



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

AUTOR: PEDRÓN RUIZ, ALFREDO

TUTOR: SANTAMARINA SIRUANA, MARÍA CRISTINA

Selección

Curso Académico: 2015-16



RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado se centra en el estudio de la implementación de un sistema de iluminación natural en una planta industrial dedicada a la producción de aceite de oliva, ubicada en el municipio de Ribarroja del Túria, provincia de Valencia. De esta manera, se pretende diseñar un sistema de iluminación energéticamente eficiente que presente ventajas económicas y medioambientales.

Para ello, el trabajo se ha estructurado en cuatro partes claramente diferenciadas con el objetivo de poder alcanzar de una manera clara y eficaz los resultados planteados inicialmente.

La primera parte se centrará en presentar la planta industrial que se desea optimizar, describiendo las actividades que en ella se realizan así como su distribución en planta y dimensiones reales.

Por otro lado, en la segunda parte se comentarán los principales sistemas de iluminación utilizados actualmente en la industria, además de los principales parámetros a tener en cuenta para diseñar un adecuado sistema de iluminación que permita realizar las actividades diarias en la planta de una forma adecuada y segura para los trabajadores.

La tercera parte del proyecto consistirá en el desarrollo de varias propuestas, claramente diferenciadas entre sí, con el objetivo de poder seleccionar la más adecuada para la planta objeto de este trabajo. Se analizarán un gran número de variables, que faciliten la elección final. Adicionalmente, se estimará la eficiencia energética del sistema de iluminación artificial instalado en la planta, en comparación con la utilización de sistemas de iluminación mixtos que permitan aprovechar eficientemente parte de la radiación solar que incide en la planta.

Finalmente, se propondrá un presupuesto para poder instalar el sistema de iluminación natural seleccionado, además del correspondiente análisis económico para valorar la rentabilidad del mismo.

PRÓLOGO

Con la ejecución del presente Trabajo de Final de Grado, doy por finalizada mi etapa como estudiante de Ingeniería Química, una etapa apasionante de mi vida en la cual he podido adquirir una gran cantidad de conocimientos y aptitudes que me servirán para en un futuro poder trabajar como Ingeniero Químico.

La realización de este trabajo me ha permitido obtener una visión más amplia y extensa acerca del amplio campo de la Ingeniería, al abordar algunos aspectos poco relacionados con la Ingeniería Química. De esta manera, he podido estudiar y desarrollar conceptos y metodologías que me han hecho aprender y mejorar, además de otorgarme un nuevo conocimiento específico que espero aprovechar en mi futuro como ingeniero.

Me gustaría agradecer a mi tutora M^a Cristina Santamarina por el apoyo recibido durante la realización del presente proyecto, tanto por su dedicación y amabilidad en todo momento. Y por último, agradecer y dedicar este trabajo a mi hermana, la persona más importante de mi vida y sin la cual estoy seguro que ahora mismo no estaría aquí.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
1. OBJETIVOS	8
2. ACEITE DE OLIVA	9
3. SECTOR DEL ACEITE DE OLIVA.....	11
3.1 Contexto económico español del aceite de oliva	11
4. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA.....	13
4.1 Proceso productivo	13
4.2 Distribución en planta.....	19
5. ILUMINACION.....	20
5.1 Requerimientos de la planta	21
5.1 Método de cálculo analítico.....	23
5.2 Eficiencia energética en iluminación.....	26
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	28
6.1 Introducción	28
6.2 Requerimientos lumínicos de la planta.....	28
6.3 Cálculo de la superficie de aberturas teórica.....	31
6.4 Presentación de las propuestas	32
6.5 Determinación de los niveles de iluminación en los planos de trabajo.....	36
6.6 Selección de la propuesta más adecuada	45
6.7 Desarrollo de la propuesta seleccionada	50
6.8 Iluminación artificial.....	54
6.9 Eficiencia energética del sistema de iluminación	56
7. ANÁLISIS ECONÓMICO	57
7.1 Coste instalación sistema de iluminación natural.....	57

7.2 Balance económico	58
7.2.1 Iluminación artificial.....	61
7.2.2 Iluminación mixta.....	65
7.2.3 Análisis económico.....	72
8. CONCLUSIONES	75
9. BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXO 1 - PLANOS	77
ANEXO 2 - LUMINARIAS	78
ANEXO 3 - PRESUPUESTO.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo. Fuente: NORMA UNE 12464.1	29
Tabla 2. Salas de almacenamiento y almacenes frio. Fuente: NORMA UNE 12464.1	29
Tabla 3. Zonas de tráfico. Fuente: NORMA UNE 12464.1	30
Tabla 4. Niveles de iluminación media por zonas	30
Tabla 5. Parámetros empleados para el cálculo de aperturas teóricas.	31
Tabla 6. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 1.....	40
Tabla 7. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 1	40
Tabla 8. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 2.....	42
Tabla 9. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 2	42
Tabla 10. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 3.....	44
Tabla 11. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 3	44
Tabla 12. Parámetros a cumplir por los sistemas de iluminación.....	45
Tabla 13. Resumen iluminación media por zonas propuesta 1	45
Tabla 14. Resumen deslumbramientos propuesta 1	46
Tabla 15. Resumen uniformidad iluminación propuesta 1	46
Tabla 16. Resumen iluminación media por zonas propuesta 2	47
Tabla 17. Resumen deslumbramientos propuesta 2	47
Tabla 18. Resumen uniformidad iluminación propuesta 2	48
Tabla 19. Resumen iluminación media por zonas propuesta 3	48
Tabla 20. Resumen deslumbramientos propuesta 3	49
Tabla 21. Resumen uniformidad iluminación propuesta 3	49
Tabla 22. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta desarrollada.....	54
Tabla 23. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta desarrollada	54
Tabla 24. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.....	55
Tabla 25. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.....	56

Tabla 26. Eficiencia energética del sistema mixto 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural.....	56
Tabla 27. Eficiencia energética del sistema mixto 10% iluminación artificial + 90% iluminación natural.....	57
Tabla 28. Cuadro de precios parciales	58
Tabla 29. Presupuesto final de la instalación del sistema de iluminación natural	58
Tabla 30. Potencia demandada por la planta	59
Tabla 31. Término de potencia sistema de iluminación 100% artificial.....	61
Tabla 32. Horas de cada periodo de la tarifa 3.1 A	62
Tabla 33. Término de energía sistema de iluminación 100% artificial.....	62
Tabla 34. Impuesto eléctrico sistema de iluminación 100% artificial.....	63
Tabla 35. Impuesto del IVA sistema de iluminación 100% artificial	63
Tabla 36. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 100% artificial	64
Tabla 37. Cuadro de precios parciales iluminación 100% artificial.....	64
Tabla 38. Presupuesto total mantenimiento y renovación luminarias sistema 100% artificial.	65
Tabla 39. Gasto anual sistema iluminación 100% artificial.....	65
Tabla 40. Cuadro de precios parciales mantenimiento de los lucernarios.....	65
Tabla 41. Presupuesto total por año mantenimiento lucernarios.....	66
Tabla 42. Término de potencia 40% iluminación artificial	66
Tabla 43. Término de energía 40% iluminación artificial.....	67
Tabla 44. Impuesto eléctrico 40% iluminación artificial	67
Tabla 45. Impuesto del IVA sistema 40% iluminación artificial	67
Tabla 46. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 40% artificial	68
Tabla 47. Cuadro de precios parciales iluminación 40% artificial.....	68
Tabla 48. Presupuesto mantenimiento total por año iluminación 40% artificial.	68
Tabla 49. Gasto anual iluminación 40% artificial	69
Tabla 50. Término de potencia 10% iluminación artificial.....	69

Tabla 51. Término de energía 10% iluminación artificial.....	69
Tabla 52. Impuesto eléctrico 10% iluminación artificial	70
Tabla 53. Impuesto del IVA sistema 10% iluminación artificial	70
Tabla 54. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 10% artificial	70
Tabla 55. Cuadro de precios parciales iluminación 10% artificial.....	71
Tabla 56. Presupuesto mantenimiento total por año iluminación 10% artificial.	71
Tabla 57. Gasto anual iluminación 10% artificial	71
Tabla 58. Tabla resumen de ahorro experimentado con los sistemas de iluminación propuestos	72
Tabla 59. VAN y TIR	73
Tabla 60. Periodo de retorno del capital.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la producción de aceite de oliva en España (toneladas). Fuente: Ministerio de Agricultura, gobierno de España	11
Figura 2. Evolución exportaciones e importaciones aceite de oliva. Fuente: Ministerio de Agricultura, gobierno de España	12
Figura 3. Factor de ventanas. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial).....	25
Figura 4. Factor característico de reducción ventana-muro. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)	25
Figura 5. Rendimiento del recinto. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)	26
Figura 6. Disposición aberturas propuesta 1.....	34
Figura 7. Disposición aberturas propuesta 2.....	35
Figura 8. Disposición aberturas propuesta 3.....	36
Figura 9. Zonas productivas de la planta industrial	37
Figura 10. Coeficientes de reflexión de paredes, suelos y techos	38
Figura 11. Características de las aberturas implementadas	38
Figura 12. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 10:00h del día 10 de Diciembre	39
Figura 13. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11:00h del día 10 de Diciembre	39
Figura 14. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de Junio.	40
Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 10:00h del día 10 de Diciembre	41
Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11:00h del día 10 de Diciembre	41
Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de Diciembre	42

Figura 18. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 10:00h del día 10 de Diciembre	43
Figura 19. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11:00h del día 10 de Diciembre	43
Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de Junio. 44	
Figura 21. Zonas estudiadas propuesta desarrollada	51
Figura 22. Ubicación aberturas propuesta seleccionada	52
Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 10:00h del día 10 de Diciembre	52
Figura 24. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 11:00h del día 10 de Diciembre	53
Figura 25. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 12:00h del día 23 de Junio	53
Figura 26. Distribución de las luminarias del sistema de iluminación artificial de la planta	55
Figura 27. Distribución de las luminarias en el sistema de iluminación artificial de la planta....	55
Figura 28. Discriminación horaria tarifa eléctrica 3.1 A.....	60

1. OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar mediante la realización del presente Trabajo de Final de Grado son los siguientes:

- Estudiar los sistemas de iluminación natural existentes para poder implementar uno energéticamente eficiente en la almazara de aceite de oliva objeto del proyecto.
- Desarrollar un sistema de iluminación natural para satisfacer las necesidades lumínicas de las áreas de trabajo que componen la planta industrial estudiada.
- Estudiar la eficiencia energética de la instalación para diferentes sistemas de iluminación mixta, basados en el uso de iluminación natural y artificial.
- Realizar un presupuesto para la instalación de los sistemas de iluminación propuestos.
- Llevar a cabo el correspondiente balance económico con la finalidad de analizar la viabilidad de los sistemas de iluminación mixtos, en comparación con la utilización de sistemas de iluminación exclusivamente artificial.
- Familiarizarse con la normativa actual relacionada con los sistemas de iluminación natural en la industria.
- Obtener un conocimiento técnico añadido en relación al empleo de programas específicos de simulación para desarrollar instalaciones de iluminación natural.

2. ACEITE DE OLIVA

El **aceite de oliva** es un aceite vegetal, es decir, un compuesto orgánico de las plantas que se encuentra en sus semillas o frutos, en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Concretamente, el aceite de oliva se obtiene a partir del fruto del olivo, denominado oliva o aceituna.

Es el aceite alimenticio más antiguo después del aceite de sésamo. En la antigüedad, este aceite se usaba como alimento, en medicina y en ceremonias religiosas. Actualmente, es el aceite vegetal comestible más importante en los países mediterráneos y Portugal, siendo muy apreciado debido a su agradable aroma y sabor.

El aceite de oliva es un alimento altamente energético, aporta 9 kcal/g provenientes de sus ácidos grasos, de los cuales el ácido oleico representa aproximadamente el 68-81.5 %, siendo considerado una grasa monoinsaturada. Tanto el ácido oleico (monoinsaturado) y el ácido linoleico (poliinsaturado) que contienen son fundamentales para la salud, ya que son necesarios y nuestro organismo no puede sintetizarlos. Pero más allá de su alto valor energético, presenta efectos positivos sobre la salud de los consumidores que lo convierten en un alimento funcional.

Según algunas investigaciones, posee efectos anticancerígenos, favorece la digestión al estimular la vesícula biliar y ayuda a depurar el hígado.

Su composición varía en función de diversos factores como son: variedad de aceituna, grado de maduración, condiciones agronómicas y características tecnológicas de producción. Desde el punto de vista bromatológico, podemos establecer que la composición del aceite de oliva queda dividida en dos fracciones: **fracción mayoritaria**, que representa el 98-99% del peso total del aceite, y **fracción minoritaria**, que alcanza sobre el 2% del peso del aceite de oliva.

- **Fracción mayoritaria:** Esta fracción es conocida como fracción saponificable. Entre los constituyentes de la fracción saponificable están los triglicéridos, que suponen el componente principal del aceite de oliva ya que las aceitunas, al igual que la mayoría de los cultivos oleaginosos, acumulan lípidos en forma de distintas especies moleculares de triacilglicerol. También se encuentran presentes en una proporción mucho menor: diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres.
- **Fracción minoritaria:** representa sobre el 2% del peso del mismo. Aunque en peso supone una pequeña parte de la composición, incluye una gran variedad de

compuestos químicos. Las diversas clases de constituyentes menores pueden dividirse en dos grupos. El primer grupo consta de derivados de ácidos grasos, tales como fosfolípidos, ceras y ésteres de esteroides. El segundo grupo incluye hidrocarburos, alcoholes alifáticos, esteroides libres, tocoferoles, clorofilas, carotenoides y compuestos fenólicos.

Los criterios de calidad que se siguen para determinar la calidad del aceite de oliva dependen de las características físico-químicas siguientes:

- **Acidez:** La acidez es una medida de los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Un índice de acidez del aceite elevado significa que el aceite ha sufrido ciertas alteraciones con los consiguientes efectos en el aroma y el sabor. El índice de acidez de aceites vírgenes no suele superar el 0'5%.
- **Índice de peróxido:** Indica la cantidad de oxígeno activo que tiene un aceite de oliva, refleja su riesgo de oxidación y su estado de conservación.
- **Absorción de la radiación ultravioleta:** Este parámetro se utiliza para detectar los compuestos insaturados que contiene el aceite. Este dato también nos indica la pureza del aceite, porque los sometidos a tratamientos industriales tienen otros ácidos grasos diferentes que aumentan la absorbancia.
- La **humedad** y **sustancias volátiles:** Indican la bondad del proceso de fabricación, este debe evitar la posible presencia (aun en pequeñas cantidades) de agua y otras sustancias volátiles, que favorecen los procesos de enranciamiento.
- **Organolépticas:** Son las características perceptibles por el consumidor como el color, el olor y el sabor. Se determinan a través de las catas de aceite de oliva.

Por último, entre sus importantes beneficios para la salud, cabe destacar:

- Protege de las enfermedades cardiovasculares, ya que al aportar ácidos grasos insaturados, regula los niveles de colesterol sanguíneo.
- Mejora el funcionamiento del aparato digestivo; es protector estomacal ante las secreciones ácidas.
- Para combatir la hipertensión arterial, se ha demostrado que el aceite de oliva virgen es capaz de modificar la estructura y composición lipídica de la membrana de los eritrocitos o glóbulos rojos.
- Tiene efecto protector y tónico sobre la piel.
- Mejora las funciones metabólicas y el desarrollo cerebral, ya que los ácidos grasos favorecen la formación de membranas celulares y la formación de tejido cerebral.

- Estimula la absorción de calcio y por ello estimula el crecimiento óseo.
- Reduce el desgaste de los tejidos gracias a su poder antioxidante, disminuyendo el envejecimiento de la membrana celular.

Lo comentado anteriormente no hace más que mostrar la importancia y los determinantes beneficios para la salud y para la alimentación del aceite de oliva, que junto a su histórica relación con España, el cual atesora el mayor olivar del mundo, le convierte en un producto de una gran importancia y valor añadido.

3. SECTOR DEL ACEITE DE OLIVA

3.1 Contexto económico español del aceite de oliva

España posee más de 300 millones de olivos, que ocupan una superficie aproximada de 2,5 millones de hectáreas, situándose como el país con la mayor superficie de olivares del mundo. Éstos están distribuidos por toda la península, con especial presencia en la mitad meridional y este.

Por otro lado, España es líder mundial en producción, comercialización y exportación de aceites de oliva, con una comercialización media en torno a 1.200.000 toneladas al año, representando más de la mitad de la producción de la UE y el 40% de la producción mundial. A modo de ejemplo, cabe destacar el valor productivo promedio durante 2007-2012, el cual se situó en torno a 1.886 millones de €, representando un 4,6% de la Producción de la Rama Agraria y el 7,6% de la Producción Vegetal.

A continuación se muestra una figura donde se puede observar la evolución experimentada en España en relación a la producción de aceite de oliva.

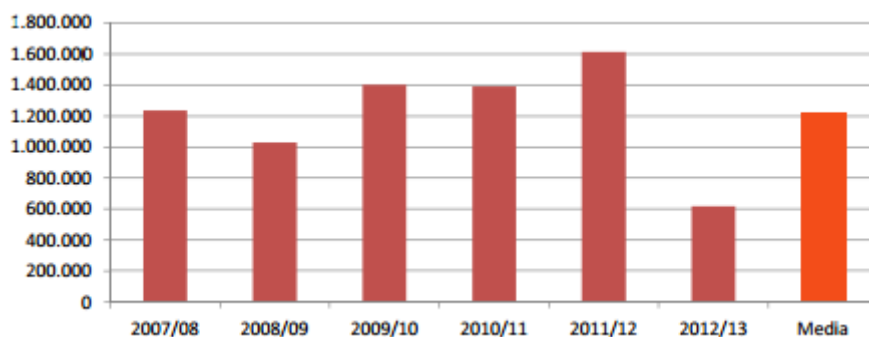


Figura 1. Evolución de la producción de aceite de oliva en España (toneladas). Fuente: Ministerio de Agricultura, gobierno de España

Respecto a las exportaciones, éstas representan el 60% del comercio total del aceite de oliva en España, con más de 100 países de destino, y con una media en las campañas 2007/08– 2012/13 de 745.700 toneladas. La calidad y cantidad de la cosecha generada constituye un factor fundamental, ya que condiciona el volumen productivo y por lo tanto de exportaciones.

Por otro lado, destacar que las importaciones son significativamente menores que las exportaciones, con una media de 5.088 toneladas en el periodo 2007/08– 2012/13. La mayor parte del aceite importado procede de la UE (el 57%), siendo Portugal e Italia (50 y 27% sobre el total UE respectivamente) los principales suministradores.

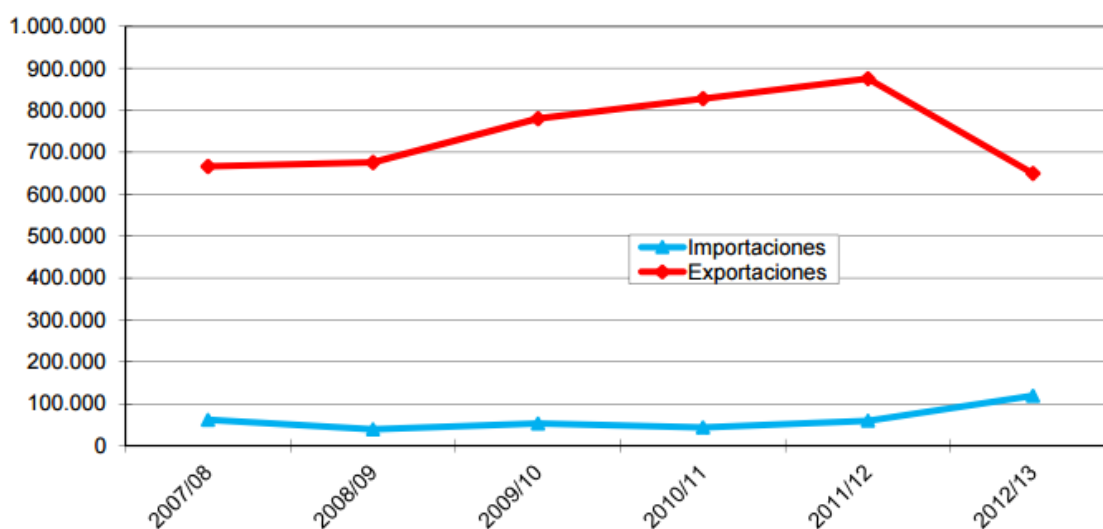


Figura 2. Evolución exportaciones e importaciones aceite de oliva. Fuente: Ministerio de Agricultura, gobierno de España

En cuanto a la producción de aceite de oliva en la Comunidad Valenciana, cabe destacar que es una excelente tierra para el cultivo del olivo y la producción de este aceite, debido a las excelentes condiciones que ofrece el clima mediterráneo, especialmente en las zonas del interior de la provincia que están más resguardadas del frío en los meses invernales.

Según el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), las exportaciones de aceite de oliva en la Comunidad Valenciana se cifraron en 29 millones de euros, lo que representa un incremento del 52% con respecto al año 2013. Este crecimiento no es un hecho aislado ya que desde el año 2012 las exportaciones de este producto han crecido más del doble (+108%).

Este dinamismo mostrado por las exportaciones de aceite de oliva se ha producido en las tres provincias que la componen. Las exportaciones alicantinas de aceite de oliva se han

incrementado un 46% al alcanzar los 2'6 millones de euros; las de Castellón han crecido un 342%, con un valor de 0'4 millones de euros. Y la provincia de Valencia ha exportado producto por valor de 26 millones de euros, con un ascenso respecto al año anterior del 53%.

4. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

Seguidamente se describe el proceso productivo para la obtención industrial de aceite de oliva, así como la distribución en planta de la almazara sobre la cual se realizará el estudio de eficiencia energética objeto del presente proyecto. Cabe destacar que dicha almazara presenta una producción media anual de 720 toneladas.

