



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

RESUMEN

En el presente documento se va a realizar un diseño de iluminación natural a un almacén situado en una bodega de vinos en Mendoza (Argentina). Se pretende mostrar las mejoras a nivel económico que la iluminación natural puede aportar al almacén.

Un objetivo fundamental de este TFG es dar a entender al lector del mismo los beneficios que puede llegar a aportar la iluminación natural en la industria. Por ello al principio de este documento se hace una introducción teórica de los conceptos más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de realizar un diseño de iluminación natural.

Luego de dicha introducción, se hará un modelo en 3D del recinto que se quiere iluminar por medio del programa DIALux. Una vez modelado el recinto se harán diferentes propuestas de colocación de lucernarios y ventanales.

Seguidamente, también con el programa DIALux, se realizarán simulaciones en diferentes épocas del año para ver si las propuestas realizadas cumplen con unos requisitos mínimos de iluminación.

Iluminar únicamente de forma natural una nave no es una solución lógica, pues dicha nave quedaría mal iluminada en aquellos días en que la luz solar no estuviese presente. Es por ello que una vez seleccionada la propuesta que mejor cumpla los requisitos mínimos de iluminación, se hará un estudio económico de una solución combinada entre el diseño de iluminación natural alcanzado e iluminación artificial.

Finalmente, se presenta un resumen de las conclusiones alcanzadas tras el estudio realizado y en el anexo 2 se muestra el presupuesto de todas las soluciones alcanzadas.

Palabras clave: Diseño de iluminación natural y planta industrial.

PRÓLOGO

Con este TFG doy por finalizada mi primera etapa en la universidad, acabando el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales. A lo largo de esta etapa he aprendido muchos conocimientos nuevos, formas nuevas de trabajar, pero sobretodo que hay que dedicarle tiempo y esfuerzo a aquello que se quiere ser el día de mañana.

La elección de este TFG se debe a un gusto personal por la asignatura Tecnología de la Construcción cursada en cuarto curso, y por un afán de adquirir más conocimientos relacionados con la construcción de edificaciones o instalaciones industriales. También la gran facilidad de transmitir conocimientos y de impartir una clase de forma dinámica y entretenida por parte de la profesora M^a Cristina Santamarina Siurana fue un factor importante para que me decantase por el TFG que ella ofrecía.

He de decir que este trabajo aparte de proporcionarme conocimientos nuevos, ha servido para repasar conocimientos vistos en asignaturas cursadas a lo largo de la carrera y para aprender a redactar un documento oficial con el objetivo de hacer una buena labor de Ingeniero Industrial en el futuro.

Por último agradecerles a mi familia y a mis más cercanos amigos por apoyarme en los momentos más duros y estresantes tanto del grado como de mi vida personal.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMÁGENES.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	13
3. ILUMINACIÓN: CONCEPTOS Y NORMAS	14
3.1 CONTROL DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INSTALACIÓN.....	15
3.2 TIPOS DE ILUMINACIÓN	16
3.3 FACTORES IMPORTANTES EN LA ILUMINACIÓN NATURAL.....	17
4. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	18
5. MÉTODO ANALÍTICO DE CÁLCULO	20
6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL	24
7. APLICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO.....	25
7.1 DISEÑO DE PROPUESTA 1.....	26
7.2 DISEÑO DE PROPUESTA 2.....	27
7.3 DISEÑO DE PROPUESTA 3.....	28
8. SIMULACIÓN DIALUX Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS	30
8.1 DESLUMBRAMIENTOS.....	30
8.2.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 1.....	32
8.2.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 2.....	36
8.2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 3.....	41
9. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y DECISIÓN.....	45
10. DESARROLLO DE LA MEJOR PROPUESTA (PROPUESTA 1).....	45
11. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL (DIALux Light)	48
12. ILUMINACIÓN MIXTA	50
12.1 OPCIÓN 1: 100% iluminación artificial	50
12.2 OPCIÓN 2: 20% iluminación artificial – 80% iluminación natural	50
12.3 OPCIÓN 3: 35% iluminación artificial – 65% iluminación natural	51
13. GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA.....	51
13.1 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 1	54

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

13.2 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 2	56
13.3 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 3	57
14. ESTUDIO ECONÓMICO	58
14.1 GASTOS ANUALES.....	58
14.2 El VAN y la TIR	59
15. CONCLUSIONES	61
16. BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA.....	63
ANEXO 2: PRESUPUESTO.....	65

