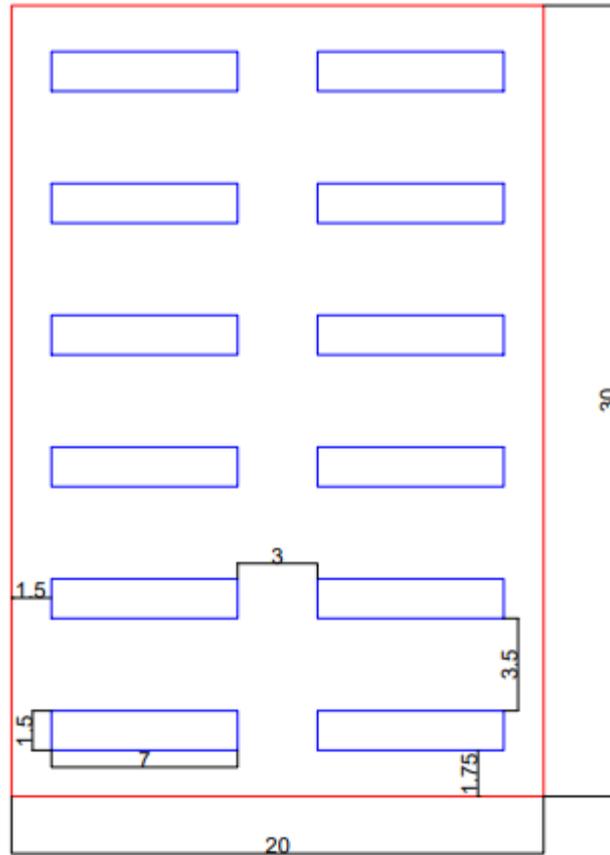
Diagramas polares de intensidad



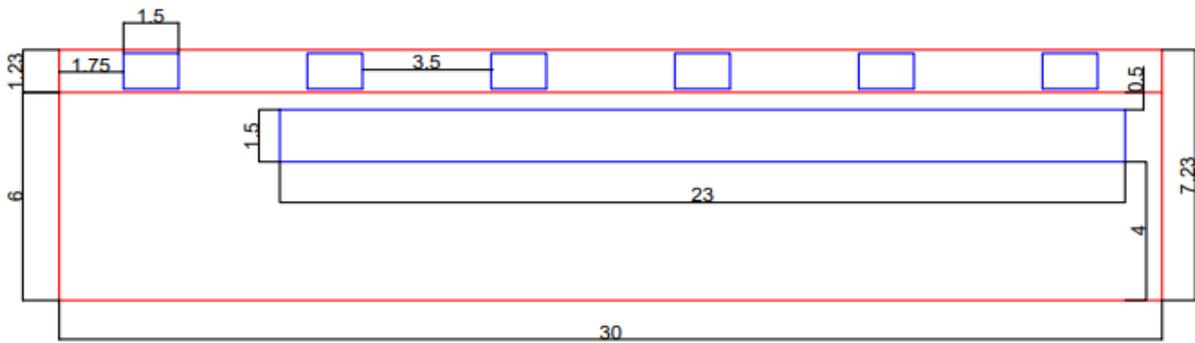
Información de producto

| | |
|----------------------|--|
| Tipo | BY460P (versión 2 módulos) BY461P (versión 4 módulos) |
| Temperatura de color | blanco neutro 4.000 K <input type="checkbox"/> |
| Potencia | 108 W, 145 W, 218 W y 292 W |
| Fuente de luz | Módulo LED integral |
| Flujo luminoso | 10.000 lm, 12.000 lm, 20.000 lm y 24.000 lm |
| Óptica | Haz medio (MB) Haz ancho (WB) Pasillo entre estanterías (haz alargado, HR) |
| Eficacia lumínica | 82 lm/W (MB) 82 lm/W (WB) 91 lm/W (HR) |
| Driver | Integrado (módulo LED con balasto propio) |
| IRC | > 75 |
| Regulación | Regulación DALI hasta el 10% del flujo luminoso máximo |
| Vida útil | L90: 40.000 horas a 25°C L70: 75.000 horas a 25°C |
| Temp. operativa | -30 °C < Ta +45 °C |
| Tensión de red | 230 ó 240V / 50-60 Hz |
| Conexión eléctrica | Conector externo estanco de 5 polos (3 + 2 DALI) |
| Materiales | Carcasa: inyección de aluminio, RAL 9006 (otros colores RAL disponibles bajo pedido) Cierre: vidrio transparente termoendurecido |
| Instalación | Sistema de suspensión en Y (incluido), o soportes opcionales |

**ANEXO 3:
PLANOS DE LAS
CRISTALERAS DE LA
PROPUESTA
DEFINITIVA**



Plano 1. Distribución de los lucernarios cenitales en cubierta. Planta.



Plano 2. Dimensiones y disposición del ventanal de la cara oeste. Vista lateral 1.



Plano 3. Dimensiones y disposición del ventanal de la cara este. Vista lateral 2.