4.1 Proceso productivo

El proceso productivo empleado habitualmente para la obtención de aceite de oliva se compone de varias fases claramente diferenciadas entre sí, las cuales permiten producir este producto de manera eficiente y otorgándole la calidad y propiedades diferenciadoras que le caracterizan.

Concretamente, el método empleado en la almazara objeto del proyecto consiste en el método continuo de dos fases, el cual es el método más moderno para extraer aceite de oliva y el más utilizado actualmente en el sector. Este sistema, presenta las siguientes ventajas frente al sistema tradicional:

- Alta capacidad de producción, lo que evita el stock de aceitunas aumentando la calidad del aceite.
- Mejora en el rendimiento, limpieza e higiene.
- En esta tipología de plantas. El reciclaje del agua de vegetación proporciona una mayor cantidad de polifenoles en el aceite, protectores naturales contra la oxidación.

Las principales etapas que componen el proceso productivo anteriormente comentado son:

Recolección

Esta fase consiste en la recogida de las aceitunas de los árboles, asegurando que las aceitunas se obtengan del árbol y descartando aquellas que han caído al suelo de forma espontánea. En la práctica, las aceitunas se recogen cuando tienen un color negro o violeta intenso, y también dependiendo de la disponibilidad de mano de obra y de las condiciones climáticas.

Los métodos utilizados para recogerlas dependen de un gran número de factores, como por ejemplo la altura y forma de los árboles, las técnicas de cultivo o las características propias del terreno.

Transporte

Una vez recogida la materia prima, es imprescindible transportarla a la almazara donde se procesará, ya que cualquier demora puede afectar significativamente a su calidad. El sistema más eficiente para transportarlas es utilizando cajas de plástico resistentes, lavables y abiertas. De esta manera se facilita la circulación de aire en su interior, evitando de esta manera el sobrecalentamiento producido de manera espontánea a raíz de la actividad catabólica del fruto.

Por otro lado, se debe limitar en la medida de lo posible el número de cajas apiladas, las cuales suelen tener una capacidad de entre 25-250 kilogramos, para evitar el aplastamiento del fruto.

Recepción

En primer lugar, es importante resaltar que la almazara donde se realizará la recepción de la aceituna debe poseer un amplio espacio para que los vehículos implicados en esta fase puedan maniobrar sin dificultad.

La recepción del producto se realiza en tolvas de recepción, donde los vehículos encargados de su transporte sueltan la carga. Las citadas tolvas se encuentran al nivel del suelo, para que los vehículos puedan descargar sin ningún impedimento, además de poseer compuertas con accionamiento neumático o eléctrico para poder automatizar su funcionamiento.

Limpieza

El objetivo de esta fase del proceso es el de eliminar las hojas, ramas e impurezas que las aceitunas presentan tras su recolección. Estas impurezas pueden representar entre el 5 y el 10% del peso del fruto una vez se deposita en las tolvas de recepción, por lo que una adecuada limpieza es imprescindible para el posterior procesamiento.

Para la limpieza, se suelen emplear limpiadoras y despalilladoras. Por un lado, las limpiadoras permiten separar las impurezas menos pesadas que la aceituna, como las hojas y tierra suelta. Por otro, las despalilladoras se encargan de separar las impurezas de mayor tamaño, como ramas y palos.

Lavado

El lavado de las aceitunas consiste en la eliminación de las impurezas más pesadas que presentan las aceitunas, como son las piedras, polvo y tierras. Es muy importante eliminarlas para evitar la proliferación de olores y sabores extraños en el producto final, así como el aceleramiento del proceso de fermentación de las aceitunas.

Pesado

Las máquinas automáticas de pesada, son un complemento funcional de los equipos de limpieza y lavado, así como de la recepción en general. Permiten llevar un control preciso acerca de la cantidad de producto manipulado, así como de la cantidad de impurezas presentes.

Almacenamiento de las aceitunas

Una vez concluyen las anteriores fases, es necesario almacenar el fruto en tolvas de espera, antes de proceder al proceso de molienda. Lo preferible sería que el proceso de extracción del aceite se llevara a cabo inmediatamente después de la recolección, pero en la práctica esto no es posible debido a que la producción de aceitunas para aceite se realiza en un periodo de cosecha relativamente corto.

Durante el almacenamiento, pueden producirse diferentes cambios químicos y bioquímicos, que ponen en riesgo la integridad del posterior aceite. Para frenar el deterioro de las aceitunas, se recomienda el almacenamiento en edificios refrigerados, con las aceitunas apiladas en capas que no superen los 25 cm.

Molienda

Durante este proceso se procede al desgarramiento de las membranas celulares de la aceituna, de manera que se libere el aceite contenido en las vacuolas de las mismas. De esta forma se consigue obtener una pasta compuesta por un parte o fase sólida (formada por restos de tejidos vegetales) y otra fase líquida, de aceite y agua.

Este proceso se suele realizar mediante empiedro o rulos, o mediante molinos metálicos o de martillo, actualmente más utilizados debido a su mayor rendimiento y efectividad.

Para no perjudicar en exceso la calidad posterior del aceite, durante esta fase se han de tener en cuenta varios aspectos, entre los que destacan:

- Reducir la superficie y el tiempo de molienda, evitando el contacto de la masa con el oxígeno del aire para minimizar las pérdidas de aroma y los procesos de oxidación.
- Minimizar la incorporación de trazas metálicas a la masa, ya que éstas pueden deteriorar el color y el sabor.
- Controlar la formación de emulsiones y el calentamiento excesivo de la pasta, ya que puede provocar pérdidas de aroma.

Batido

En la pasta obtenida en la fase anterior, se diferencian:

- La pulpa
- Restos de huesos y de otros tejidos
- Gotas de aceite
- Alpechín en la fase continua

La rotura realizada de las membranas celulares libera los glóbulos de aceite, que forman gotas de diferentes tamaños y entran en contacto con el alpechín procedente del agua de vegetación de las aceitunas y restos de agua de tratamientos previos. Así pues, el objetivo principal del batido es formar una fase oleosa continua, para facilitar la separación del aceite en los posteriores procesos de elaboración.

La temperatura de trabajo debe oscilar entre los 25-30°C. Por encima de este valor, se pueden producir efectos no deseados que comprometan la estabilidad del aceite final, como pérdida de componentes volátiles, adquisición de tonos rojizos en el aceite, pérdida de estabilidad, etc. Otros factores a tener en cuenta son la velocidad y el tiempo de batido.

Centrifugado

En primer lugar, durante esta fase se separan las fases sólidas y líquidas por centrifugación mediante un decánter centrífugo horizontal. Al salir de la centrifugadora, se obtienen dos fases:

- Líquida, que es el aceite húmedo que sale por la parte inferior del decánter, gracias al diafragma puesto para tal fin.
- Sólida, formado por la mezcla del orujo y el agua de vegetación.

Posteriormente, para la purificación del aceite de la humedad y sólidos que aún pudieran retener, se pasa por una centrífuga vertical de disco para obtener los sólidos que aún pudieran llevar en disolución, obteniendo ya el aceite limpio.

Almacenamiento del aceite

Esta fase es importante pues hay que tener especial cuidado para no perjudicar las características del aceite, tanto de estabilidad como organolépticas.

Los principales problemas que se pueden dar son la oxidación (al haber ácidos grasos) y las fermentaciones por impurezas sólidas que aún puede llevar el aceite. Por ello, los depósitos para almacenar el aceite, deben evitar las condiciones que den lugar a esos problemas, además de ser contruidos de materiales inertes e impermeables para no presentar actividad físico-química.

Por otro lado, el aceite se debe proteger de la luz y del aire, factores que aceleran la alteración del producto.

Filtrado

La filtración consiste en hacer pasar el aceite a través de tejidos o materiales porosos dónde quedan retenidas las impurezas que se desean eliminar. La eliminación durante esta fase de sólidos disueltos en el aceite así como la humedad, evita posteriores formaciones de humo y olores desagradables en la manipulación del aceite final. Además con el filtrado se mejoran las condiciones de conservación.

Envasado

En el envasado hay dos operaciones básicas que se desarrollan simultáneamente: el llenado y el dosificado de envases. Hay que efectuarlas con maquinaria que garanticen precisión y limpieza.

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del proceso anteriormente comentado:

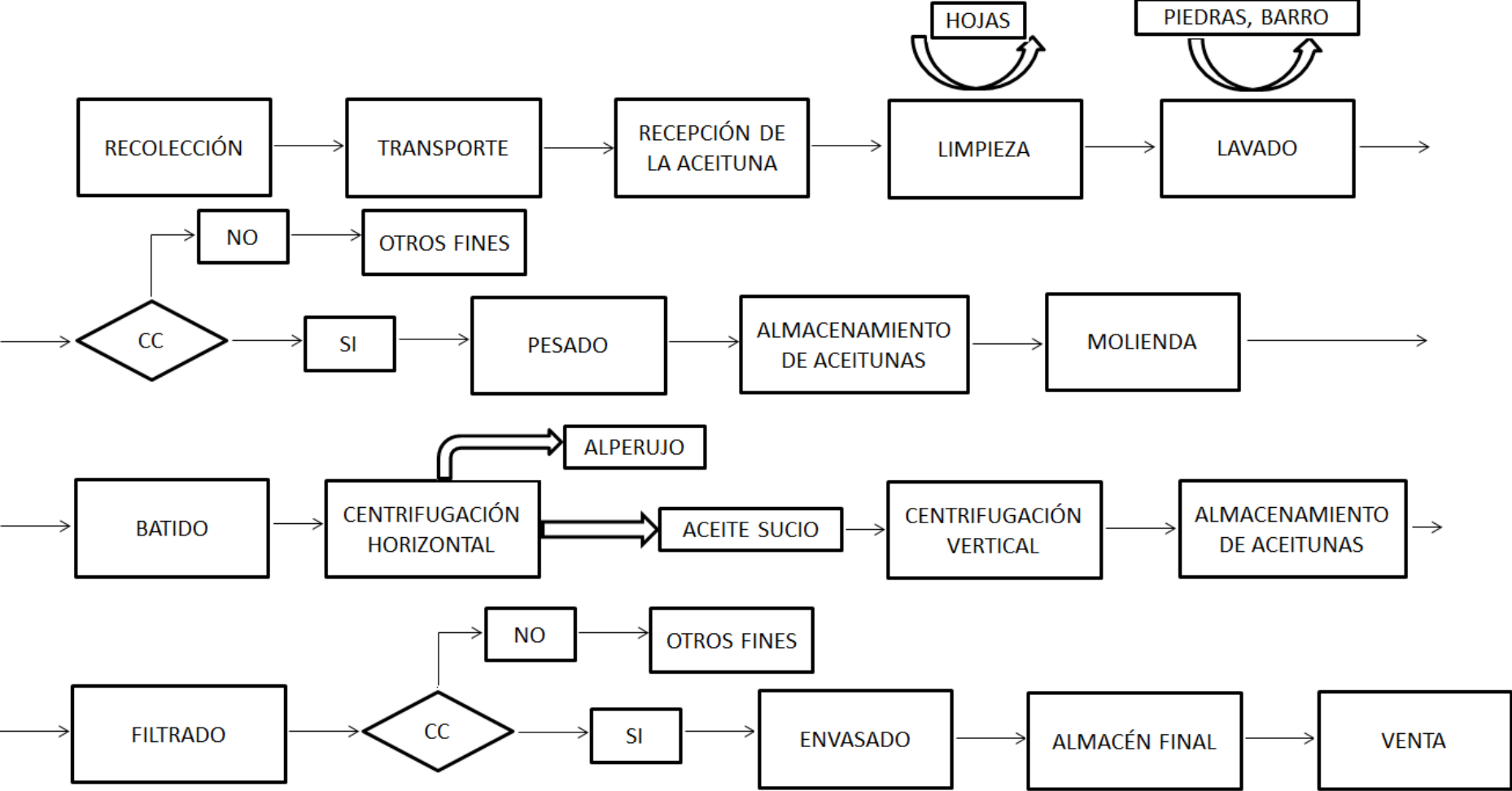


Figura 3. Diagrama de bloques

4.2 Distribución en planta

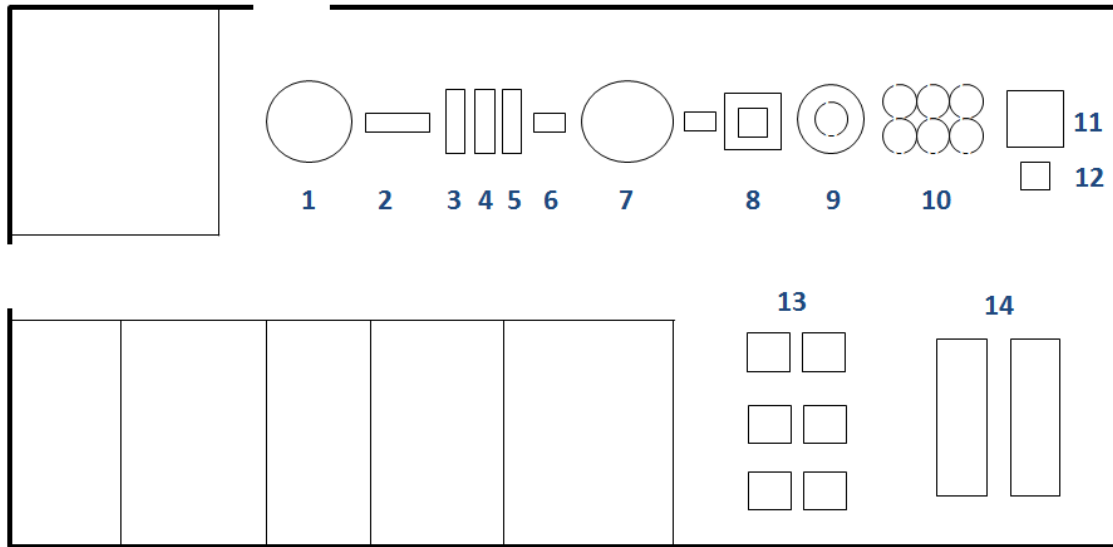


Figura 4. Distribución en planta

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Tolva de recepción | 8 Molino y batidora |
| 2 Cinta transportadora de aceitunas | 9 Centrifugadora y filtrado |
| 3 Limpiadora | 10 Depósitos |
| 4 Lavadora | 11 Embotelladora |
| 5 Secadora | 12 Empaquetadora |
| 6 Báscula | 13 Almacén de producto terminado |
| 7 Silo de aceitunas | 14 Almacén de cajas y botellas vacías |

La distribución en planta mostrada se corresponde a la almazara que se pretende estudiar durante el presente proyecto. Concretamente, la planta ocupa una superficie de 2.244 m², distribuidos en varias zonas de trabajo tal y como se observa.

El plano de la almazara con las dimensiones reales se adjunta en el **ANEXO 1**.

5. ILUMINACION

La iluminación es uno de los requerimientos ambientales de los interiores más importantes, ya que la visibilidad en un espacio es una condición esencial para la realización de nuestras actividades de una forma adecuada, segura y con confort. Una buena iluminación requiere igual atención en la cantidad como en la calidad de luz.

La iluminación para el trabajo abarca una amplia gama de interiores y de tareas laborales diferentes: desde oficinas y pequeños talleres a grandes naves industriales; desde la lectura, escritura y trabajo con ordenadores a trabajos de gran precisión o pesadas. La calidad de la iluminación debe ser siempre lo bastante elevada como para garantizar un rendimiento visual suficiente en la tarea en cuestión.

Aumentar la cantidad de luz natural en los edificios ha sido durante mucho tiempo un objetivo en el diseño arquitectónico. Diferentes estudios han demostrado que con la iluminación natural aumenta el bienestar de las personas; mejora su salud, son más felices y más productivos. Se ha comprobado que los diseños que utilizan más luz natural además tienen otros efectos positivos:

- Aumenta la productividad
- Aumenta la capacidad de aprendizaje (20 – 26%)
- Disminuye el absentismo
- Ambiente laboral o educativo más feliz
- Mayor moral y mayor lealtad a la compañía
- Mejor calidad y comodidad visual

Tipos de iluminación

Según las diferentes tipologías de iluminación, existen varias clasificaciones según un amplio abanico de factores a tener en cuenta. En la práctica, fundamentalmente se distinguen dos tipos: según el origen de la fuente de iluminación y según la uniformidad de dicha fuente.

En relación a la clasificación según el origen de la fuente, se obtienen 3 variedades:

- **Iluminación natural:** este tipo de iluminación se basa únicamente en la obtención de iluminación mediante luz diurna.
- **Iluminación artificial:** es aquella que se fundamenta en la utilización exclusiva de fuentes luminosas artificiales.

- **Iluminación mixta:** consiste en una combinación de las anteriores, la cual es utilizada en mayor medida en la actualidad.

Por otro lado, tal y como se ha comentado anteriormente, otro de los criterios más utilizados para clasificar la iluminación se basa en la uniformidad de la fuente luminosa. Es por ello que la clasificación queda de la siguiente manera:

- **Iluminación general:** la luz queda repartida uniformemente a lo largo de toda la superficie de trabajo, abarcando una amplia zona.
- **Iluminación localizada:** este tipo de iluminación se centra en iluminar una zona concreta de trabajo, por motivos especiales y requeridos por la tipología de trabajo llevada a cabo.
- **Iluminación general-localizada:** consiste en una combinación de las anteriores.

5.1 Requerimientos de la planta

Los motivos para diseñar el sistema de iluminación natural objeto del presente proyecto, son muchos y muy variados. A priori, destaca la **motivación económica**, pues la integración de este sistema en la almazara estudiada permitirá optimizar notablemente el aprovechamiento de la luz natural que entre en el recinto, ahorrando energía eléctrica en el proceso.

Por otro lado, se mejorará sustancialmente la **calidad del trabajo** llevado a cabo en el interior de la planta, ya que los operarios podrán realizar sus tareas de una forma más cómoda y eficiente, además de poder trabajar en situaciones en la que antes no podían debido a la falta de luz. Finalmente, otra motivación añadida consiste en aumentar la **seguridad del trabajo** llevado a cabo, ya que un mayor aprovechamiento de la luz natural se traducirá en un incremento de la seguridad y bienestar para los trabajadores.

Para el estudio de este sistema de iluminación natural, se estudiarán y analizarán posteriormente un gran número de parámetros que permitirán asegurar los resultados obtenidos. Entre estos parámetros, destacan:

- **Valor medio de iluminación en el plano de trabajo (E_m)**

Este valor refleja en nivel de iluminación que se pretende alcanzar en las diferentes zonas de trabajo de la planta, dependiendo de las funciones que se realicen en ellas. Para calcularlo, primero se seleccionarán una serie de puntos para cada zona, que reflejen diferentes niveles de iluminación. Estos puntos se denominan Iluminación horizontal interior

en un punto (E_i). Posteriormente, se calculará la “iluminación media horizontal interior (E_m)”, que se corresponde a la media ponderada de los anteriores niveles de iluminación según el espacio que se estudie.

En la norma UNE 12464.1 (“Norma europea sobre la iluminación para interiores”) se muestran una serie de valores medios de iluminación en el plano de trabajo, en relación a distintas actividades industriales.

- **Uniformidad global de la iluminación (E_{min}/E_{max})**

Este parámetro refleja la relación existente entre la iluminación mínima y la máxima de una zona concreta en el plano de trabajo. Oscila entre valores de entre 0 y 1. Cuando este valor se aproxima a 0, indica que existe una diferencia significativa entre los valores máximos y mínimos de iluminación, con el riesgo añadido de presentar variaciones de luz muy importantes que pueden perjudicar la salud y seguridad de aquellos que trabajen en esa zona.

Por otro lado, cuando el valor se aproxima a 1, expresa que existe una buena uniformidad de la iluminación en la zona estudiada, mejorando las condiciones de trabajo.

- **Deslumbramientos**

Es importante asegurar la no existencia de deslumbramientos en las zonas de trabajo, tanto directos como indirectos, ya que ponen en riesgo la seguridad y eficiencia del trabajo. Este parámetro resulta fundamental en relación a la obtención de una correcta iluminación. Respecto a lo comentado anteriormente, cabe destacar que se considera que la no existencia de deslumbramientos se produce cuando la luz incide sobre los trabajadores con ángulo superior a 30°.

En el caso concreto de la planta objeto del proyecto, la existencia de deslumbramientos se comprobará generando un plano horizontal, a la altura del ojo de una persona de estatura media (aproximadamente 1.70 metros) por toda la planta estudiada. El siguiente paso consistirá en el cálculo de la distancia mínima a partir de la cual el ángulo formado entre el borde inferior de las aberturas laterales y el plano anteriormente comentado sea igual a 30°. Cualquier distancia mayor a ese valor se considerará como fuente de deslumbramientos. Cabe destacar que los deslumbramientos únicamente se producen mediante aberturas laterales.

Por otro lado, otro de los requisitos a tener en cuenta para asegurar unos correctos niveles de iluminación consiste en no superar los 2000 luxes en ninguna zona estudiada de la planta, para todas las épocas del año analizadas.

5.1 Método de cálculo analítico

En el apartado anterior se han descrito los parámetros más importantes a tener en cuenta a la hora de analizar la iluminación en cualquier área de trabajo. El siguiente paso, es el de calcular de forma teórica la superficie total de aberturas necesaria para poder alcanzar dichos objetivos de forma efectiva.

Cabe destacar que este cálculo se realiza de forma teórica, por lo que puede presentar variaciones respecto a la necesidad real de superficie de aberturas finalmente requerida. Sin embargo, permite obtener una aproximación fiable que permita obtener un orden de magnitud adecuado a la hora de disponer las aberturas en la planta estudiada.