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Bodega Alberto Gutiérrez Andrés; Haro (La Rioja). Fuente: Bodega Alberto Andrés.	9
Imagen 2. Bodegas Nubori; Alfaro (La Rioja Suroriental). Fuente: Bodegas Nubori.....	9
Imagen 3. Bodegas Estévez; El Bierzo-Villafranca. Fuente: Bodegas y viñedos Estévez.....	10
Imagen 4. Tanques de acero inoxidable. Fuente: Bodegas y viñedos Estévez	10
Imagen 5. Tipos de iluminación natural según colocación de aberturas. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química	16
Imagen 6. Tipos de radiación solar. Fuente: http://loncar.citel.es/soporte/	17
Imagen 7. Vista lateral del almacén. Fuente: DIALux.....	18
Imagen 8. Vista en planta del almacén. Fuente: DIALux.....	19
Imagen 9. Ángulo α dependiendo de la posición de la apertura. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.....	20
Imagen 10. Curva para la obtención del factor característico de reducción ventana muro. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.	21
Imagen 11. Mapa conceptual resumen. Fuente: Elaboración propia.....	23
Imagen 12. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 1. Fuente: DIALux.	26
Imagen 13. Vista 3D del interior de la propuesta 1. Fuente: DIALux.....	26
Imagen 14. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 2. Fuente: DIALux.	27
Imagen 15. Vista 3D del interior de la propuesta 2. Fuente: DIALux.....	27
Imagen 16. Vista 3D del interior de la propuesta 2. Fuente: DIALux.....	28
Imagen 17. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 3. Fuente: DIALux.	28
Imagen 18. Vista 3D del interior de la propuesta 3. Fuente: DIALux.....	29
Imagen 19. Vista 3D del interior de la propuesta 3. Fuente: DIALux.....	29
Imagen 20. Deslumbramientos posibles para el trabajador. Fuente: Elaboración propia.	30
Imagen 21. Vista en planta del almacén con las zonas de deslumbramiento señaladas. Fuente: Elaboración propia.	31
Imagen 22. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	32
Imagen 23. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas. Fuente: DIALux	32
Imagen 24. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas. Fuente: DIALux.	33

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Imagen 25. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas. Fuente: DIALux.	33
Imagen 26. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	34
Imagen 27. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	36
Imagen 28. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas. Fuente: DIALux.	37
Imagen 29. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas. Fuente: DIALux.	37
Imagen 30. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas. Fuente: DIALux.	38
Imagen 31. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	38
Imagen 32. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	41
Imagen 33. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas. Fuente: DIALux.	41
Imagen 34. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas. Fuente: DIALux.	42
Imagen 35. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas. Fuente: DIALux.	42
Imagen 36. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas. Fuente: DIALux.	43
Imagen 37. Vista en planta del almacén para detallar pasarelas. Fuente: Elaboración propia...	46
Imagen 38. Flujo de emisión de la luminaria. Fuente: DIALux Light.	48
Imagen 39. Distribución lumínica de las luminarias en la nave de 9.1 m. Fuente: DIALux Light.	49
Imagen 40. Distribución lumínica de las luminarias en la nave de 6.6 m. Fuente: DIALux Light.	49
Imagen 41. Precios de la electricidad en función del mes y la hora. Fuente: http://www.enara-energia.es/discriminacion_horaria.html	52
Imagen 42. Ficha técnica de la luminaria.....	64

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles medios de iluminación según Real Decreto 486/1997	11
Tabla 2. Clasificación de actividades de trabajo según DIN 5035.	14
Tabla 3. Número de puntos de cálculo a considerar según la constante K. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.	15
Tabla 4. División en zonas del almacén.....	19
Tabla 5. Coeficientes de reflexión de las superficies del recinto.	25
Tabla 6. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 1.	34
Tabla 7. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 1.	35
Tabla 8. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 1.	35
Tabla 9. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 2.	39
Tabla 10. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 2.	39
Tabla 11. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 2.	40
Tabla 12. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 3.	43
Tabla 13. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 3.	44
Tabla 14. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 3.	44
Tabla 15. Comparación de propuestas.	45
Tabla 16. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (10 de diciembre a las 12:00 horas).	46
Tabla 17. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 9:00 horas).	46
Tabla 18. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 10:00 horas).	47
Tabla 19. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 11:00 horas).	47
Tabla 20. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 12:00 horas).	47