Así pues, la ecuación utilizada para desarrollar el método de cálculo es, suponiendo que todas las aberturas serán verticales:

$$S_V = \frac{E_{int} \cdot S_S}{E_a \cdot f_V \cdot f' \cdot \eta} \quad (1)$$

Dónde:

- E_m : nivel de iluminación horizontal media deseado en el interior en el plano de trabajo.
- E_a : nivel de iluminación horizontal en el exterior.
- f : factor de ventanas.
- f' : factor característico de reducción ventana-muro.
- η : rendimiento del recinto.
- S_v : superficie de ventanas.
- S_s : superficie de suelo del recinto.

Sin embargo, hay ocasiones en las que por motivos de espacio no es posible instalar únicamente aberturas verticales, poniendo en riesgo el cumplimiento de los parámetros de iluminación requeridos. Es por ello que se hace necesaria la instalación de aberturas horizontales en cubierta, como es el caso de las claraboyas y lucernarios. En estos casos, la ecuación empleada es:

$$E_{int} = E_a \cdot f_V \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S} + E_a \cdot f_H \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_H}{S_S} \quad (2)$$

Donde

- f_H : factor de aberturas horizontales.
- S_H : superficie requerida de aberturas horizontales.

Para poder resolver la ecuación y obtener la superficie de aberturas tanto verticales como horizontales, será necesario la introducción de una nueva ecuación que refleje la relación entre la superficie de ambas aberturas:

$$S_V = k \cdot S_H \quad (3)$$

A continuación se detallan de una forma más amplia los parámetros anteriormente indicados:

- **Nivel de iluminación horizontal media en el interior (E_m):** Este parámetro indica, tal y como se ha comentado con anterioridad, el nivel de iluminación objetivo para alcanzar en el plano de trabajo de una zona en concreto dentro de la planta industrial. La norma UNE-EN 12464-1 ofrece una guía para determinar este valor según la zona de trabajo estudiada.
- **Nivel de iluminación exterior (E_a):** Se trata de la iluminación producida por la bóveda celeste. Para este proyecto se utilizará, tal y como se suele emplear en el diseño habitual de sistemas de iluminación industrial, un valor de nivel de iluminación difusa sobre superficie horizontal exterior de 3.000 luxes
- **Factor de ventanas:** El factor de ventanas es un parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste captada por las ventanas según su disposición en la nave. El factor de ventanas (f) se determina utilizando la siguiente ecuación:

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

La cubierta de la almazara tiene 8º de inclinación, por lo el valor de: $\alpha = 8^\circ$.

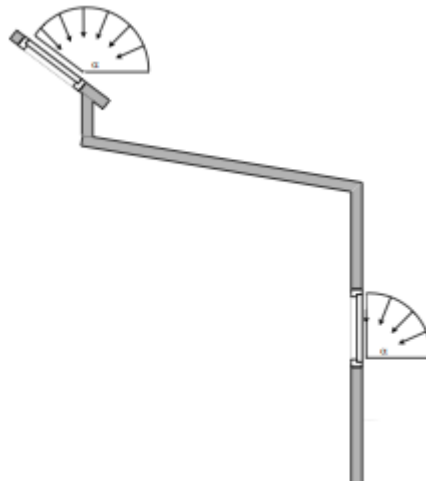


Figura 3. Factor de ventanas. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Factor característico de reducción ventana-muro:** Este factor está relacionado con la reducción de la radiación proveniente del sol debido al grosor de los cerramientos. Su valor será más elevado en la medida en que la relación entre la altura y la longitud de la ventana y el espesor del cerramiento sea mayor. A efectos prácticos, la citada relación será un valor muy elevado, por lo que se admitirá un valor igual a 1.

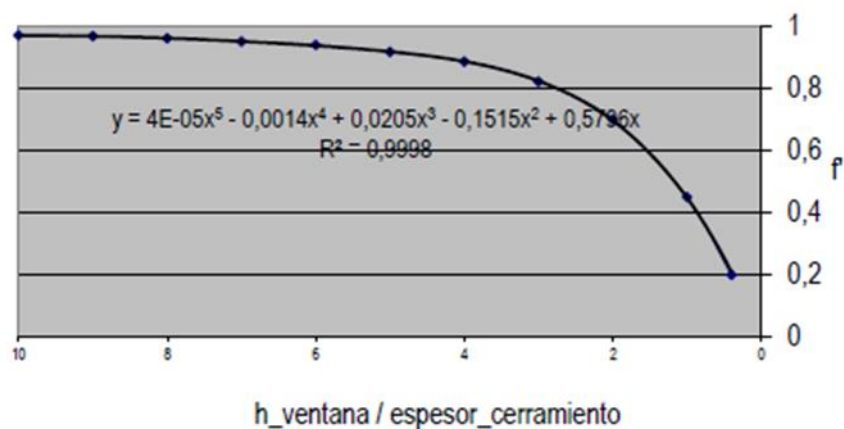


Figura 4. Factor característico de reducción ventana-muro. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Rendimiento del recinto:** Este parámetro tiene en cuenta la realidad de que todo el flujo luminoso entrante en el recinto no llega a incidir directamente sobre el plano de trabajo, ya que parte del mismo incide sobre otras superficies las cuales llegan a reflejar parte de este flujo. Habitualmente, se suele tomar un valor de entre el 40-50% para recintos de paredes claras.

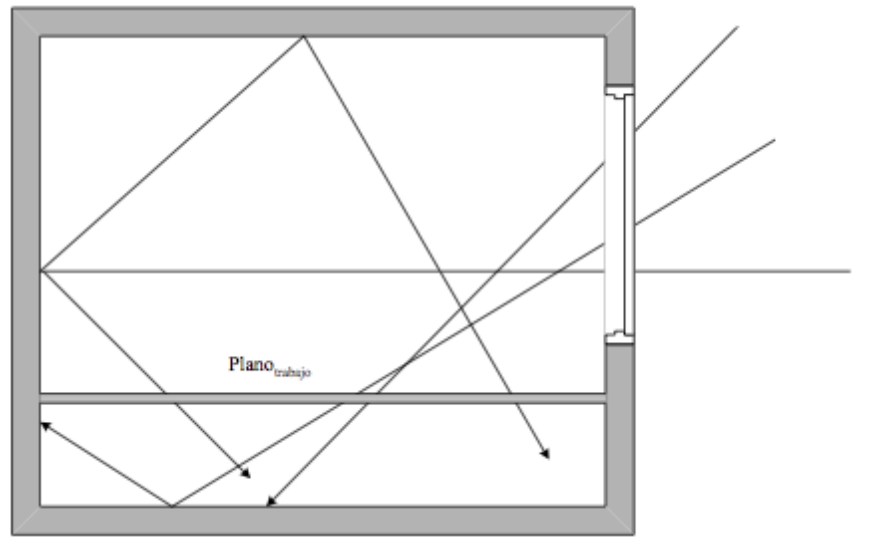


Figura 5. Rendimiento del recinto. Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Superficie de ventanas (S_v):** Refleja la superficie de aperturas requerida para poder alcanzar los niveles de iluminación requeridos para una zona de trabajo concreta.
- **Superficie de suelo del recinto (S_s):** Indica la superficie total de la zona que se pretende estudiar en relación con la maximización de la eficiencia lumínica en su interior.

5.2 Eficiencia energética en iluminación

Posteriormente, para la obtención de los resultados planteados se realizará el correspondiente análisis de la eficiencia energética del sistema de iluminación propuesto, con el objetivo de poder verificar tanto la eficiencia como la validez de los resultados obtenidos.

Este análisis se realizará utilizando como método de cálculo el propuesto en el CTE “Código Técnico de la Edificación”, el cual establece la necesidad de emplear sistemas de iluminación basados en luz natural en aquellas zonas donde sea viable su utilización.

Es importante resaltar que el citado CTE excluye en su norma las instalaciones industriales como la planta objeto del proyecto. Sin embargo, y debido a la no existencia de un método de cálculo específico para este tipo de instalaciones, se tomarán como válidos los resultados obtenidos para la planta industrial sobre la que se desea realizar el análisis.

Concretamente, el método de cálculo indicado en el CTE permite cuantificar la eficiencia energética de una instalación VEII (W/m^2) por cada 100 lux. La ecuación utilizada para calcular el factor anteriormente comentado es:

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

En donde:

- **VEEI**: valor de eficiencia de la instalación por cada 100 lux (W/m^2)
- **P**: potencia de las luminarias más el equipo auxiliar (W)
- **S**: superficie iluminada (m^2)
- **E_m** : iluminación media mantenida (lux)

Por último será necesario definir y cuantificar el parámetro k, el cual refleja el número de puntos mínimos a considerar para el correcto cálculo de la iluminación media mantenida. Éste parámetro se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

El número de puntos mínimo a considerar en el cálculo de la iluminancia media (E_m) será:

- Si $k < 1 \Rightarrow 4$ puntos
- Si $2 > k \geq 1 \Rightarrow 9$ puntos
- Si $3 > k \geq 2 \Rightarrow 16$ puntos
- Si $k > 3 \Rightarrow 25$ puntos

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

6.1 Introducción

Para llevar a cabo el diseño del sistema de iluminación natural que se pretende desarrollar durante el presente proyecto, es importante recordar que la luz que incide dentro del recinto industrial proviene de dos fuentes diferentes:

- Bóveda celeste (radiación directa). Dependiendo de sus condiciones, se podrá aprovechar o no de una forma más eficiente.
- Reflexión producida por los diferentes elementos que existen dentro de la propia planta (radiación indirecta).

Un dato imprescindible para un correcto análisis es la localización exacta de la planta industrial. La importancia de este parámetro reside en que el sistema de iluminación a estudiar depende directamente del nivel de luz que incida en el recinto, por lo que según sus coordenadas variará de una forma u otra. Concretamente, la almazara a estudiar se encuentra en el polígono industrial "El Oliveral", situado en la localidad de Ribarroja del Túrria, la cual posee unas coordenadas de 39° 28' N y 0°32' O.

Por otro lado, cabe destacar que en un año, se registran aproximadamente 4930 horas de luz diurna de las 8760 horas totales. De las 4930 horas de luz diurna anteriormente comentadas, únicamente 3416 presentan un nivel de iluminación igual o superior a los 3000 lux. Debido a lo comentado anteriormente, el sistema de iluminación natural estudiado durante el proyecto podrá satisfacer un 69% del total de las horas de luz diurna.

6.2 Requerimientos lumínicos de la planta

Para establecer los requerimientos lumínicos de la planta, en primer lugar es necesario determinar las áreas de trabajo de la misma. Concretamente, en la planta industrial objeto del proyecto, se distinguen 3 zonas claramente diferenciadas:

- Zona productiva
- Zona de almacenamiento
- Zona de paso

Para determinar el valor medio de iluminación requerido para cada área (Em), es necesario acudir a la norma UNE-EN 12464.1, en la cual se indican los requisitos de iluminación según la actividad realizada.

Seguidamente se muestran las tablas consultadas para poder determinar los requisitos de iluminación según las actividades realizadas en las zonas anteriormente descritas:

- Zona productiva

PRODUCTOS ALIMENTICIOS E INDUSTRIA DE ALIMENTOS DE LUJO		
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA Y ACTIVIDAD	Em lux
1	Zonas de trabajo en general	200
2	Clasificación y lavado de productos	300
3	Zonas de trabajo críticas	500
4	Corte y clasificación de frutas y vegetales	300
5	Fabricación de alimentos de delicatessen, puros y cigarrillos y trabajo en cocinas	500
6	Inspección de vidrios y botellas, control de productos, clasificación y decoración	500
7	Laboratorios	500
8	Inspección de colores productos	1000

Tabla 1. Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo. Fuente: NORMA UNE 12464.1

Concretamente, las referencias seleccionadas para la zona productiva se corresponden

a:

- Zonas de trabajo en general (200 luxes)
- Corte y clasificación de frutas y vegetales (300 luxes)

De esta manera, se establece un valor medio de iluminación, al seleccionar las dos áreas de trabajo, de 250 luxes.

- Zona de almacenamiento

SALAS DE ALMACENAMIENTO		
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA Y ACTIVIDAD	Em lux
1	Almacenes y cuarto de almacén	100
2	Manipulación de paquetes y expedición	300

Tabla 2. Salas de almacenamiento y almacenes frio. Fuente: NORMA UNE 12464.1

Se ha seleccionado, para el posterior cálculo de las necesidades lumínicas de la planta, la referencia de Manipulación de paquetes y expedición, la cual presenta un valor de 300 luxes.

- Zona de paso

ZONAS DE TRÁFICO		
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA Y ACTIVIDAD	Em lux
1	Áreas de circulación y pasillos	100
2	Escaleras, cintas transportadoras,	150

Tabla 3. Zonas de tráfico. Fuente: NORMA UNE 12464.1

La opción escogida ha sido, teniendo en cuenta las características de la zona de paso de la planta, es: Áreas de circulación y pasillos (100 luxes).

A modo de resumen, las necesidades lumínicas de las zonas identificadas en la planta productiva son:

Zona	Em(luxes)	Superficie (m2)
Zona productiva	250	840
Zona de almacenamiento	300	450
Zona d paso	100	129

Tabla 4. Niveles de iluminación media por zonas

Con los niveles de iluminación definidos, se calculará el nivel de iluminación medio requerido en la planta, para ello se realizará una media ponderada de las intensidades de iluminación media requeridas en cada zona con respecto a la superficie que ocupa cada una.

Una vez definidos los valores de iluminación para cada zona indicada, el siguiente paso es calcular el nivel de iluminación medio requerido en la planta, teniendo en cuenta las áreas que ocupan las mismas. El cálculo se realizará empleando la siguiente ecuación:

$$E_m = \sum \frac{E_{int,i} \cdot S_i}{S_T} \quad (7)$$

Dónde:

- $E_{m, planta}$: intensidad de iluminación media requerida en la planta.
- $E_{m, zona}$: intensidad de iluminación media requerida en cada zona
- S_{zona} : superficie que ocupa cada zona.
- S_S : superficie de suelo de la planta.

El resultado, una vez sustituidos los valores en la anterior ecuación es de **252,22 luxes**. Este valor será el nivel medio de iluminación requerido para permitir el trabajo en la planta de una forma adecuada y eficiente.

6.3 Cálculo de la superficie de aberturas teórica

Una vez calculada la intensidad media requerida en la planta, se procederá al cálculo de la estimación de la superficie de aberturas necesarias, empleando el método de cálculo analítico expuesto anteriormente, siendo su expresión:

$$S_V = \frac{E_{int} \cdot S_S}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} \quad (8)$$

Los valores empleados en el presente proyecto en relación a los parámetros expuestos en la ecuación son:

Parámetro	Valor
Em (lux)	252,22
Ea (lux)	3000
f lucernarios	0,955
f ventanas	0,5
f'	1
η	0,5-0,6
Ss (m2)	1419

Tabla 5. Parámetros empleados para el cálculo de aberturas teóricas.

Destacar que para el cálculo de flucernarios se toma la inclinación de la cubierta como α , siendo $\alpha=8^\circ$. Teniendo en cuenta la inclinación de la cubierta, el porcentaje de la cantidad de luz producida por la bóveda celeste que llega a los lucernarios es de:

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad (9)$$

Por tanto, $f_{cubierta}=0,955$.

Aplicando el método analítico se obtienen una superficie total de aberturas, según la disposición de las mismas de:

- **Iluminación lateral:** 397,66-477,2 m²
- **Iluminación cenital:** 136.68-158.18 m²

- **Iluminación mixta** (empleando una relación de superficie de ventanas-superficie de lucernarios igual a 1): 209,3-251,15 m²

Estos valores se corresponden, tal y como se ha comentado anteriormente, al valor mínimo de superficie de aberturas que se necesitarán en la planta industrial estudiada para alcanzar los valores de iluminación necesarios. Cabe destacar que se trata de un valor teórico, y es posible que realizados los correspondientes desarrollos mediante el programa DIALUX, se corrobore que se requiere un valor diferente de superficie de aberturas.

6.4 Presentación de las propuestas

Obtenido el nivel medio de iluminación requerido para la planta estudiada, el siguiente paso consiste en el diseño de varias propuestas con el objetivo de implementar la superficie de aberturas necesaria para alcanzar dichos valores en las diferentes zonas de trabajo de la misma.

Para poder valorar la mejor propuesta de una forma más eficiente y aproximada a la realidad, se desarrollarán un suficiente número de alternativas con el objetivo de abarcar todas las posibilidades de diseño posibles. Cabe destacar que se analizará un único sistema productivo y una única planta industrial, la estudiada durante el presente proyecto. La diferencia existente entre las propuestas desarrolladas, consiste en la posición y tamaño de las aberturas implantadas.

El análisis de la opción más eficiente y que mejores resultados proporcione se realizará gracias a la utilización del software libre DIALux, un programa que permite simular condiciones de iluminación natural y artificial en una gran variedad de recintos.

Seguidamente, se muestran las disposiciones de aberturas propuestas para conseguir los niveles de iluminación requeridos:

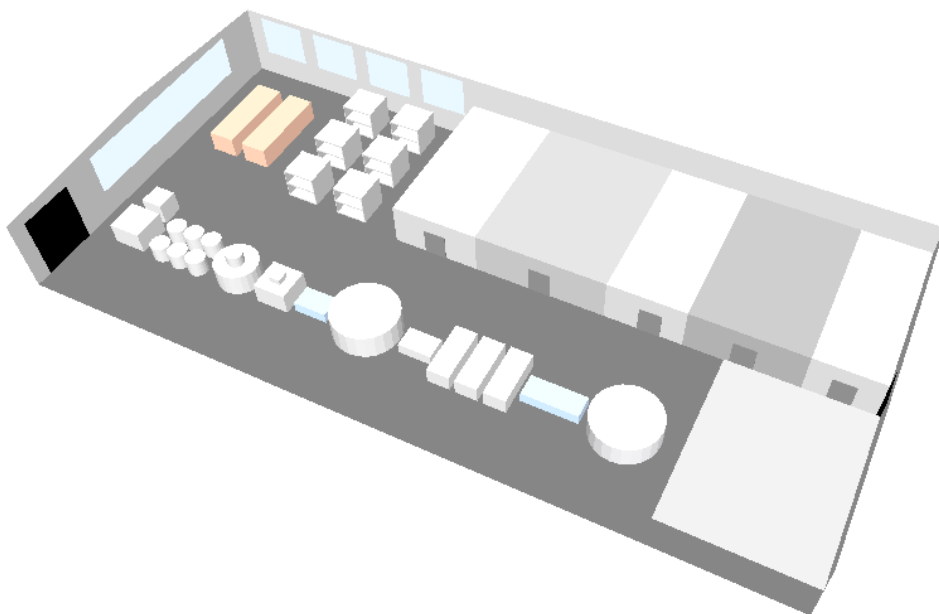
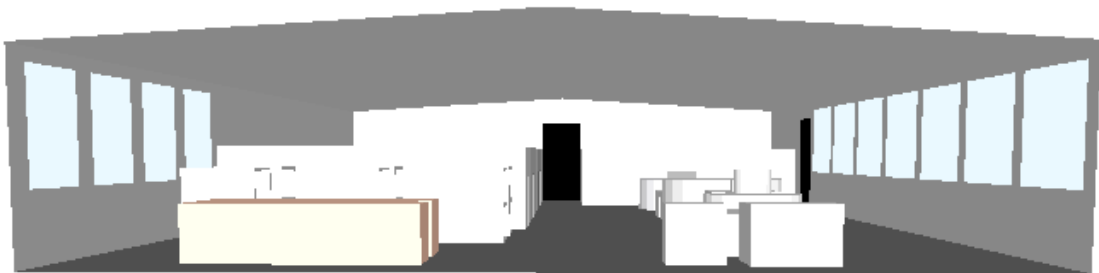
Propuesta 1

La primera propuesta seleccionada se trata de un sistema de iluminación lateral donde las aberturas se han colocado únicamente en fachadas laterales. Concretamente, la ubicación de las mismas es:

- 6 ventanales de 6x4 metros ubicados en la fachada norte.
- 1 ventanal de 19x4 metros, ubicado en la fachada este.
- 4 ventanales de 4.5x4 metros ubicados en la fachada sur.

En total, en esta propuesta se han ubicado un total de **292 m²** de aberturas. Este valor no coincide con los resultados obtenidos mediante el método analítico, ya que por motivos de espacio en lo cerramientos laterales de la planta, no ha sido posible la implementación de la superficie indicada por el método analítico.

A continuación se muestran algunas imágenes con la disposición anteriormente comentada de los ventanales instalados en la planta industrial para poder lograr obtener los valores de iluminación requeridos.



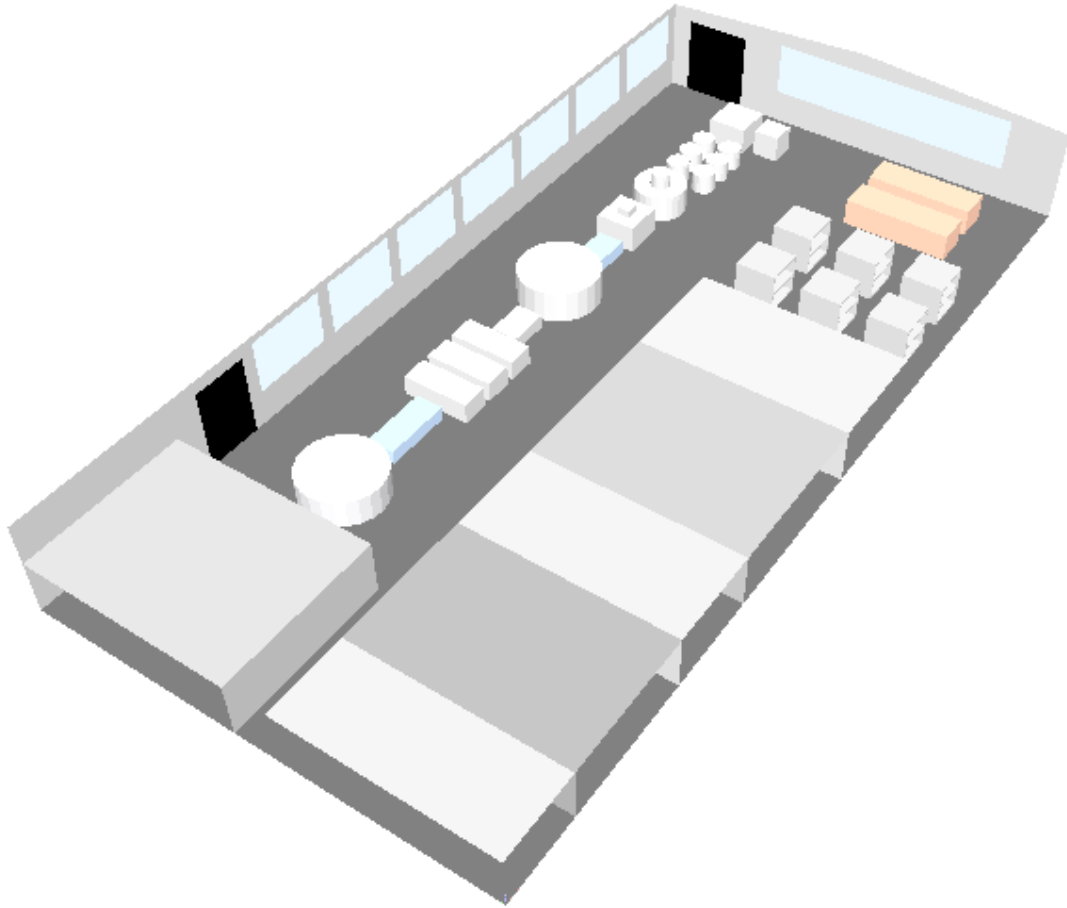


Figura 6. Disposición aberturas propuesta 1

Propuesta 2

Esta propuesta consiste en un sistema de iluminación mixta, colocando aberturas en fachadas laterales y cubierta. Se ha optado por esta segunda propuesta con el objetivo de iluminar una mayor superficie de la planta, ya que mediante el sistema de iluminación lateral, por motivos de espacio físico, no era viable instalar una mayor superficie de aberturas sin comprometer la seguridad de los trabajadores.

La ubicación de las mismas en esta propuesta es:

- 7 ventanales de 4x3.5 metros ubicados en la fachada lateral con orientación norte.
- 4 ventanales de 4x3.5 metros situados en la fachada lateral con orientación sur.
- 6 ventanales de 6x1.8 metros ubicados en la zona inclinada del techo con orientación norte.
- 2 ventanales de 12x1.7 metros en la zona inclinada de techo con orientación sur.

En total, se han implantado **259,6 m²** de aberturas. La ubicación de dichas aberturas en el programa DIALux se muestran a continuación:

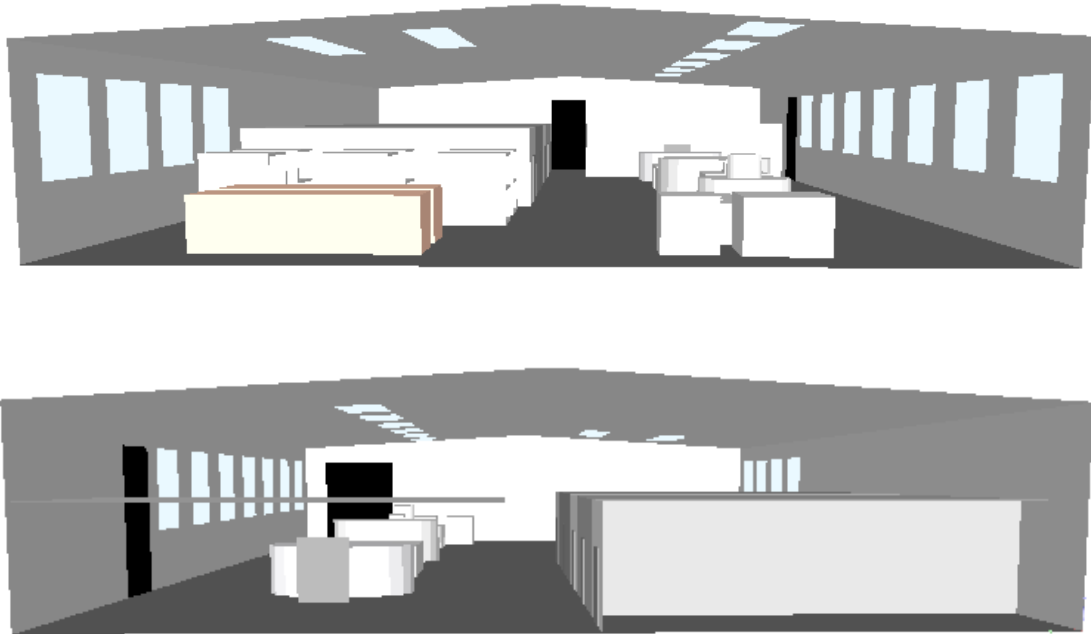


Figura 7. Disposición aberturas propuesta 2

Propuesta 3

Por último, la tercera propuesta consiste en un sistema de iluminación mediante aberturas situadas en la cubierta de la nave. Concretamente, la ubicación de los lucernarios es:

- 13 ventanales de 5x1.7 metros ubicados en la zona norte de la cubierta.
- 4 ventanales de 9x2.6 metros situados en la zona sur de la cubierta.

Se ha propuesto la instalación de un total de **204,1 m²** de aberturas. La superficie de lucernarios es superior a la calculada mediante el método analítico, debido a que en una serie de análisis anteriores a la simulación, se detectó la necesidad de implantar una mayor superficie con el objetivo de obtener mayores niveles de iluminación medios en cada zona de trabajo.

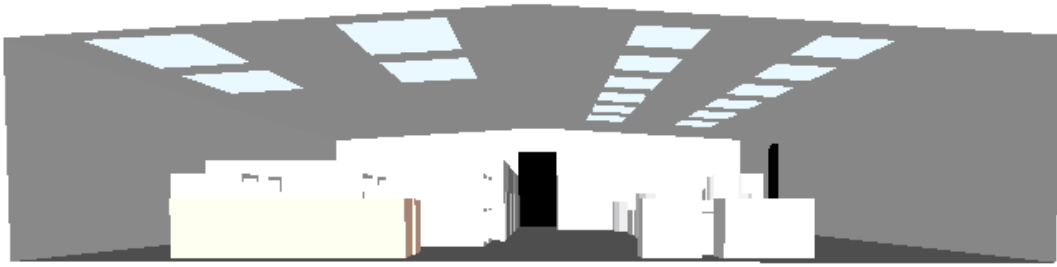


Figura 8. Disposición aberturas propuesta 3

Una vez presentadas las 3 propuestas diseñadas para implementar el sistema de iluminación de la planta, se procederá a su desarrollo mediante el simulador de iluminación incorporado en el software DIALux. Su utilización permitirá obtener una estimación muy precisa en relación a los niveles de iluminación existentes en las diferentes zonas estudiadas de la misma.

El programa divide la superficie estudiada en una serie de puntos, de manera que se pueda obtener una información más detallada y precisa acerca del valor de iluminación en cada uno de ellos. Tal y como se había indicado anteriormente, el mínimo número de puntos a calcular mediante el método analítico era de 25, pero el programa utiliza un mayor número de puntos para la realización del cálculo con un mayor nivel de detalle.

Mediante la realización de estas simulaciones mediante el programa DIALux, se podrán obtener los valores de iluminación buscados para cada propuesta planteada, para poder analizarlas de una forma más exhaustiva en fases posteriores del presente proyecto.

Las simulaciones se realizarán simulando dos épocas del año, concretamente invierno y verano. El motivo de esta elección se debe a la necesidad de obtener los valores de iluminación presentes en la planta en dos épocas contrapuestas en relación a los niveles de radiación solar, para poder validar los resultados de una forma más amplia y generalizada.

Concretamente, las simulaciones se llevarán a cabo los días 10 de diciembre y 21 de junio, los días que presentan menor y mayor incidencia luminosa del año. Las simulaciones llevadas a cabo el 10 de diciembre, se realizarán a dos horas diferentes debido a la poca iluminación existente, concretamente a las 10.00 y 11.00 de la mañana. Por otro lado, el 21 de junio, las simulaciones se realizarán a las 12.00 de la mañana ya que es la hora de mayor incidencia solar.

Para realizar un correcto análisis, se tendrán en cuenta los valores de iluminación presentes (E_m y E_{min}/E_{max}) y los deslumbramientos. De esta forma, se podrá verificar el cumplimiento de una serie de factores que permitan corroborar los resultados obtenidos.

Con el objetivo de poder analizar de una forma más detallada los resultados obtenidos mediante las simulaciones a realizar, la planta industrial se separará en dos zonas diferentes en relación a las actividades realizadas en cada una de ellas. La zona 1, se corresponde a la zona productiva, mientras que la zona 2, consiste en el área de almacenamiento.

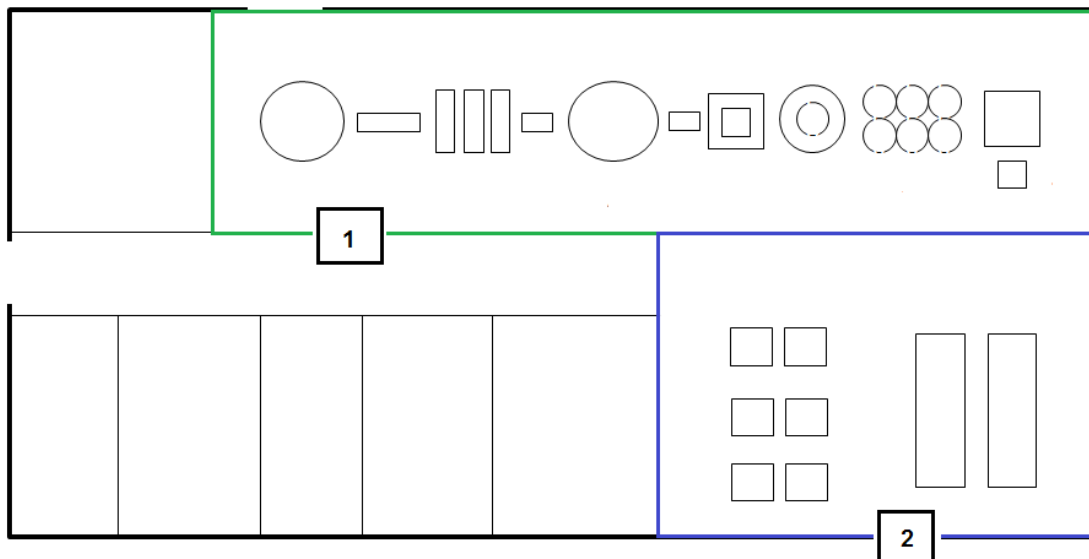


Figura 9. Zonas productivas de la planta industrial

Finalmente, se definirán algunos parámetros complementarios para poder ejecutar las simulaciones de una forma más completa y cercana a la realidad:

- **Ubicación de la planta**

Los datos relativos a la ubicación de la planta industrial son, tal y como se ha comentado anteriormente: $39^{\circ} 28' N$ y $0^{\circ}32' O$. Este valor es de vital importancia pues el programa necesita conocer la localización exacta de la planta industrial para poder determinar de una forma más concreta las necesidades lumínicas de la planta.

Por otro lado, es importante resaltar que la planta presenta su fachada frontal orientada al oeste.

- Planta

Algunos factores a tener en cuenta acerca de las características de la planta son:

Factor de degradación	0,5
Grado de reflexión paredes	70%
Grado de reflexión suelos	30%
Grado de reflexión techo	70%

Figura 10. Coeficientes de reflexión de paredes, suelos y techos

- Aberturas

En relación a las características de las aberturas que se van a implantar, destacan los siguientes parámetros fijados:

Grado de transmisión	50%
Factor de contaminación	0,5
Factor de división con travesaños	0,9

Figura 11. Características de las aberturas implementadas

También es importante resaltar que el programa utiliza el método de cielo cubierto a la hora de realizar los correspondientes cálculos. Ese método propone que en situaciones de cielo cubierto la intensidad lumínica es inferior a las condiciones de cielo despejado, por lo que empleando este método se obtienen resultados en condiciones más desfavorables, que permitirán simular las condiciones reales de las aberturas de la planta, ya que el material utilizado será policarbonato. Las aberturas implantadas con este material, debido a sus características y disposición, provocan una menor transmisión de la luz diurna. Es por ello que mediante la utilización del modelo de cielo cubierto, se podrán obtener unos resultados más acordes con la realidad del proyecto.

A continuación, se muestran las propuestas inicialmente planteadas para su posterior análisis en relación al establecimiento de las aberturas necesarias en la planta industrial de manera que se consigan unos adecuados niveles de iluminación en su interior:

Resultados propuesta 1

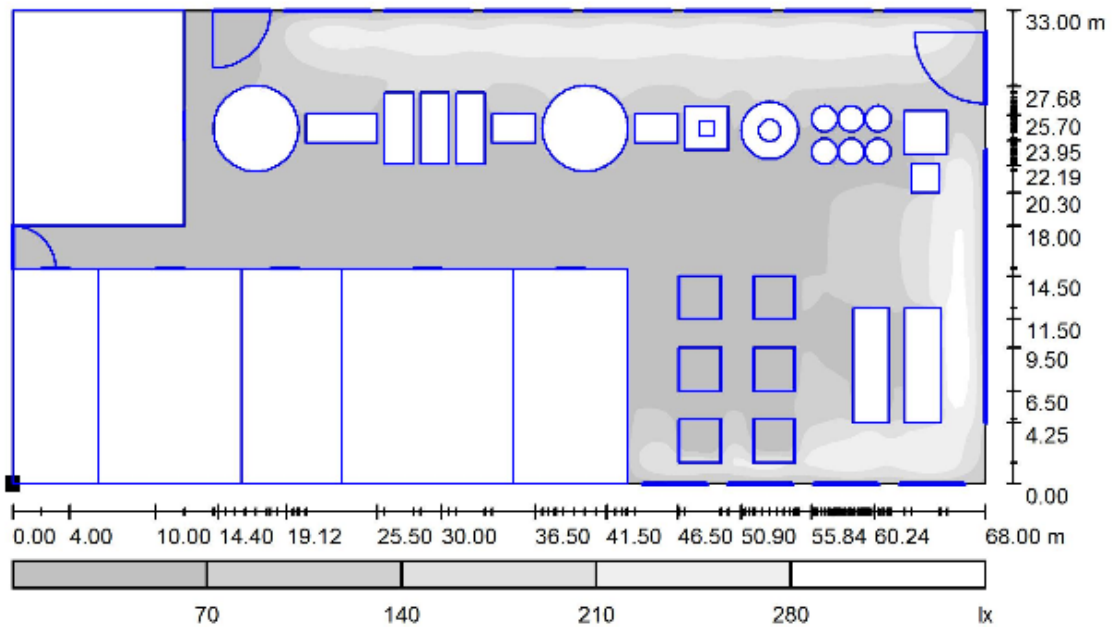


Figura 12. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 10:00h del día 10 de Diciembre

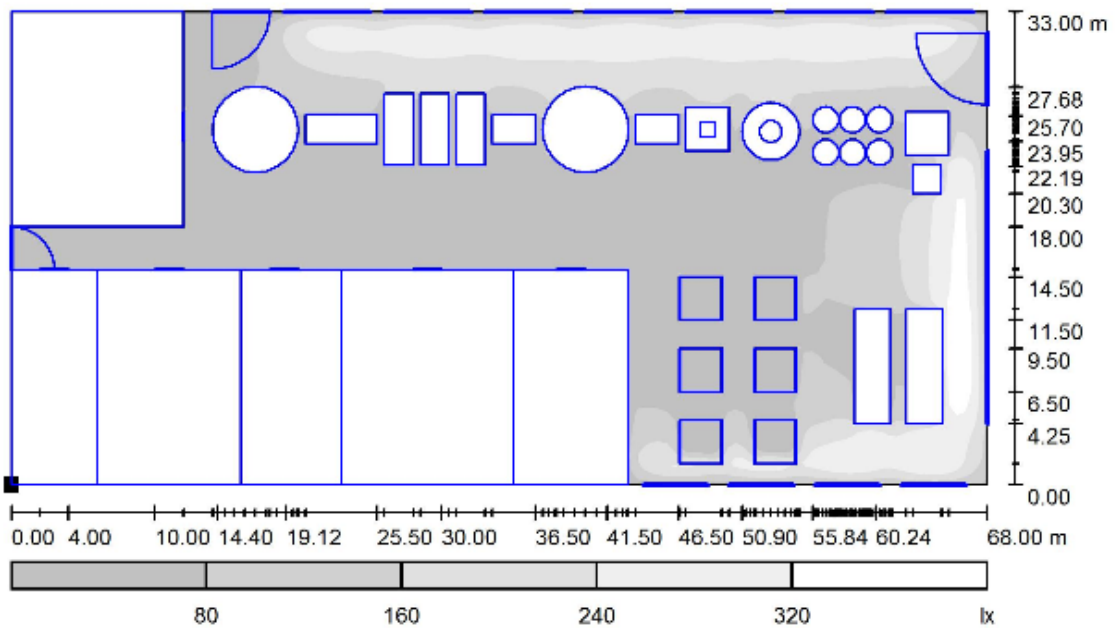


Figura 13. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11:00h del día 10 de Diciembre

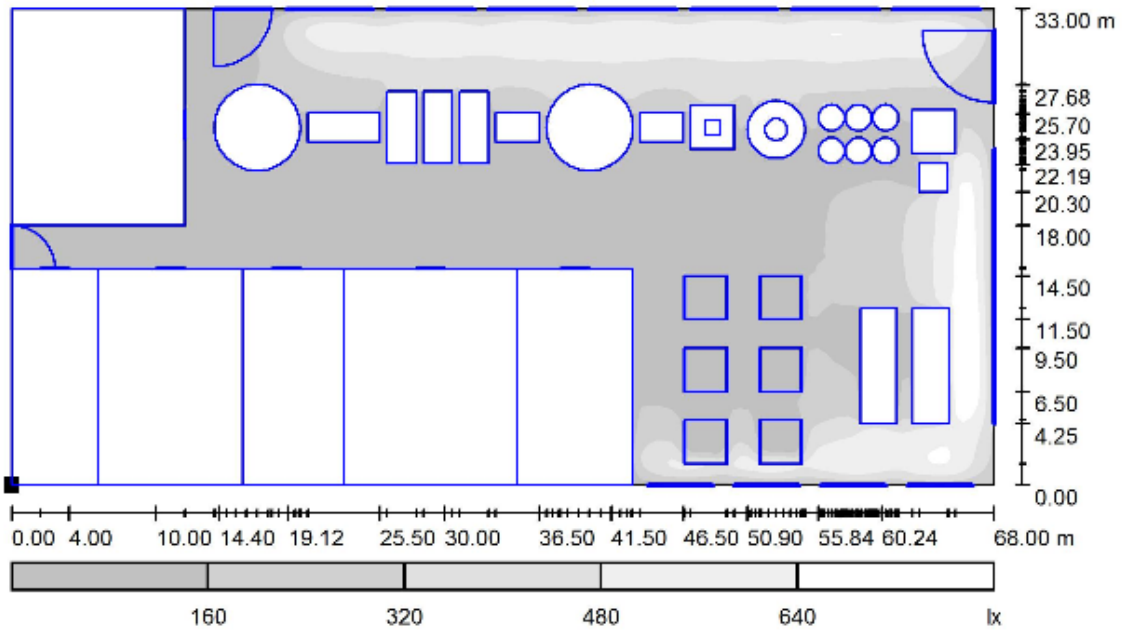


Figura 14. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de Junio

Se exponen los resultados obtenidos acerca de los principales parámetros a tener en cuenta para valorar los resultados obtenidos:

Época	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax	DESLUMBRAMIENTOS
Invierno 10.00	98	2,17	317	0,022	0,007	SI
Invierno 11.00	115	2,54	372	0,022	0,007	SI
Verano 12.00	238	5,27	771	0,022	0,007	SI

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

ZONA	ÉPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1. ZONA PRODUCTIVA	Invierno 10.00	109,213	10,000	283,000	0,092	0,035
	Invierno 11.00	127,062	10,000	332,000	0,079	0,030
	Verano 12.00	260,344	19,000	691,000	0,073	0,027
2. ZONA DE ALMACENAMIENTO	Invierno 10.00	107,041	110,000	317,000	1,028	0,347
	Invierno 11.00	124,911	25,000	372,000	0,200	0,067
	Verano 12.00	257,576	25,000	771,000	0,097	0,032

Tabla 7. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 1

Resultados propuesta 2

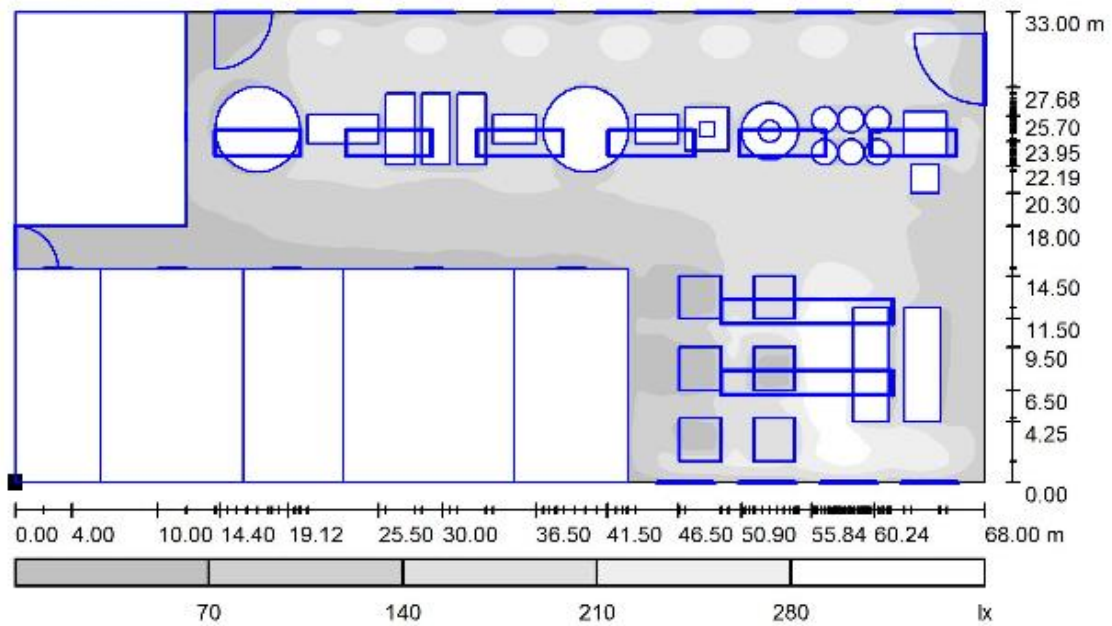


Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 10:00h del día 10 de Diciembre