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Tabla 21.VEEI para 100% iluminación artificial (24 luminarias).....	50
Tabla 22.VEEI para 20% iluminación artificial (5 luminarias).....	50
Tabla 23.VEEI para 35% iluminación artificial (9 luminarias).....	51
Tabla 24.Potencia total (kW) necesaria para el almacén.....	51
Tabla 25.Precios de la energía eléctrica según periodo (Tarifa 3.1A). Fuente: http://www.tarifa-electrica.es/at_dos.php	52
Tabla 26.Tabla de periodos y días de cada mes que se utilizará en los cálculos.	53
Tabla 27.Gasto de electricidad en función del periodo.....	53
Tabla 28.Tabla de costes del termino de energía para la opción 1.....	54
Tabla 29.Tabla de costes del impuesto eléctrico para la opción 1.	55
Tabla 30.Tabla de todos los costes para la opción 1.....	55
Tabla 31.Tabla de todos los costes para la opción 2.....	56
Tabla 32.Tabla de todos los costes para la opción 3.....	57
Tabla 33.Tabla comparativa de los costes totales de todas las opciones.....	57
Tabla 34.Tabla de gastos opción 1.	58
Tabla 35.Tabla de gastos opción 2.	58
Tabla 36.Tabla de gastos opción 3.	58
Tabla 37.Tabla de ahorros en gasto eléctrico según opción elegida.	58
Tabla 38.Tabla de ahorros en renovación de luminarias según opción elegida.	59
Tabla 39.Tabla comparativa de gastos anuales.....	59
Tabla 40.Datos iniciales para el cálculo de el VAN y la TIR.	60
Tabla 41.VAN calculado para diferentes tipos de interés.	60
Tabla 42.TIR calculado para las ambas opciones.	60
Tabla 43.Cuadro de precios descompuestos de los lucernarios.	66
Tabla 44.Cuadro de mediciones de los lucernarios.	67
Tabla 45.Cuadro de presupuestos parciales de los lucernarios.....	67
Tabla 46.Presupuesto final de instalación de lucernarios.....	68
Tabla 47.Cuadro de precios descompuestos de mantenimiento de los lucernarios.	68
Tabla 48.Cuadro de mediciones de mantenimiento de los lucernarios.	68
Tabla 49.Presupuesto parcial de mantenimiento de los lucernarios.....	68
Tabla 50.Presupuesto final de mantenimiento de los lucernarios.	69
Tabla 51.Presupuesto final anual de mantenimiento de los lucernarios.....	69

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Tabla 52.Cuadro de precios descompuestos de las luminarias.	69
Tabla 53.Cuadro de mediciones de las luminarias opción 1.	69
Tabla 54.Presupuesto parcial de las luminarias opción 1.	70
Tabla 55.Presupuesto final de la opción 1.	70
Tabla 56.Presupuesto final anual opción 1.	70
Tabla 57.Cuadro de mediciones de las luminarias opción 2.	70
Tabla 58.Presupuesto parcial de las luminarias opción 2.	70
Tabla 59.Presupuesto final opción 2.	70
Tabla 60.Presupuesto final anual opción 2.	70
Tabla 61.Cuadro de mediciones de las luminarias opción 3.	71
Tabla 62.Presupuesto parcial de las luminarias opción 3.	71
Tabla 63.Presupuesto final opción 3.	71
Tabla 64.Presupuesto final anual opción 3.	71

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1) Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.....	15
(2) Número de puntos a considerar para la iluminancia media (E_m).....	15
(3) Método analítico del Dr. Fruhling.....	20
(4) Nivel medio de iluminación horizontal.....	20
(5) Factor de ventanas f.....	20
(6) Rendimiento del recinto.....	21
(7) Calculo de superficie de ventanas por el método analítico del Dr. Fruhling.....	21
(8) Termino de Potencia en el gasto eléctrico.....	53
(9) Termino de la Energía en el gasto eléctrico.....	53
(10) Impuesto Eléctrico.....	55
(11) Cálculo del Valor Actual Neto.....	59

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente proyecto es describir y dimensionar una instalación (almacén) que forma parte de una bodega de vinos de nueva construcción que permita contar con todos los elementos necesarios para poseer una iluminación adecuada. Se realizarán igualmente los presupuestos económicos correspondientes al coste de dicha instalación y que permitan acreditar la conveniencia de la misma.

La instalación de iluminación industrial requiere un previo estudio de las condiciones de la construcción donde se ubica la bodega así como la actividad laboral concreta que tiene lugar en la misma, porque si bien en otros tiempos la calidad del vino estaba muy relacionada con el lugar donde se producía el proceso de fermentación y el tipo de envase donde se fermentaba, en la actualidad las instalaciones para la fermentación del vino han incorporado tinas metálicas que mantienen las condiciones idóneas para dicha fermentación y no requieren de lugares subterráneos o tinas de madera maciza como antaño.



Imagen 1. Bodega Alberto Gutiérrez Andrés; Haro (La Rioja). Fuente: Bodega Alberto Andrés Alonso.