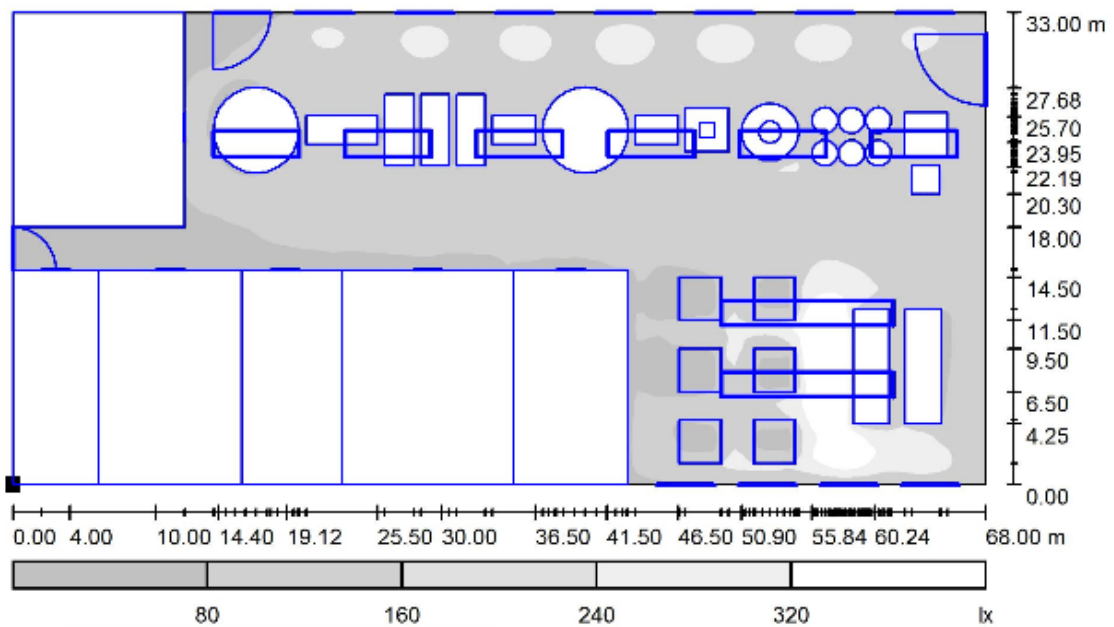


Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11:00h del día 10 de Diciembre

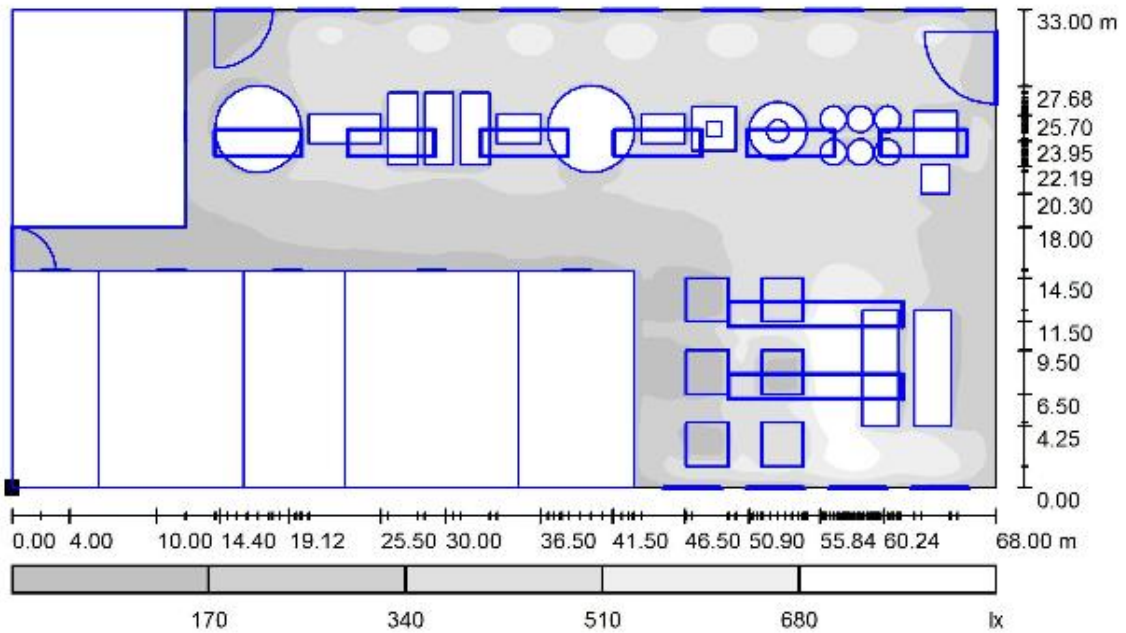


Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de Diciembre

A continuación se exponen los resultados obtenidos acerca de los principales parámetros a tener en cuenta para valorar los resultados obtenidos:

Época	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax	DESLUMBRAMIENTOS
Invierno 10.00	140	4,86	344	0,035	0,014	SI
Invierno 11.00	165	5,7	403	0,035	0,014	SI
Verano 12.00	341	12	836	0,035	0,014	SI

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

ZONA	ÉPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1. ZONA PRODUCTIVA	Invierno 10.00	152,160	24,000	247,000	0,158	0,097
	Invierno 11.00	178,441	28,000	289,000	0,157	0,097
	Verano 12.00	369,824	59,000	600,000	0,160	0,098
2. ZONA DE ALMACENAMIENTO	Invierno 10.00	150,073	27,000	344,000	0,180	0,078
	Invierno 11.00	175,378	31,000	403,000	0,177	0,077
	Verano 12.00	363,484	65,000	836,000	0,179	0,078

Tabla 9. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 2

Resultados propuesta 3

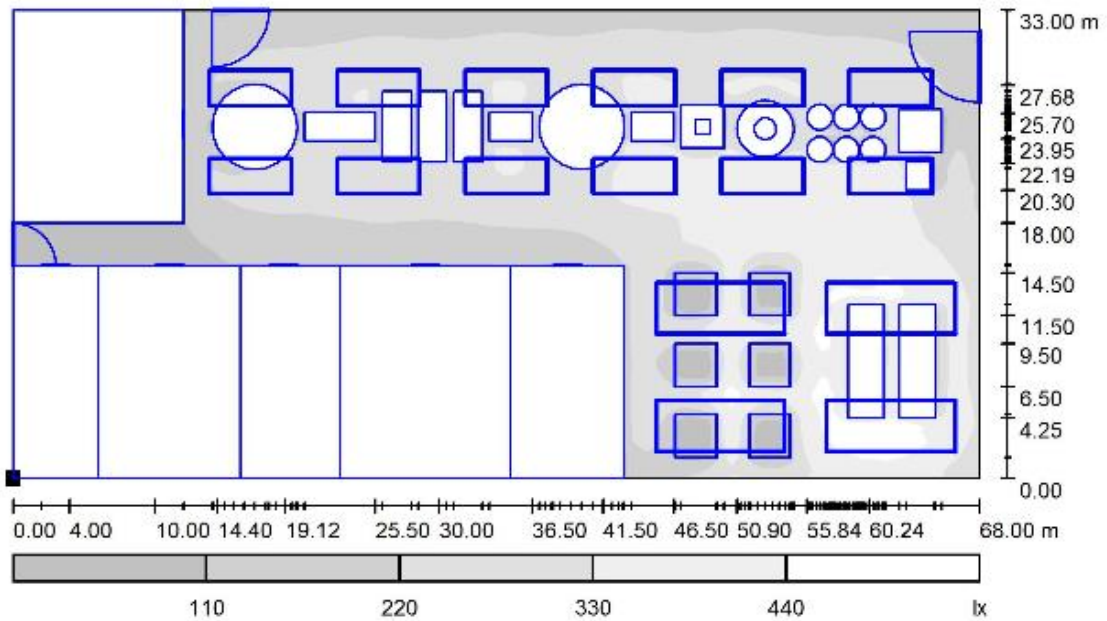


Figura 18. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 10:00h del día 10 de Diciembre

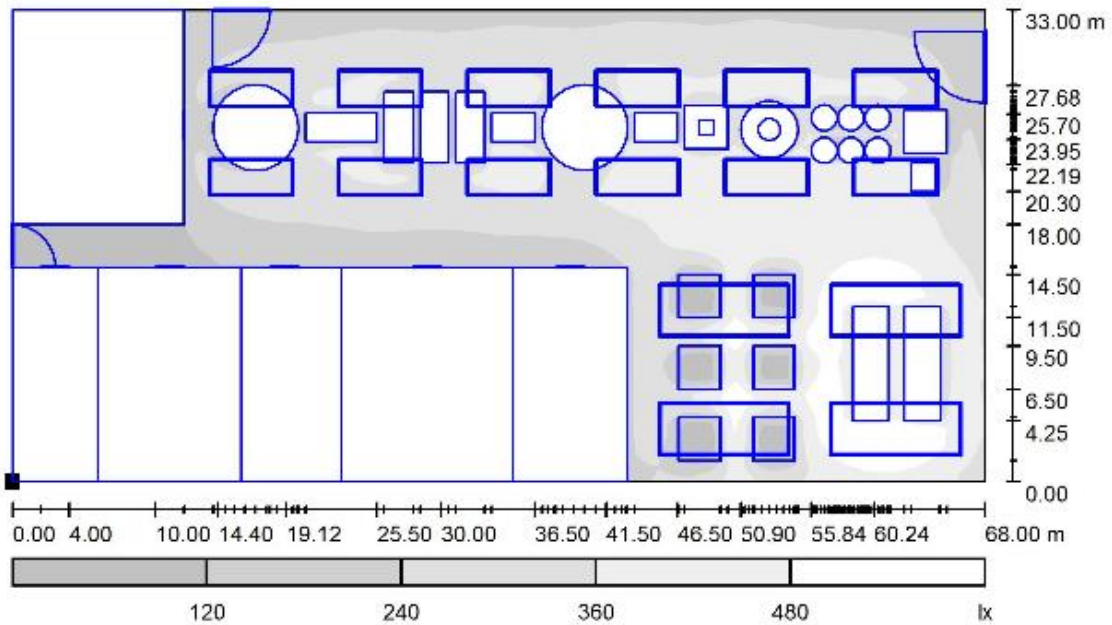


Figura 19. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11:00h del día 10 de Diciembre

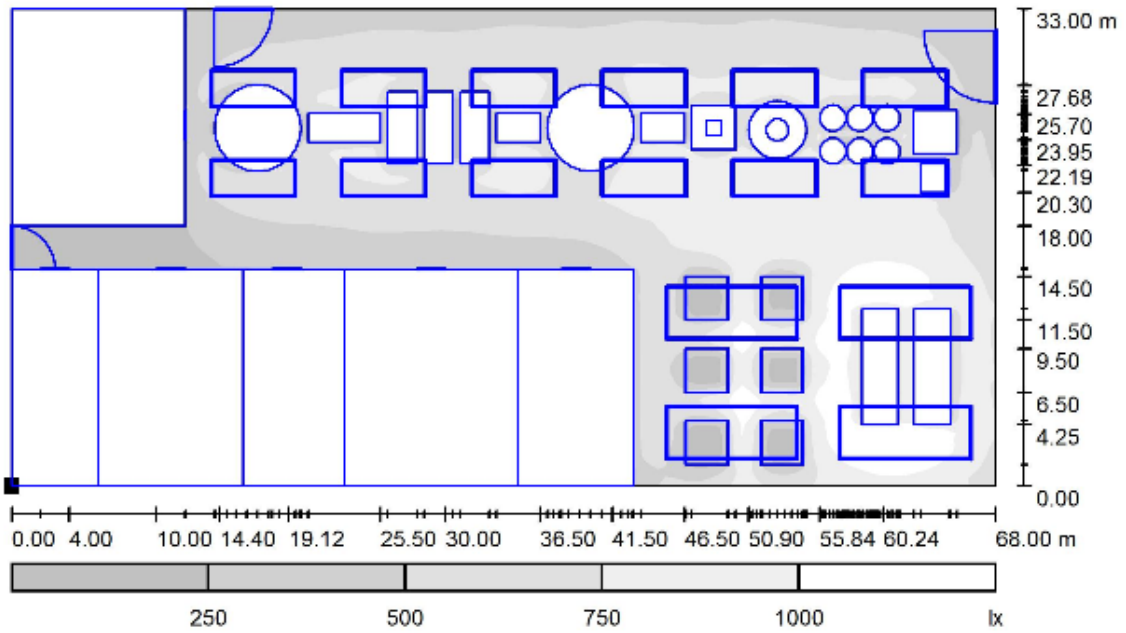


Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de Junio

A continuación se exponen los resultados obtenidos acerca de los principales parámetros a tener en cuenta para valorar los resultados obtenidos:

Época	$E_m(lx)$	$E_{min}(lx)$	$E_{max}(lx)$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}	DESLUMBRAMIENTOS
Invierno 10.00	265	8,67	520	0,033	0,017	NO
Invierno 11.00	311	10	609	0,033	0,017	NO
Verano 12.00	644	21	1263	0,033	0,017	NO

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

ZONA	ÉPOCA	$E_m(lx)$	$E_{min}(lx)$	$E_{max}(lx)$	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
1. ZONA PRODUCTIVA	Invierno 10.00	265,538	73,000	401,000	0,275	0,182
	Invierno 11.00	311,409	85,000	470,000	0,273	0,181
	Verano 12.00	650,007	177,000	975,000	0,272	0,182
2. ZONA DE ALMACENAMIENTO	Invierno 10.00	309,885	46,000	520,000	0,148	0,088
	Invierno 11.00	363,411	54,000	609,000	0,149	0,089
	Verano 12.00	747,301	112,000	1263,000	0,150	0,089

Tabla 11. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 3

6.6 Selección de la propuesta más adecuada

Una vez presentadas y desarrolladas mediante el programa DIALux las propuestas planteadas para poder satisfacer las necesidades lumínicas de cada zona de trabajo de la planta industrial estudiada durante el presente proyecto, se va a realizar un análisis más exhaustivo con el objetivo de seleccionar la disposición más adecuada.

Para ello, se van a comparar los niveles medios de iluminación registrados mediante el sistema de iluminación natural con los valores obtenidos en relación a las necesidades de cada zona de la planta, así como otros parámetros relevantes como son la uniformidad y la presencia de deslumbramientos.

Seguidamente se muestra una tabla donde quedan reflejadas las necesidades y requisitos establecidos para poder alcanzar las especificaciones lumínicas de la planta objeto del proyecto:

	Zona 1	Zona 2
Em (lux)	250	300
Deslumbramientos	NO	NO
Uniformidad	0.3-0.4	0.3-0.4

Tabla 12. Parámetros a cumplir por los sistemas de iluminación

A continuación, se va a realizar el correspondiente análisis de cada una de las propuestas planteadas:

Propuesta 1 (Iluminación lateral)

- Iluminación media por zonas

Época	Zona	Em establecido (lux)	Em registrado (lux)	Cumple
INVIERNO 10.00	1	250	109,21	NO
	2	300	107,04	NO
INVIERNO 11.00	1	250	127,06	NO
	2	300	124,91	NO
VERANO 12.00	1	250	260,34	SI
	2	300	257,58	NO

Tabla 13. Resumen iluminación media por zonas propuesta 1

Tal y como se puede observar, para la propuesta 1 únicamente se alcanzan los valores de iluminación planteados en la época de verano para a zona 1, resultando los demás valores muy alejados de los valores buscados.

- Deslumbramientos

Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 10.00	1	SI
	2	SI
Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 11.00	1	SI
	2	SI
Época	Zona	Deslumbramientos
VERANO 12.00	1	SI
	2	SI

Tabla 14. Resumen deslumbramientos propuesta 1

Existen deslumbramientos en todas las zonas estudiadas para las épocas del año planteadas.

- Uniformidad global de la iluminación

Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 10.00	1	0,3-0,4	0,09	NO
	2	0,3-0,4	0,06	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 11.00	1	0,3-0,4	0,08	NO
	2	0,3-0,4	0,20	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
VERANO 12.00	1	0,3-0,4	0,07	NO
	2	0,3-0,4	0,10	NO

Tabla 15. Resumen uniformidad iluminación propuesta 1

En cuanto a la uniformidad existente, tal y como se muestra en la tabla anterior, en ninguno de los casos estudiados para esta propuesta, se consiguen los niveles planteados inicialmente.

A modo de resumen, cabe destacar que mediante el desarrollo de esta propuesta, consistente en la implementación de únicamente ventanales laterales en la planta estudiada, no se ha conseguido alcanzar los valores de iluminación deseados en ninguna zona productiva ni en ninguna época del año. Lo anteriormente comentado indica que esta solución no es válida para la planta objeto del proyecto, por lo que queda descartada.

Propuesta 2 (Iluminación mixta)

- Iluminación media por zonas

Época	Zona	Em establecido (lux)	Em registrado (lux)	Cumple
INVIERNO 10.00	1	250	152,16	NO
	2	300	150,07	NO
INVIERNO 11.00	1	250	178,44	NO
	2	300	175,38	NO
VERANO 12.00	1	250	369,82	SI
	2	300	363,48	SI

Tabla 16. Resumen iluminación media por zonas propuesta 2

Únicamente se cumplen los requisitos de iluminación media en la época de mayor incidencia solar, es decir, el 21 de Junio a las 12.00, no alcanzando dichos valores en las demás épocas del año.

- Deslumbramientos

Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 10.00	1	SI
	2	SI
Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 11.00	1	SI
	2	SI
Época	Zona	Deslumbramientos
VERANO 12.00	1	SI
	2	SI

Tabla 17. Resumen deslumbramientos propuesta 2

En este caso, al igual que en la propuesta 1 debido a la existencia de ventanales laterales, existen deslumbramientos en todas las épocas estudiadas.

- Uniformidad global de la iluminación

Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 10.00	1	0,3-0,4	0,10	NO
	2	0,3-0,4	0,18	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 11.00	1	0,3-0,4	0,16	NO
	2	0,3-0,4	0,18	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
VERANO 12.00	1	0,3-0,4	0,16	NO
	2	0,3-0,4	0,18	NO

Tabla 18. Resumen uniformidad iluminación propuesta 2

No se cumplen los valores de uniformidad buscados en ninguna de las propuestas desarrolladas.

Tras realizar el análisis de los resultados obtenidos para la propuesta 2, la cual consiste en un sistema de iluminación mixta mediante la instalación de ventanales laterales y lucernarios, los resultados obtenidos indican que no es una opción válida para el sistema productivo estudiado. La presencia de ventanales en las fachadas laterales provoca deslumbramientos, poniendo en riesgo la seguridad y calidad del trabajo realizado en la planta. Además, no se han conseguido alcanzar los valores de iluminación media ni de uniformidad buscados, por lo que la propuesta 2 desarrollada queda descartada.

Propuesta 3 (Iluminación cenital)

- Iluminación media por zonas

Época	Zona	Em establecido (lux)	Em registrado (lux)	Cumple
INVIERNO 10.00	1	250	265,54	SI
	2	300	309,88	SI
INVIERNO 11.00	1	250	311,41	SI
	2	300	363,41	SI
VERANO 12.00	1	250	363,41	SI
	2	300	747,30	SI

Tabla 19. Resumen iluminación media por zonas propuesta 3

Mediante esta propuesta, se consiguen los valores medios de iluminación en todas las zonas productivas de la planta en todas las épocas estudiadas.

Deslumbramientos

Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 10.00	1	NO
	2	NO
Época	Zona	Deslumbramientos
INVIERNO 11.00	1	NO
	2	NO
Época	Zona	Deslumbramientos
VERANO 12.00	1	NO
	2	NO

Tabla 20. Resumen deslumbramientos propuesta 3

Debido a que esta propuesta se trata únicamente de la colocación de lucernarios tendidos, y las alturas a las que éstos se encuentran son elevadas, no existe la posibilidad de la existencia de deslumbramientos.

- Uniformidad global de la iluminación

Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 10.00	1	0,3-0,4	0,18	NO
	2	0,3-0,4	0,09	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
INVIERNO 11.00	1	0,3-0,4	0,18	NO
	2	0,3-0,4	0,09	NO
Época	Zona	Uniformidad establecida	Uniformidad registrada	Cumple
VERANO 12.00	1	0,3-0,4	0,27	NO
	2	0,3-0,4	0,15	NO

Tabla 21. Resumen uniformidad iluminación propuesta 3

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación por zonas, cabe destacar que aunque no se consiguen los valores planteados, éstos se acercan mucho más que en las anteriores propuestas.

A modo de conclusión, destacar que mediante esta propuesta se han conseguido obtener los valores de iluminación media propuestos para cada zona productiva, en las diferentes épocas del año estudiadas. En cuanto a la presencia de deslumbramientos, debido a la existencia únicamente de lucernarios tendidos, no se han registrado para ninguna situación analizada. Por último, no se han conseguido alcanzar los valores de uniformidad planteados,

aunque sin embargo los valores obtenidos son mucho más próximos a los valores establecidos que las anteriores propuestas.

Es por ello que la **propuesta 3**, ha sido la seleccionada como la más adecuada para implantar en la planta productiva objeto del proyecto, ya que ha sido la que mejores valores de iluminación media ha presentado, así como la única que ha permitido no experimentar deslumbramientos en el plano de trabajo. El objetivo que se debe mejorar, es la consecución de unos adecuados niveles de uniformidad de la iluminación.

6.7 Desarrollo de la propuesta seleccionada

Al analizar los resultados obtenidos en relación a cada una de las disposiciones de abertura planteadas para alcanzar un eficiente sistema de iluminación natural (iluminación lateral, mixta y cenital) en la almazara estudiada, se ha optado por un sistema de iluminación cenital, basado en la implementación de lucernarios tendidos en cubierta.

La elección de este sistema se ha realizado en base a los resultados obtenidos, ya que esta disposición es la única que permitía alcanzar los valores medios de iluminación buscados en las diferentes zonas productivas de la planta, en todas las épocas del año analizadas. Adicionalmente, al estar los lucernarios a una altura tan elevada, el riesgo de deslumbramientos es mínimo, motivo por el cual esta propuesta mejoraba sustancialmente a las demás.

Sin embargo, en relación a la consecución de una correcta uniformidad lumínica, la disposición propuesta no permitía alcanzar los valores propuestos inicialmente, por lo que se ha considerado la posibilidad de optimizarla variando algunos parámetros con el objetivo de obtenerlos finalmente.

Es por ello que se ha propuesto, con la finalidad de conseguir los comentados valores de uniformidad, ampliar la localización de los lucernarios, cubriendo toda la superficie de la planta. De esta manera, se espera poder ampliar la zona iluminada, de forma la uniformidad de la iluminación aumente considerablemente.

Cabe destacar que la disposición planteada en este desarrollo presentará simetría en la distancia entre los lucernarios, con el objetivo de obtener una iluminación mayor, además de dotar de una mayor flexibilidad a la planta productiva estudiada. De esta forma, aunque el estudio se ha realizado considerando que es una almazara de aceite de oliva, si en un futuro

cambiara su disposición o su sistema productivo, se podrían aprovechar los lucernarios existentes.

Por último, se ha considerado varia el grado de reflexión de los lucernarios implantados, concretamente de un 50% a un 45%, con el objetivo de optimizar su uso y rendimiento.

En relación al análisis realizar, es importante señalar que para el estudio, se ha añadido una tercera zona a tener en cuenta en la interpretación de resultados, concretamente la zona de paso. Es por ello, que las zonas que se estudiarán serán:

- 1: Zona productiva
- 2: Zona de almacenamiento
- 3: Zona de paso

La ubicación de cada una de las zonas anteriormente comentadas se muestra a continuación:

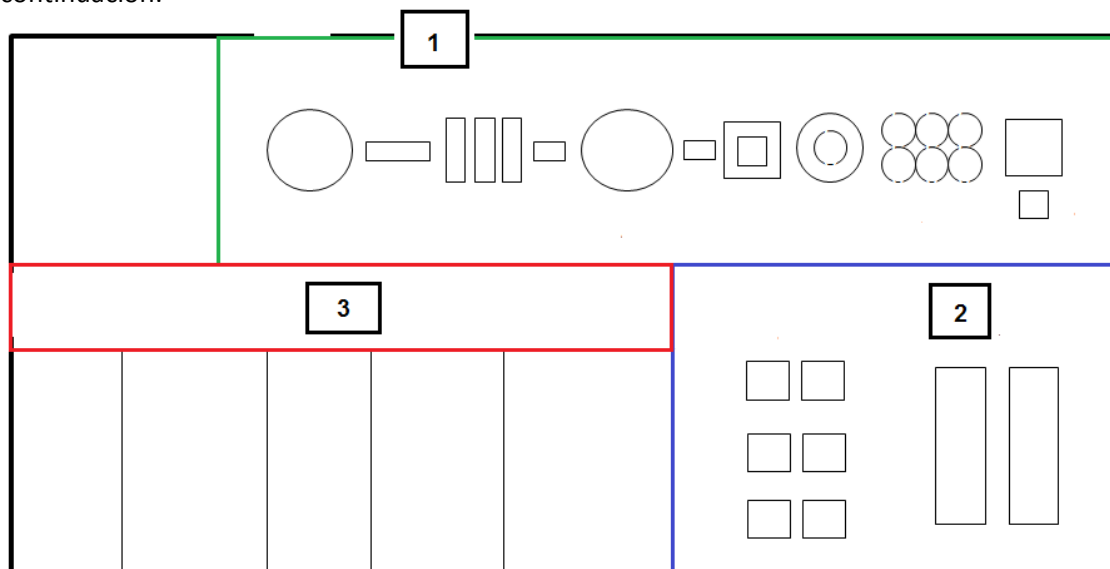


Figura 21. Zonas estudiadas propuesta desarrollada

Seguidamente se muestra la nueva disposición de los lucernarios implementados para alcanzar los niveles de iluminación buscados. En el **ANEXO 1** se muestran las dimensiones reales de los mismos, así como su ubicación en la planta. Cabe destacar las dimensiones de éstos:

- 6 lucernarios de dimensiones 4.2x12.8 metros situados en la cubierta con orientación norte.

- 6 lucernarios de dimensiones 4.2x12.8 metros situados en la cubierta con orientación sur.

En total, la nueva propuesta planteada consta de una superficie total de lucernarios de **645,12 m²**.

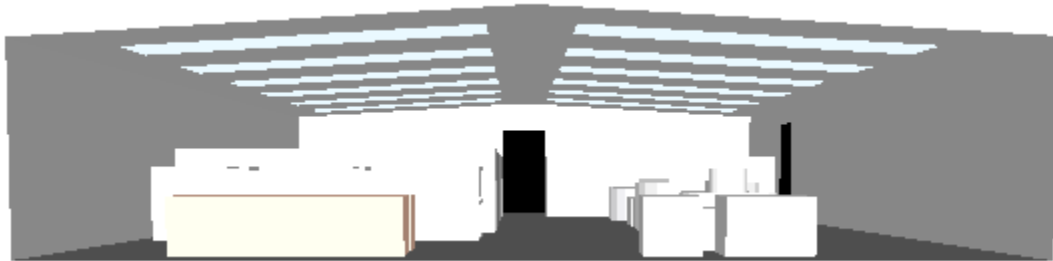


Figura 22. Ubicación aberturas propuesta seleccionada

Los resultados obtenidos para esta nueva propuesta mediante la utilización del software DIALux son:

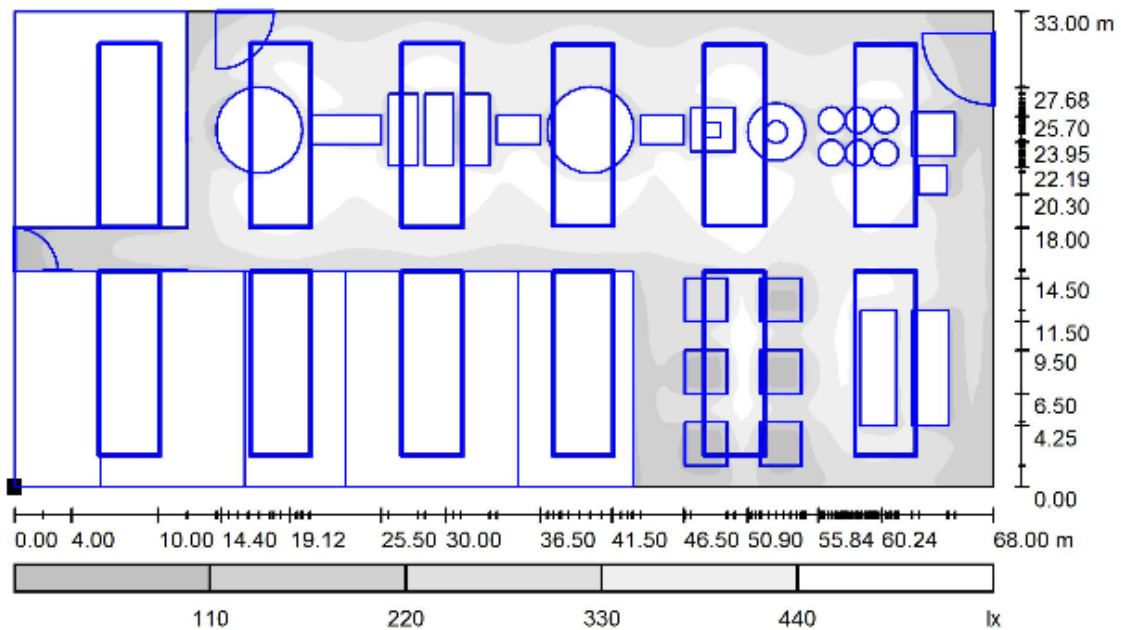


Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 10:00h del día 10 de Diciembre

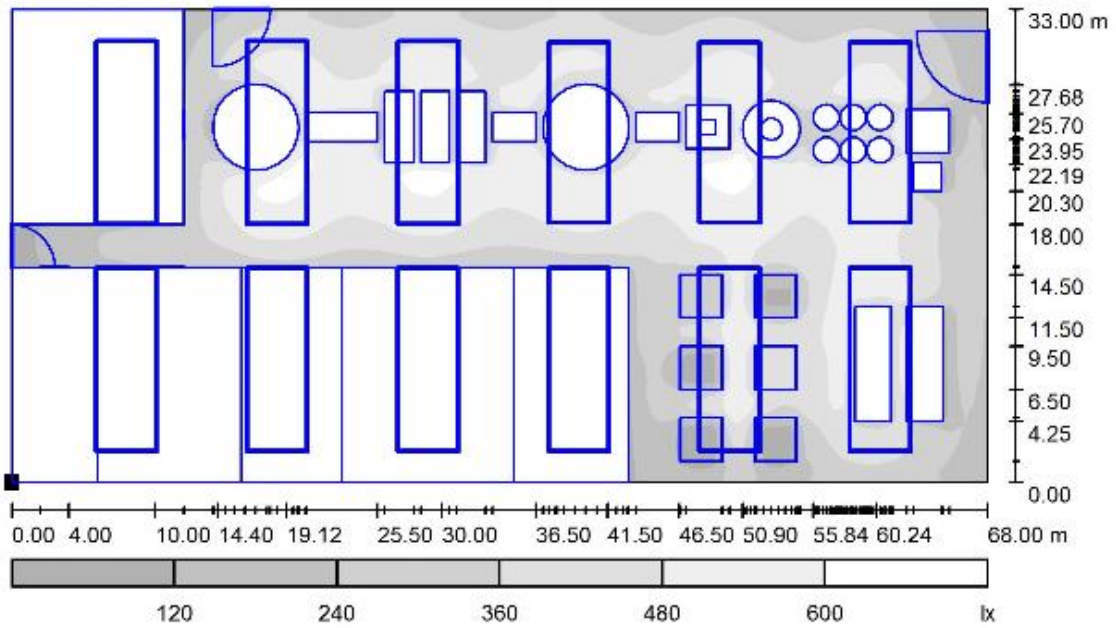


Figura 24. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 11:00h del día 10 de Diciembre

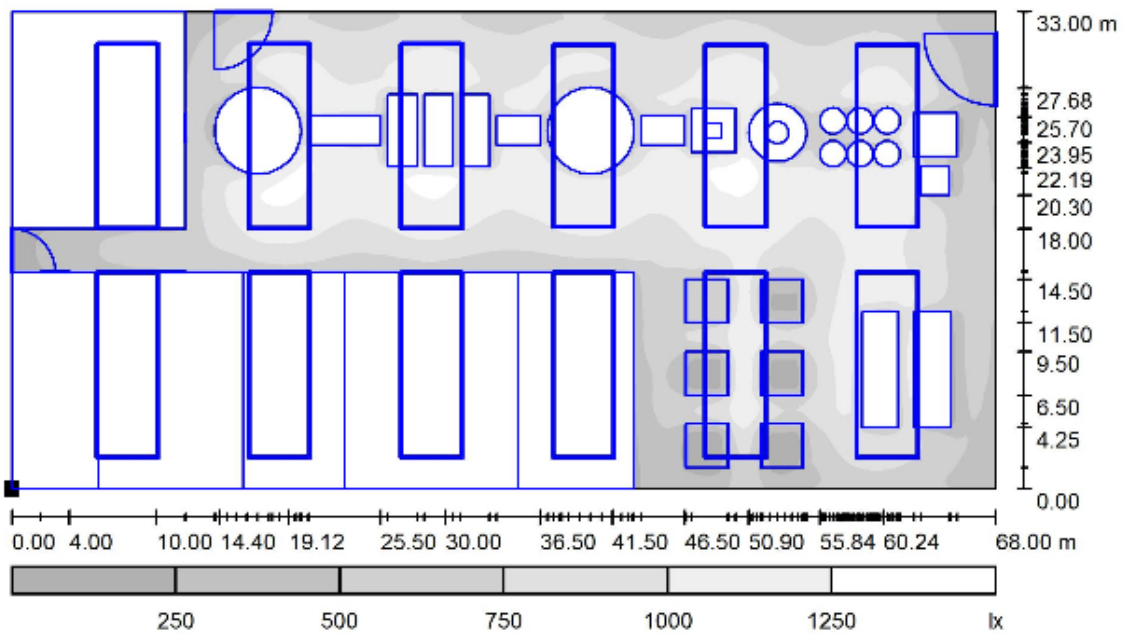


Figura 25. Resultados en gama de grises para la propuesta desarrollada a las 12:00h del día 23 de Junio

A continuación se exponen los resultados obtenidos acerca de los principales parámetros a tener en cuenta para valorar los resultados obtenidos:

Época	Em(lx)	Emin(lx)	E _{max} (lx)	Emin/Em	Emin/E _{max}	DESLUMBRAMIENTOS
Invierno 10.00	334	96	550	0.133	0.081	NO
Invierno 11.00	391	102	644	0.133	0.081	NO
Verano 12.00	811	108	1036	0.133	0.081	NO

Tabla 22. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta desarrollada

ZONA	ÉPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	E _{max} (lx)	Emin/Em	Emin/E _{max}
1. ZONA PRODUCTIVA	Invierno 10.00	377,940	86,000	550,000	0,228	0,156
	Invierno 11.00	440,413	98,000	644,000	0,223	0,152
	Verano 12.00	919,242	187,000	1036,000	0,203	0,181
2. ZONA DE ALMACENAMIENTO	Invierno 10.00	278,657	96,000	535,000	0,345	0,179
	Invierno 11.00	324,445	102,000	535,000	0,314	0,191
	Verano 12.00	674,635	159,000	989,000	0,236	0,161
3. ZONA DE PASO	Invierno 10.00	212,512	88,000	425,000	0,414	0,207
	Invierno 11.00	279,313	101,000	508,000	0,362	0,199
	Verano 12.00	321,250	153,000	825,000	0,476	0,185

Tabla 23. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta desarrollada

Mediante la optimización de las propuestas realizadas, se han conseguido obtener unos valores de uniformidad considerablemente mejores que los obtenidos mediante cualquiera de las propuestas anteriormente desarrolladas. Debido a la diafanidad del espacio de la nave industrial, se podrá lograr una buena adaptación del ojo humano, garantizando las condiciones de trabajo en la planta. Cabe destacar que en ninguno de los casos estudiados se han alcanzados niveles de iluminación mayores de 2000 luxes, otro de los requisitos establecidos para el presente proyecto.

6.8 Iluminación artificial

En este apartado, se va a realizar una aproximación del sistema de iluminación artificial existente en la planta industrial objeto del presente proyecto, utilizando el programa DIALUX LIGHT especializado en iluminación artificial.

Es importante resaltar que únicamente un sistema de iluminación natural no es adecuado para iluminar una planta industrial, ya que la luz solar depende de la época del año y el momento del día, así como de la meteorología cambiante. Es por ello que, para poder asegurar unas condiciones óptimas de trabajo dentro del local, será necesario tener en cuenta la iluminación artificial mediante la utilización de luminarias.

La iluminación artificial que se encuentra en la planta está formada por un total de 48 luminarias, ubicadas uniformemente a lo largo de toda la planta. Concretamente, las luminarias existentes son del modelo PHILIPS HPK450 1xHPL-N400W M-D450, con una

potencia de 480 W cada una. Las características de este modelo de luminaria se encuentran en el **ANEXO 2**.

La elección de dicho tipo de luminaria es debido a que presenta iluminación directa orientando el flujo luminoso directo, disminuyendo de esta manera la luz reflejada por las paredes, techo y demás superficies existentes en la planta, y mejorando notablemente la eficiencia de la instalación.

A continuación se muestra la distribución de las luminarias en la planta industrial.

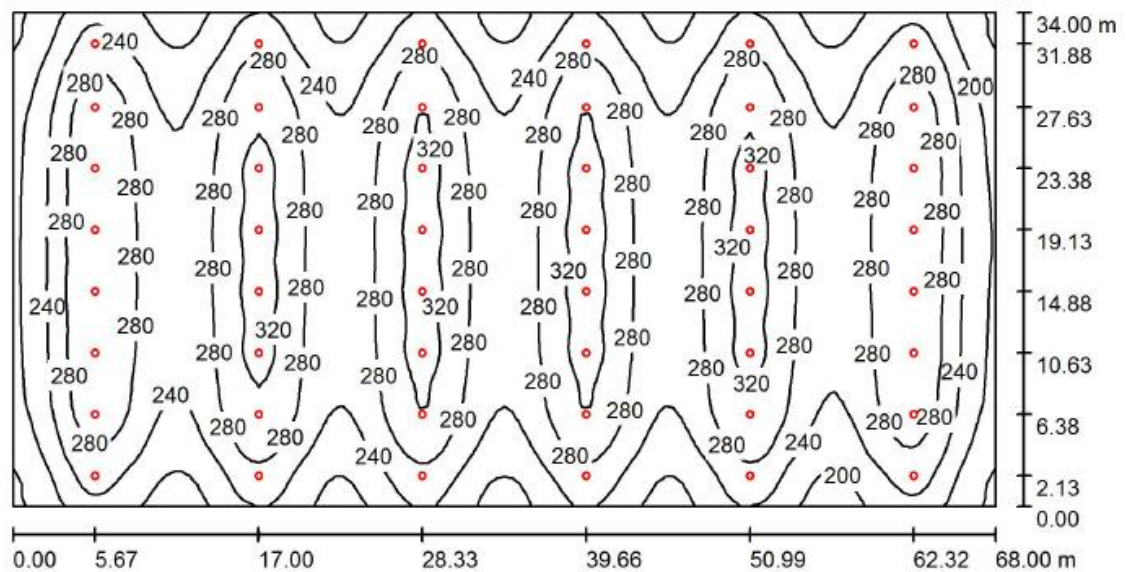


Figura 27. Distribución de las luminarias en el sistema de iluminación artificial de la planta

En la siguiente tabla, se muestran los valores de eficiencia energética obtenidos mediante el anteriormente comentado sistema de iluminación artificial.

Superficie (m ²)	Em (lux)	Potencia total	VEEI (((W/m ²)/100 lux))
2244	264	20.448	1,307

Tabla 24. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial

6.9 Eficiencia energética del sistema de iluminación

Tal y como se ha comentado, y a pesar del objetivo propuesto de aprovechar la luz natural al máximo mediante sistemas de iluminación natural, en la realidad esta situación es inviable, ya que mediante únicamente el empleo de un sistema de iluminación natural no será suficiente para alcanzar las necesidades lumínicas de la planta a lo largo de la jornada laboral.

Debido a lo comentado anteriormente, será necesario establecer un sistema de iluminación mixto, en el cual se puedan combinar el sistema natural y artificial de manera que se obtengan los valores de iluminación necesarios en cada zona a lo largo de la jornada laboral. Además, será imprescindible obtener un valor de eficiencia energética adecuado.

Es por ello que se van a proponer tres supuestos, con diferentes combinaciones de iluminación natural y mixta, con el objetivo de comprobar si la eficiencia energética del sistema aumenta cuanto mayor es el porcentaje de iluminación natural, y disminuye cuanto menor es el mismo. Se realizará una comparación de dichos supuestos en base al valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) obtenido. Cabe destacar que en los casos en los que exista iluminación natural, la iluminación media considerada no será la proporcionada por dichas luminarias, sino el valor medio obtenido para la planta.

Así pues, las combinaciones propuestas son:

- 100% Iluminación artificial
- 40% Iluminación artificial y 60% Iluminación natural
- 10% Iluminación artificial y 90% Iluminación natural

Los resultados obtenidos para cada uno de los supuestos son:

- 100% Iluminación artificial

Superficie (m ²)	Em (lux)	Potencia total	VEEI (((W/m ²)/100 lux))
2244	264	20.448	1,307

Tabla 25. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial

- 40% Iluminación artificial y 60% Iluminación natural

Superficie (m ²)	Em (lux)	Potencia total	VEEI (((W/m ²)/100 lux))
2244	252,22	8.180	0,573

Tabla 26. Eficiencia energética del sistema mixto 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural

- 10% Iluminación artificial y 90% Iluminación natural

Superficie (m2)	Em (lux)	Potencia total	VEEI (((W/m2)/100 lux))
2244	252,22	2.045	0,143

Tabla 27. Eficiencia energética del sistema mixto 10% iluminación artificial + 90% iluminación natural

Tal y como cabía esperar, el valor de eficacia eléctrica en iluminación disminuye cuanto mayor porcentaje de iluminación natural existe, por lo que un sistema de iluminación mixto que presente mayor porcentaje de iluminación natural, será más eficiente y económico.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Seguidamente, se va a llevar a cabo el correspondiente estudio económico con el objetivo de comprobar la viabilidad de la inversión correspondiente a la implementación del sistema de iluminación natural estudiado durante el presente proyecto.

El objetivo de la realización de dicho análisis es el de analizar los beneficios económicos derivados de la instalación de los lucernarios en la planta, en comparación con el coste derivado de la utilización de energía eléctrica para iluminarla sin el aprovechamiento de la luz diurna que incide en la misma.

7.1 Coste instalación sistema de iluminación natural

La obtención del presupuesto necesario para instalar los lucernarios que permitan iluminar eficientemente la planta estudiada durante el presente proyecto, se ha realizado consultando la base de datos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) del 2015 así como diferentes catálogos de servicios de empresas de construcción del sector. El presupuesto con los correspondientes cuadros de precios descompuestos, de mediciones y de precios parciales de todos los presupuestos desarrollados durante el presente proyecto se muestran en el **ANEXO 3**.

A modo de resumen se muestra el cuadro de precios parciales con el cual se va a llevar a cabo el presupuesto total de la actuación:

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Realización del Hueco	4.706,70 €	
01.02	Colocación Carpintería	6.799,21 €	
01.03	Colocación Paneles	11.434,98 €	
01.04	Soldado	5.170,61 €	
			28.111,51 €

Tabla 28. Cuadro de precios parciales

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) asciende, tal y como se observa, a 52.789,32 €. El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) es la suma del PEM, de los Gastos Generales (se asume un valor del 13% del PEM) y del Beneficio Industrial (estimado en este caso como el 6% el PEM).

Finalmente, para calcular el Presupuesto Total se utilizará un valor de IVA del 21%.

En la siguiente tabla se resume el valor de los presupuestos anteriormente comentados.

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)	28.111,51 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	48.632,91 €
PRESUPUESTO TOTAL	58.845,82 €

Tabla 29. Presupuesto final de la instalación del sistema de iluminación natural

7.2 Balance económico

En este apartado se analizarán los costes anuales derivados de la utilización de únicamente el sistema de iluminación artificial implantado en la planta industrial, en comparación con la utilización de un sistema de iluminación mixto en el cual se instalen los lucernarios necesarios para obtener los niveles de iluminación requeridos en la misma.

Para poder realizar correctamente este análisis, se calculará la potencia eléctrica derivada de la utilización de las luminarias necesaria en cada caso, así como el presupuesto relacionado con la colocación de las mismas y el relacionado con el mantenimiento de los elementos que corresponden al sistema de iluminación natural, es decir, los lucernarios.

En primer lugar, se muestra la potencia total demandada por la planta estudiada, con el objetivo de poder establecer una tarifa eléctrica con la cual poder realizar los cálculos pertinentes acerca del coste eléctrico derivado del uso de las luminarias.

De esta manera, la potencia demandada por los elementos del sistema productivo que demandan energía eléctrica, la totalidad de luminarias existentes y las tomas de corrientes es:

Nombre	Unidades	kW/unidad	KW
Tolva de recepción	1	5,50	5,50
Cinta transportadora	3	3,40	10,20
Limpiadora	1	6,30	6,30
Lavadora	1	6,20	6,20
Secadora	1	2,45	2,45
Báscula	1	4,20	4,20
Tolva de espera	1	3,60	3,60
Molino	1	4,80	4,80
Centrífuga vertical	1	6,20	6,20
Centrífuga horizontal	1	8,25	8,25
Batidora	1	6,50	6,50
Empaquetadora	1	5,60	5,60
Embotelladora	1	3,75	3,75
Bombas	3	4,25	12,75
Filtro	1	1,50	1,50
Decánter	1	20,00	20,00
Luminarias	48	0,43	20,45
Tomas de corriente	24	3,68	88,32
Tomas de corriente trifásica	3	10,00	30,00
Total			246,57

Tabla 30. Potencia demandada por la planta

Tal y como se puede observar, la planta industrial estudiada demanda una potencia total de 246,57 kW. Es por ello, que la tarifa eléctrica que requiere se corresponde con la tarifa 3.1 A. Esta tarifa presenta un sistema de discriminación horaria de 3 periodos diferentes: valle, llano y punta. A continuación se presenta una tabla donde se puede observar esta distribución horaria por meses y hora:

DISCRIMINACIÓN HORARIA TARIFA 3.1A													
3.1A	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	3.1A
00h - 01h	PERIODO P3 VALLE												00h - 01h
01h - 02h													00h - 02h
02h - 03h													02h - 03h
03h - 04h													03h - 04h
04h - 05h													04h - 05h
05h - 06h													05h - 06h
06h - 07h													06h - 07h
07h - 08h													07h - 08h
08h - 09h	PERIODO P2 LLANO										08h - 10h	PERIODO P2 LLANO	
09h - 10h	PERIODO P2 LLANO	PERIODO P1 PUNTA										PERIODO P2 LLANO	
10h - 11h		10h - 11h											
11h - 12h		11h - 12h											
12h - 13h		12h - 13h											
13h - 14h		13h - 14h											
14h - 15h		14h - 15h											
15h - 16h		15h - 16h											
16h - 17h		16h - 17h											
17h - 18h	PERIODO P2 LLANO										PERIODO P1 PUNTA		
18h - 19h	PERIODO P1 PUNTA	PERIODO P2 LLANO										PERIODO P1 PUNTA	
19h - 20h		17h - 23h											
20h - 21h		17h - 23h											
21h - 22h		17h - 23h											
22h - 23h		17h - 23h											
23h - 24h		17h - 23h											
Invierno			Verano									Invierno	
*Los cambios de horario de Invierno a Verano y viceversa coincidirán con la fecha del cambio oficial de hora.													
3.1A	Sábados, Domingos y Festivos Nacionales												3.1A
00h-18h	PERIODO P3 VALLE										00h-18h		
18h-24h	PERIODO P2 LLANO										18h-24h		

Figura 28. Discriminación horaria tarifa eléctrica 3.1 A

Por último, los términos de potencia y energía relacionados con esta tarifa son:

Término de potencia:

- P1: 0,22925 €/kW día
- P2: 0,162119 €/kW día
- P3: 0,0099974 €/kW día

Término energía:

- P1: 0,093459 €/kW h
- P2: 0,083415 €/kW h
- P3: 0,05997 €/kW h

Antes de comenzar a realizar el análisis, cabe destacar que la almazara trabaja los meses de Marzo a Noviembre, es decir, los meses de campaña de recogida y procesamiento de la aceituna. En total, trabaja aproximadamente unos 150 días al año, de lunes a sábado. Adicionalmente, cabe destacar que el horario laboral de dicha almazara es de 8.00 de la mañana hasta las 18.00 de la tarde, es decir, 10 horas diarias.

Seguidamente se procede a realizar el balance económico anteriormente comentado:

7.2.1 Iluminación artificial

Para el cálculo del coste anual relacionado con un sistema de iluminación 100% artificial, se calculará, por un lado, la factura anual de luz, así como el presupuesto de mantenimiento y renovación del sistema.

- Sistema 100% artificial

Término de potencia

$$TP (\text{€}) = \sum_i PT \cdot P_i \cdot N_i \quad (10)$$

Dónde:

- PT (kW): Potencia total de las luminarias instaladas en la planta.
- Pi (€/ (kW día)): Precio del periodo.
- Ni (día): Días de cada mes que se encuentren en el periodo i.
- i: Número del periodo

Es necesario recalcar que en este análisis únicamente se va a tener en cuenta la potencia demandada por las luminarias (20.45 kW), al ser el resto de elementos demandantes de electricidad comunes a todos los casos a estudiar. Es por ello, que el término de potencia de cada mes (de marzo a noviembre) es el siguiente:

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
Marzo	216,09 €
Abril	208,09 €
Mayo	216,09 €
Junio	208,09 €
Julio	216,09 €
Agosto	216,09 €
Septiembre	208,09 €
Octubre	216,09 €
Noviembre	208,09 €
TOTAL	1.912,84 €

Tabla 31. Término de potencia sistema de iluminación 100% artificial

Término de energía

$$TE (\text{€}) = \sum_{i=1}^6 E_i \cdot P_i \quad (11)$$

Dónde:

- E_i (kWh): Energía eléctrica correspondiente de periodo.
- P_i (€/ (kWh)): Precio de periodo
- i : Número de periodo

Teniendo en cuenta que el horario de trabajo es de 9.00 a 18.00, y se trabaja de lunes a sábado (sin contar festivos), los horarios de trabajo de cada periodo durante los meses de campaña son:

MES	HORAS P1	HORAS P2	HORAS P3
Marzo	1	9	
Abril	6	4	
Mayo	6	4	
Junio	6	4	
Julio	6	4	
Agosto	6	4	
Septiembre	6	4	
Octubre	6	4	
Noviembre	2	8	

Tabla 32. Horas de cada periodo de la tarifa 3.1 A

Una vez conocidas las horas de trabajo de cada periodo, se procede a calcular el coste relacionado con el término de energía por meses, utilizando la ecuación anteriormente comentada:

MES	TÉRMINO DE ENERGIA
Marzo	17,26 €
Abril	18,29 €
Mayo	18,29 €
Junio	18,29 €
Julio	18,29 €
Agosto	18,29 €
Septiembre	18,29 €
Octubre	18,29 €
Noviembre	17,47 €
TOTAL	162,77 €

Tabla 33. Término de energía sistema de iluminación 100% artificial

Seguidamente se calcula el impuesto eléctrico, es decir, un porcentaje de la suma total de los términos de potencia y energía eléctrica.

$$\text{Impuesto Eléctrico (€)} = TE \cdot 1,05113 \cdot 4,864\% \quad (12)$$

MES	TP+TE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
Marzo	233,36 €	119,31 €
Abril	226,38 €	115,74 €
Mayo	234,39 €	119,83 €
Junio	226,38 €	115,74 €
Julio	234,39 €	119,83 €
Agosto	234,39 €	119,83 €
Septiembre	226,38 €	115,74 €
Octubre	234,39 €	119,83 €
Noviembre	225,56 €	115,32 €
TOTAL	2.075,60 €	1.061,19 €

Tabla 34. Impuesto eléctrico sistema de iluminación 100% artificial

Es importante, para la realización de un correcto análisis económico, tener en cuenta el precio derivado del alquiler del equipo de medida (PAEM), el cual asciende a 36.70 €/mes.

Una vez determinados todos los parámetros a tener en cuenta, se procede al cálculo del impuesto del IVA:

$$IVA (€) = (TE + IE + PAEM) \cdot 0,21 \quad (13)$$

MES	TP+TE+ISE+PAE	IVA
Marzo	389,37 €	81,77 €
Abril	378,82 €	79,55 €
Mayo	390,92 €	82,09 €
Junio	378,82 €	79,55 €
Julio	390,92 €	82,09 €
Agosto	390,92 €	82,09 €
Septiembre	378,82 €	79,55 €
Octubre	390,92 €	82,09 €
Noviembre	377,58 €	79,29 €
TOTAL	3.467,09 €	728,09 €

Tabla 35. Impuesto del IVA sistema de iluminación 100% artificial

Por último, el importe total anual relacionado con la energía eléctrica demandada por la planta industrial es:

MES	TOTAL FACTURA ELÉCTRICA
Marzo	471,13 €
Abril	458,38 €
Mayo	473,01 €
Junio	458,38 €
Julio	473,01 €
Agosto	473,01 €
Septiembre	458,38 €
Octubre	473,01 €
Noviembre	456,87 €
TOTAL	4.195,18 €

Tabla 36. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 100% artificial

Presupuesto de mantenimiento y renovación

En cuanto a este apartado, en primer lugar, antes de proceder al análisis del presupuesto de mantenimiento y renovación de las luminarias, es imprescindible conocer la vida útil de las mismas. En el caso específico de nuestro proyecto, las luminarias son del modelo PHILIPS HPL450 1xHPL-N400W M-D450, las cuales poseen una vida útil de 15.000 horas. Teniendo en cuenta que las mismas están encendidas alrededor de 1.500 horas al año, su vida útil será de 10 años.

Una vez estimada la vida útil de las luminarias, el siguiente paso a realizar en este apartado consiste en el desarrollo del presupuesto de mantenimiento y renovación del comentado sistema de iluminación artificial.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	4.973,98 €	
			4.973,98 €

Tabla 37. Cuadro de precios parciales iluminación 100% artificial

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) asciende, tal y como se observa, a 4.973,98 €. El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) es la suma del PEM, de los Gastos Generales (se asume un valor del 13% del PEM) y del Beneficio Industrial (estimado en este caso como el 6% el PEM).

Finalmente, para calcular el Presupuesto Total se utilizará un valor de IVA del 21%.

Recaltar que el presupuesto total por año, consistirá en la división del presupuesto total entre los años de vida útil de las luminarias, es decir, 10 años.

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	4.973,98 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	8.604,99 €
PRESUPUESTO TOTAL	10.412,04 €
PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO	1.041,20 €

Tabla 38. Presupuesto total mantenimiento y renovación luminarias sistema 100% artificial

Gasto Anual en Iluminación

GASTO EN ELECTRICIDAD	4.195,18 €
GASTO RENOVACIÓN LUMINARIAS ANUAL	1.041,20 €
IMPORTE TOTAL	5.236,39 €

Tabla 39. Gasto anual sistema iluminación 100% artificial

7.2.2 Iluminación mixta

En este apartado se va a realizar el cálculo del presupuesto total relacionado con las instalaciones mixtas de iluminación planteadas en puntos anteriores. Para ello, primeramente se calculará el presupuesto de mantenimiento de los lucernarios, después la factura de luz anual teniendo en cuenta el porcentaje de luz artificial empleado, y finalmente el presupuesto de mantenimiento y renovación del sistema.

Presupuesto de Mantenimiento de los Lucernarios de la Planta

El presupuesto relacionado con el mantenimiento de los lucernarios, ya que los sistemas que se van a analizar se corresponden a sistemas de iluminación mixto, es necesario realizarlo para obtener una adecuada aproximación de los costes de los mismos.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Mantenimiento de lucernarios	4.093,12 €	
			4.093,12 €

Tabla 40. Cuadro de precios parciales mantenimiento de los lucernarios

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) es la suma del PEM, de los Gastos Generales (se asume un valor del 13% del PEM) y del Beneficio Industrial (estimado en este caso como el 6% el PEM).

Finalmente, para calcular el Presupuesto Total se utilizará un valor de IVA del 21%.

El cálculo del Presupuesto Total por Año se supondrá que el mantenimiento se realizará cada 5 años.

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	4.093,12 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	7.081,11 €
PRESUPUESTO TOTAL	8.568,14 €
PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO	1.713,63 €

Tabla 41. Presupuesto total por año mantenimiento lucernarios

Seguidamente, se va a llevar a cabo el análisis del presupuesto relacionado con los sistemas de iluminación mixtos en los cuales se combinen sistemas artificiales y naturales de iluminación.

40% iluminación artificial +60% iluminación natural

En este caso, la potencia demandada por las luminarias, es de 8,18 kW, al necesitar 20 en lugar de las 48 iniciales. Seguidamente se calcula, tal y como se ha procedido anteriormente, el coste anual de la factura eléctrica para este supuesto.

El término de potencia para el sistema de 40% iluminación artificial es:

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
Marzo	86,44 €
Abril	83,24 €
Mayo	86,44 €
Junio	83,24 €
Julio	86,44 €
Agosto	86,44 €
Septiembre	83,24 €
Octubre	86,44 €
Noviembre	83,24 €
TOTAL	765,13 €

Tabla 42. Término de potencia 40% iluminación artificial

Por otro lado, el término de energía se muestra a continuación:

MES	TÉRMINO DE ENERGIA
Marzo	6,91 €
Abril	7,32 €
Mayo	7,32 €
Junio	7,32 €
Julio	7,32 €
Agosto	7,32 €
Septiembre	7,32 €
Octubre	7,32 €
Noviembre	6,99 €
TOTAL	65,11 €

Tabla 43. Término de energía 40% iluminación artificial

Seguidamente, se muestran los resultados de los cálculos intermedios para obtener el valor total anual de la energía con el sistema estudiado en este caso.

MES	TP+TE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
Marzo	93,34 €	47,72 €
Abril	90,55 €	46,30 €
Mayo	93,75 €	47,93 €
Junio	90,55 €	46,30 €
Julio	93,75 €	47,93 €
Agosto	93,75 €	47,93 €
Septiembre	90,55 €	46,30 €
Octubre	93,75 €	47,93 €
Noviembre	90,22 €	46,13 €
TOTAL	830,24 €	424,48 €

Tabla 44. Impuesto eléctrico 40% iluminación artificial

MES	TP+TE+ISE+PAE	IVA
Marzo	177,77 €	37,33 €
Abril	173,55 €	36,45 €
Mayo	178,39 €	37,46 €
Junio	173,55 €	36,45 €
Julio	178,39 €	37,46 €
Agosto	178,39 €	37,46 €
Septiembre	173,55 €	36,45 €
Octubre	178,39 €	37,46 €
Noviembre	173,05 €	36,34 €
TOTAL	1.585,02 €	332,85 €

Tabla 45. Impuesto del IVA sistema 40% iluminación artificial

MES	TOTAL FACTURA ELÉCTRICA
Marzo	215,10 €
Abril	209,99 €
Mayo	215,85 €
Junio	209,99 €
Julio	215,85 €
Agosto	215,85 €
Septiembre	209,99 €
Octubre	215,85 €
Noviembre	209,39 €
TOTAL	1.917,87 €

Tabla 46. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 40% artificial

Presupuesto de mantenimiento sistema 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural

Se calcula el presupuesto de mantenimiento para el empleo de un 40% de iluminación artificial.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	2.072,49 €	
			2.072,49 €

Tabla 47. Cuadro de precios parciales iluminación 40% artificial

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) es la suma del PEM, de los Gastos Generales (se asume un valor del 13% del PEM) y del Beneficio Industrial (estimado en este caso como el 6% el PEM).

Finalmente, para calcular el Presupuesto Total se utilizará un valor de IVA del 21%.

El cálculo del Presupuesto Total por Año se efectuará según los años de vida útil de las luminarias, en este caso de 10 años.

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	2.072,49 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	3.585,41 €
PRESUPUESTO TOTAL	4.338,35 €
PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO	433,83 €

Tabla 48. Presupuesto mantenimiento total por año iluminación 40% artificial.

Gasto anual en el sistema para 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural

GASTO EN ELECTRICIDAD	1.917,87 €
GASTO RENOVACIÓN LUMINARIAS ANUAL	433,83 €
GASTO MANTENIMIENTO LUCERNARIOS ANUAL	1.713,63 €
IMPORTE TOTAL	4.065,33 €

Tabla 49. Gasto anual iluminación 40% artificial

10% iluminación artificial +90% iluminación natural

En este caso, la potencia demandada por las luminarias, es de 6,135 kW, al necesitar 4 lucernarios en lugar de los 48 iniciales. Seguidamente se calcula, tal y como se ha procedido anteriormente, el coste anual de la factura eléctrica para este supuesto, calculando para ellos todos y cada uno de los valores que intervienen en el coste total.

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
Marzo	21,61 €
Abril	20,81 €
Mayo	21,61 €
Junio	20,81 €
Julio	21,61 €
Agosto	21,61 €
Septiembre	20,81 €
Octubre	21,61 €
Noviembre	20,81 €
TOTAL	191,28 €

Tabla 50. Término de potencia 10% iluminación artificial

Los resultados de los términos de energía para cada mes son:

MES	TÉRMINO DE ENERGIA
Marzo	1,73 €
Abril	1,83 €
Mayo	1,83 €
Junio	1,83 €
Julio	1,83 €
Agosto	1,83 €
Septiembre	1,83 €
Octubre	1,83 €
Noviembre	1,75 €
TOTAL	16,28 €

Tabla 51. Término de energía 10% iluminación artificial

Por último, los valores del impuesto sobre electricidad e IVA, así como el coste total de la energía eléctrica para este supuesto son:

MES	TP+TE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
Marzo	23,34 €	11,93 €
Abril	22,64 €	11,57 €
Mayo	23,44 €	11,98 €
Junio	22,64 €	11,57 €
Julio	23,44 €	11,98 €
Agosto	23,44 €	11,98 €
Septiembre	22,64 €	11,57 €
Octubre	23,44 €	11,98 €
Noviembre	22,56 €	11,53 €
TOTAL	207,56 €	106,12 €

Tabla 52. Impuesto eléctrico 10% iluminación artificial

MES	TP+TE+ISE+PAE	IVA
Marzo	71,97 €	15,11 €
Abril	70,91 €	14,89 €
Mayo	72,12 €	15,15 €
Junio	70,91 €	14,89 €
Julio	72,12 €	15,15 €
Agosto	72,12 €	15,15 €
Septiembre	70,91 €	14,89 €
Octubre	72,12 €	15,15 €
Noviembre	70,79 €	14,87 €
TOTAL	643,98 €	135,24 €

Tabla 53. Impuesto del IVA sistema 10% iluminación artificial

MES	TOTAL FACTURA ELÉCTRICA
Marzo	87,08 €
Abril	85,80 €
Mayo	87,27 €
Junio	85,80 €
Julio	87,27 €
Agosto	87,27 €
Septiembre	85,80 €
Octubre	87,27 €
Noviembre	85,65 €
TOTAL	779,22 €

Tabla 54. Coste total factura eléctrica sistema de iluminación 10% artificial

Presupuesto de mantenimiento sistema 10% iluminación artificial + 90% iluminación natural

Se calcula el presupuesto de mantenimiento para el empleo de un 10% de iluminación artificial.

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	414,50 €	
			414,50 €

Tabla 55. Cuadro de precios parciales iluminación 10% artificial

El Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) es la suma del PEM, de los Gastos Generales (se asume un valor del 13% del PEM) y del Beneficio Industrial (estimado en este caso como el 6% el PEM).

Finalmente, para calcular el Presupuesto Total se utilizará un valor de IVA del 21%.

El cálculo del Presupuesto Total por Año se efectuará según los años de vida útil de las luminarias, en este caso de 10 años.

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	414,50 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	717,08 €
PRESUPUESTO TOTAL	867,67 €
PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO	86,77 €

Tabla 56. Presupuesto mantenimiento total por año iluminación 10% artificial.

Gasto anual en el sistema para 10% iluminación artificial + 90% iluminación natural

GASTO EN ELECTRICIDAD	779,22 €
GASTO RENOVACIÓN LUMINARIAS ANUAL	86,77 €
GASTO MANTENIMIENTO LUCERNARIOS ANUAL	1.713,63 €
IMPORTE TOTAL	2.579,62 €

Tabla 57. Gasto anual iluminación 10% artificial

7.2.3 Análisis económico

Por último, se realizará el pertinente análisis económico del sistema de iluminación artificial en comparación con los sistemas de iluminación mixtos propuestos anteriormente. En primer lugar, en la siguiente tabla se muestra el ahorro económico experimentado al incluir un porcentaje de iluminación natural en la planta estudiada.

SUPUESTO	COSTE	AHORRO EXPERIMENTADO
100% Iluminación artificial	5.236,39 €	- €
40% Iluminación artificial + 60% Iluminación natural	4.065,33 €	1.171,06 €
10% Iluminación artificial + 90% Iluminación natural	2.579,62 €	2.656,77 €

Tabla 58. Tabla resumen de ahorro experimentado con los sistemas de iluminación propuestos

Tal y como se observa, cuanto mayor es el porcentaje de iluminación natural en el sistema de iluminación implantado, mayor será el ahorro económico experimentado. Es por ello, que se justifica el desarrollo del presente proyecto, al alcanzar una solución óptima relacionada con la consecución de ahorros económicos y mediambientales con el estudio de medidas de aumento de eficiencia energética de instalaciones industriales.

Por último, se realizará el análisis de rentabilidad del proyecto. Los parámetros usados para cuantificar esta rentabilidad serán el **VAN** (Valor Actual Neto), el **TIR** (Tasa Interna de Retorno) y **PAY-BACK** (Periodo de retorno del capital).

Por un lado, el VAN refleja el valor actual de unos flujos de caja futuros, originados por una determinada inversión. Un proyecto será rentable cuando presente un VAN positivo.

La ecuación utilizada para calcularlo es:

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{r_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (14)$$

Dónde:

- r_t : movimiento de fondos de cada periodo (€).
- **T**: al horizonte temporal.
- **T**: periodo.
- **I**: interés previsto
- I_0 : inversión inicial.

Por otro lado, el otro parámetro que se calculará será el TIR, que representa el interés que hacer el VAN igual a 0. Éste representa la tasa interna de retorno de una inversión, lo cual indicará para periodo concreto de tiempo, a partir de qué interés la inversión realizada será rentable para la empresa.

La ecuación que lo calcula es:

$$0 = \sum_{t=1}^T \frac{r_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (15)$$

Para realizar los pertinentes cálculos, se tendrán en cuenta los siguientes datos:

- El valor anualidad (r) se corresponderá al ahorro energético experimentado en cada caso.
- El número de periodos será la vida útil del sistema de iluminación natural, el cual se ha establecido en 20 años.
- La inversión inicial es la relacionada con la instalación del sistema de iluminación.

Seguidamente, se muestran los datos obtenidos al realizar dichos cálculos:

PROPUESTA	Inversión inicial (€)	r(€)	VAN 1%	VAN 3%	VAN 6%	TIR
40% Iluminación artificial	28.111,51 €	1.179,06 €	- 6.834,72 €			
10% Iluminación artificial	28.111,51 €	2.656,77 €	19.831,37 €	11.414,52 €	2.361,43 €	7,11%

Tabla 59. VAN y TIR

Tal y como se puede observar, el supuesto que contempla el uso de 40% de iluminación artificial, no es viable, ya que los resultados del VAN obtenidos son negativos, por lo que no es rentable. Además, el TIR sería nulo en este caso, lo que indica que se perdería dinero con la inversión.

Sin embargo, el segundo caso, el cual contempla únicamente un 10% de iluminación artificial, sí que es rentable a partir de un interés del 7,11%, por lo que sí es rentable y permitirá recuperar la inversión acometida.

Periodo de retorno del capital

Este parámetro, indica el tiempo necesario para recuperar el capital invertido en las actuaciones. La ecuación empleada es la siguiente:

$$R = \frac{I}{r} \quad (16)$$

Dónde:

- R. representa el periodo de retorno del capital.
- I: indica inversión total del proyecto.

Los resultados del cálculo del periodo de retorno del capital se muestran en la siguiente tabla:

PROPUESTA	Inversión inicial (€)	r(€)	PAY-BACK (Años)
40% Iluminación artificial	28.111,51 €	1.179,06 €	23,8
10% Iluminación artificial	28.111,51 €	2.656,77 €	10,6

Tabla 60. Periodo de retorno del capital

De los resultados obtenidos, se puede concluir que la opción de iluminación mixta basada en la utilización del sistema de iluminación artificial un 10% de las horas e iluminación natural un 90%, es el único caso rentable, pues en aproximadamente la mitad del tiempo de vida útil de los lucernarios, se recuperaría la inversión.

8. CONCLUSIONES

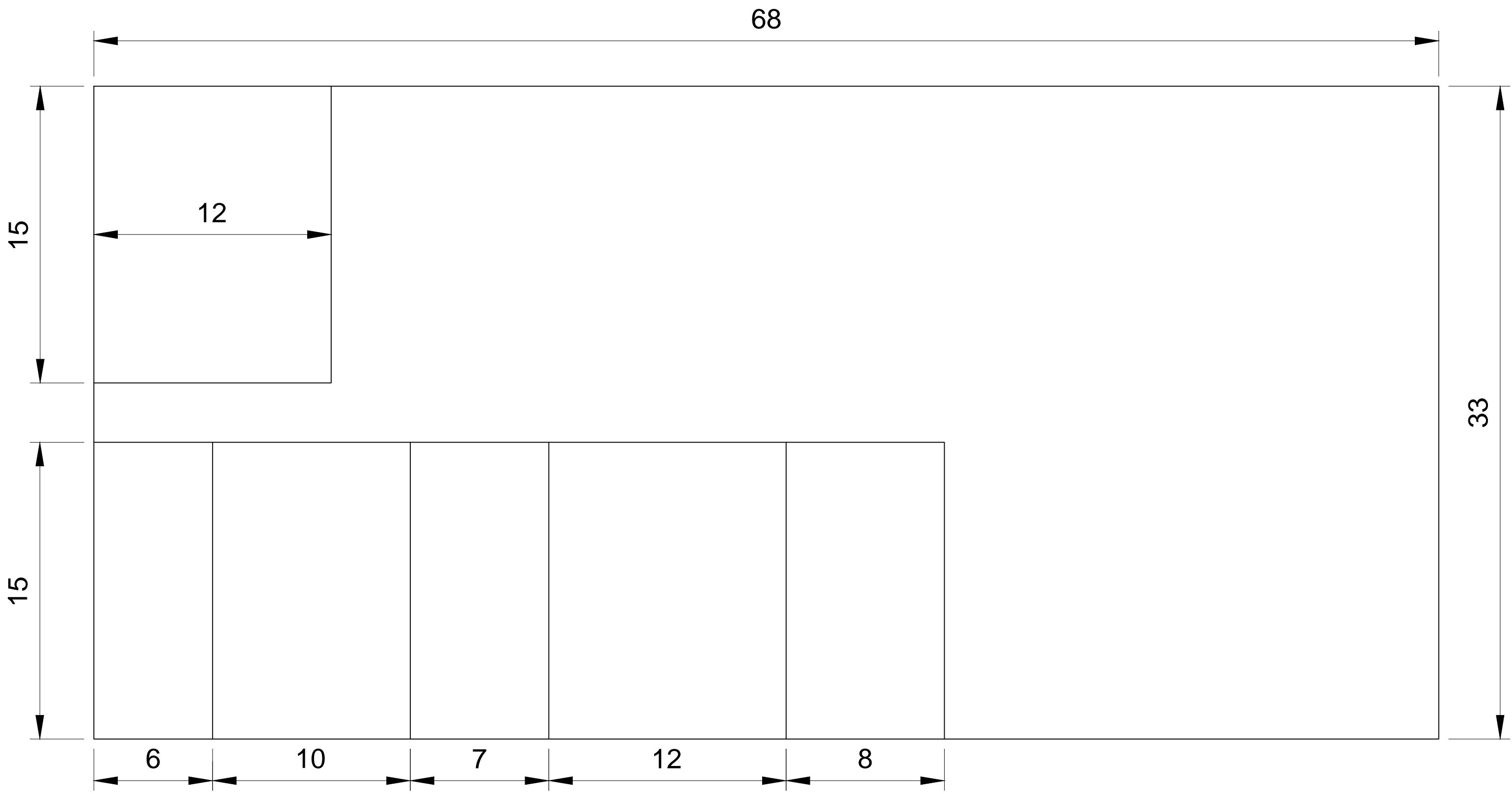
Las conclusiones obtenidas tras la realización del presente trabajo son:

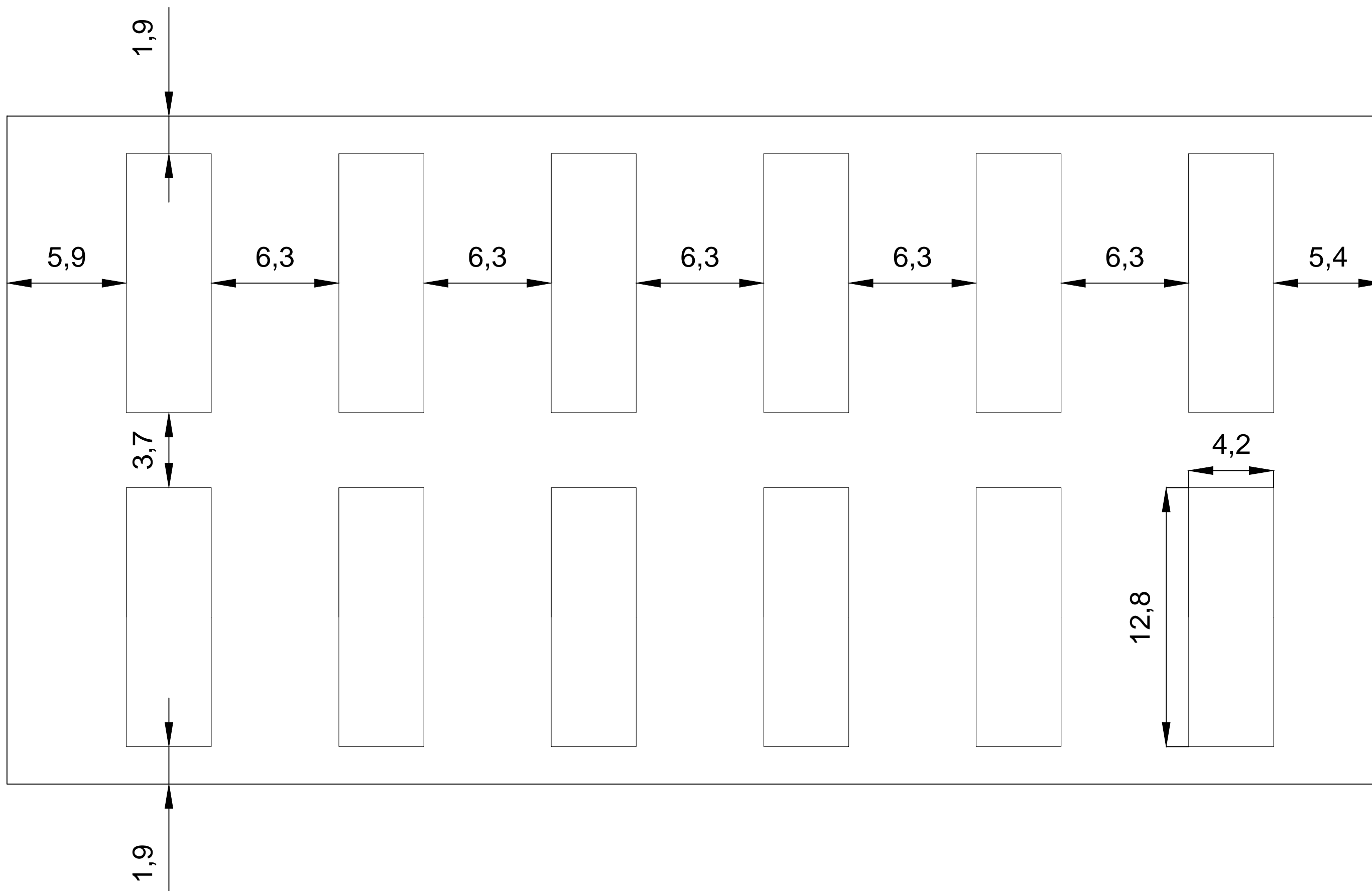
- Se ha conseguido obtener un conocimiento técnico específico acerca de los sistemas de iluminación natural en la industria, así como los principales parámetros a tener en cuenta para analizar su efectividad.
- De entre todas las disposiciones estudiadas para lograr en la planta los valores de iluminación requeridos, la consistente en la implementación de lucernarios tendidos en cubierta ha sido la que mejores resultados a proporcionado respecto a la consecución de los valores medios de iluminación buscados, inexistencia de deslumbramientos y valores de uniformidad.
- Se ha logrado optimizar la propuesta seleccionada, obteniendo unos valores aceptables en todas las épocas del año analizadas. Esta propuesta, además de alcanzar los requerimientos propuestos, ha presentado una disposición simétrica, lo que le otorga una gran flexibilidad frente a cambios futuros.
- Se ha calculado el coste anual relacionado con la utilización de un sistema de iluminación artificial, comparándolo con los costes derivados de la implementación de sistemas mixtos en los cuales se combina iluminación artificial y natural. Al realizar el análisis, se ha comprobado que la utilización de sistemas de iluminación mixtos presentan un significativo ahorro económico y eléctrico.
- La realización del balance económico, teniendo en cuenta el VAN, el TIR y el PAY-BACK, ha reflejado la viabilidad de un sistema de iluminación mixto, comprobando su viabilidad económica.
- El sistema de iluminación mixto basado en un 10% de iluminación artificial y un 90% de iluminación natural es rentable a partir de un interés de un 7,11%, y presenta un PAY-BACK de 10,7 años.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de la asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial en Poliformat.
- Apuntes de la asignatura de Proceso Industriales en Ingeniería Química en Poliformat.
- UNE 12464.1. Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.
- Base de Precios del IVE (2016). Instituto Valenciano de la Edificación.
- IDAE: Guía Técnica- Aprovechamiento de luz natural en la iluminación de edificios.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- AENOR. Iluminación de los lugares de trabajo. UNE-EN 12464-1.

ANEXO 1 - PLANOS





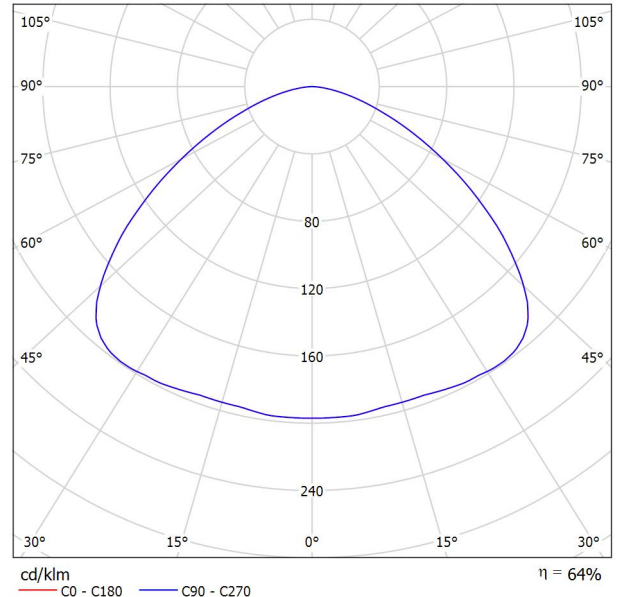
ANEXO 2 - LUMINARIAS



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

PHILIPS HPK450 1xHPL-N400W M-D450 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 48 84 97 100 64

Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	24.5	25.8	24.8	26.1	26.3	24.5	25.8	24.8	26.1	26.3
	3H	25.4	26.6	25.7	26.9	27.1	25.4	26.6	25.7	26.9	27.1
	4H	25.7	26.8	26.0	27.1	27.4	25.7	26.8	26.0	27.1	27.4
	6H	25.9	26.9	26.2	27.2	27.5	25.9	26.9	26.2	27.2	27.5
	8H	25.9	26.9	26.2	27.2	27.5	25.9	26.9	26.2	27.2	27.5
4H	2H	25.0	26.1	25.3	26.4	26.7	25.0	26.1	25.3	26.4	26.7
	3H	26.0	27.0	26.4	27.3	27.6	26.0	27.0	26.4	27.3	27.6
	4H	26.4	27.2	26.8	27.6	27.9	26.4	27.2	26.8	27.6	27.9
	6H	26.6	27.4	27.1	27.7	28.1	26.6	27.4	27.1	27.7	28.1
	8H	26.7	27.4	27.1	27.7	28.2	26.7	27.4	27.1	27.7	28.2
8H	2H	26.7	27.3	27.2	27.7	28.2	26.7	27.3	27.2	27.7	28.2
	4H	26.5	27.2	27.0	27.6	28.0	26.5	27.2	27.0	27.6	28.0
	6H	26.8	27.4	27.3	27.8	28.3	26.8	27.4	27.3	27.8	28.3
	8H	26.9	27.4	27.4	27.9	28.3	26.9	27.4	27.4	27.9	28.3
	12H	27.0	27.4	27.5	27.9	28.4	27.0	27.4	27.5	27.9	28.4
12H	4H	26.5	27.1	27.0	27.5	28.0	26.5	27.1	27.0	27.5	28.0
	6H	26.9	27.3	27.3	27.8	28.2	26.9	27.3	27.3	27.8	28.2
	8H	27.0	27.4	27.5	27.8	28.3	27.0	27.4	27.5	27.8	28.3
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.2 / -0.2					+0.2 / -0.2					
S = 1.5H	+0.5 / -0.8					+0.5 / -0.8					
S = 2.0H	+1.0 / -1.5					+1.0 / -1.5					
Tabla estándar	BK03					BK03					
Sumando de corrección	7.5					7.5					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 22000lm Flujo luminoso total											

ANEXO 3 - PRESUPUESTO

Presupuesto instalación sistema de iluminación naturalCuadro de precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	Realización del Huevo				
	hr	Oficial 1º Vidrio	0,3	10,5	3,150	
	hr	Ayudante Vidrio	0,3	9,2	2,760	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	7,153	0,143	
01.02	m2	Colocación Carpintería				
	m	Perfil de aluminio	1	3	3	
	hr	Oficial 1ª Carpintería	0,3	10,8	3,240	
	hr	Ayudante Carpintería	0,3	9,5	2,850	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	10,333	0,207	
						10,539
01.03	m2	Colocación Policarbonatos				
	m2	Panel	1	10	10	
	hr	Oficial 1º Carpintería	0,3	10,9	3,270	
	hr	Ayudante Carpintería	0,3	9,55	2,865	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	17,378	0,348	
						17,725
01.04	m2	Soldado				
	hr	Oficial 1º Carpintería	0,3	11,65	3,495	
	hr	Ayudante Carpintería	0,3	10,4	3,120	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	7,858	0,157	
						8,015

Cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	Realización del Huevo						
	m2	Lucernarios	12	4,2	12,8		645,12	
								645,12
01.02	m2	Colocación Carpintería						
	m2	Lucernarios	12	4,2	12,8		645,12	
								645,12
01.03	m2	Colocación Policarbonatos						
	m2	Lucernarios	12	4,2	12,8		645,12	
								645,12
01.04	m2	Soldado						
	m2	Lucernarios	12	4,2	12,8		645,12	
								645,12

Cuadro de precios parciales

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Realización del Hueco	4.706,70 €	
01.02	Colocación Carpintería	6.799,21 €	
01.03	Colocación Paneles	11.434,98 €	
01.04	Soldado	5.170,61 €	
			28.111,51 €

Presupuesto mantenimiento y renovación sistema de iluminación 100% artificialCuadro de precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación de luminarias				
	ud	Luminaria	1	90	90,000	
	hr	Operario 1ª	0,3	18,2	5,460	
	hr	Peón electricidad	0,3	16,3	4,890	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	101,593	2,032	
						103,625

Cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación luminarias						
	ud	Lucernarios	48				48	
								48

Cuadro de precios parciales

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	4.973,98 €	
			4.973,98 €

Presupuesto mantenimiento y renovación sistema de lucernariosCuadro de precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Mantenimiento de lucernarios				
	hr	Operario 1ª	0,3	14	4,200	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	5,443	0,109	

Cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Mantenimiento de lucernarios						
	ud	Lucernarios	12	4,8	12,8		737,28	
								737,28

Cuadro de precios parciales

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Mantenimiento de lucernarios	4.093,12 €	
			4.093,12 €

Presupuesto mantenimiento sistema de iluminación 40% artificialCuadro de precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación de luminarias				
	ud	Luminaria	1	90	90,000	
	hr	Operario 1º	0,3	18,2	5,460	
	hr	Peón electricidad	0,3	16,3	4,890	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	101,593	2,032	
						103,625

Cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación luminarias						
	ud	Luminarias	20				20	
								20

Cuadro de precios parciales

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	2.072,49 €	
			2.072,49 €

Presupuesto mantenimiento sistema de iluminación 10% artificialCuadro de precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación de luminarias				
	ud	Luminaria	1	90	90,000	
	hr	Operario 1ª	0,3	18,2	5,460	
	hr	Peón electricidad	0,3	16,3	4,890	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,013	95,6	1,243	
	%	Costes Directos	0,02	101,593	2,032	
						103,625

Cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	Colocación luminarias						
	ud	Luminarias	4				4	
								4

Cuadro de precios parciales

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	414,50 €	
			414,50 €