Imagen 2. Bodegas Nubori; Alfaro (La Rioja Suroriental). Fuente: Bodegas Nubori.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Hoy en día, por tanto, se usan grandes depósitos o tanques con una capacidad que supera incluso los 18.000 litros, contruidos con materiales muy diferentes, como pueden ser plástico, fibra de vidrio y acero inoxidable con molibdeno, cromo y níquel cubiertos generalmente con un material aislante, como esmalte vitrificado, resinas vinílicas, resinas formo-fenólicas o resinas epóxicas. La bodega se ha transformado con el paso del tiempo en una planta industrial.



Imagen 3. Bodegas Estévez; El Bierzo-Villafranca. Fuente: Bodegas y viñedos Estevez

El presente proyecto lumínico se desarrolla en dos naves adosadas de diferente altura cuyas características se explicarán posteriormente con detalle.

La finalidad de esta planta industrial es sólo y exclusivamente el almacenamiento y elaboración de vino en los tanques de acero inoxidable donde fermenta.

Como los nuevos métodos de soldadura en la construcción de estos tanques los hacen prácticamente herméticos, y el acero inoxidable es además un material que permite que no haya variaciones de las condiciones internas en el tanque independientemente de lo que ocurra en el exterior, no habrá que preocuparse por someter a los bidones a unos determinados niveles de iluminación pues esto no afectará al estado del vino.



Imagen 4. Tanques de acero inoxidable. Fuente: Bodegas y viñedos Estévez.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Sin embargo, la iluminación industrial puede incidir en las condiciones de seguridad y salud en el trabajo; de ahí que su instalación deba adecuarse al espacio a iluminar y proporcione comodidad a los trabajadores de la bodega en el desarrollo de su actividad laboral, debiéndose procurar además que la instalación lumínica favorezca una revisión periódica que detecte los déficits o anomalías de luz que se vayan produciendo, así como un mantenimiento adecuado y puntual.

A este respecto, el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo¹ (BOE), dispone en su artículo 8 que: *“La iluminación de los lugares de trabajo deberá permitir que los trabajadores dispongan de condiciones de visibilidad adecuadas para poder circular por los mismos y desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud”*.

En el **ANEXO IV (Iluminación de los lugares de trabajo)** se ordena que la iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá tener en cuenta los riesgos para la **seguridad y salud** de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad, y las **exigencias visuales de las tareas desarrolladas**. Se establece además que *“siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una **iluminación natural**, que deberá complementarse con una iluminación artificial cuando la primera, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. En tales casos se utilizará preferentemente la **iluminación artificial** general, complementada a su vez con una localizada cuando en zonas concretas se requieran niveles de iluminación elevados”*. Y establece como **niveles mínimos de iluminación** de los lugares de trabajo los establecidos en la siguiente tabla:

Zona o parte del lugar de trabajo (*)	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con:	
1.º Bajas exigencias visuales	100
2.º Exigencias visuales moderadas	200
3.º Exigencias visuales altas	500
4.º Exigencias visuales muy altas	1.000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Tabla 1. Niveles medios de iluminación según Real Decreto 486/1997

No obstante, se reconoce en el citado Anexo la posibilidad de **duplicar estos niveles mínimos cuando concurren determinadas circunstancias**. Y sostiene que *“4. La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, además, en cuanto a su distribución y otras características, las siguientes condiciones: a) La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible. b) Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las*

¹ Publicado en: «BOE» núm. 97, de 23/04/1997. Consultado el 21 de mayo de 2017 a las 18:50 horas en la página web <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores. c) Se evitarán los deslumbramientos directos producidos por la luz solar o por fuentes de luz artificial de alta luminancia. En ningún caso éstas se colocarán sin protección en el campo visual del trabajador. d) Se evitarán, asimismo, los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de operación o sus proximidades. e) No se utilizarán sistemas o fuentes de luz que perjudiquen la percepción de los contrastes, de la profundidad o de la distancia entre objetos en la zona de trabajo, que produzcan una impresión visual de intermitencia o que puedan dar lugar a efectos estroboscópicos. 5. Los lugares de trabajo, o parte de los mismos, en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores dispondrán de un alumbrado de emergencia de evacuación y de seguridad. 6. Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo, a tal efecto, lo dispuesto en la normativa específica vigente.

En el apartado 3 se expondrán más normas relacionadas con la iluminación de recintos tanto a nivel nacional como europeo.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

2. OBJETIVOS

- Aprender algo nuevo relacionado con el ámbito de la construcción y que no se ha visto durante el transcurso del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales. Entre lo que se destaca diseñar una nave industrial en 3D y hacerle un diseño de iluminación natural con el programa DIALux 4.13.
- Estudiar la normativa vigente de iluminación natural de recintos, y conforme a ésta realizar unas propuestas (colocación de ventanales o lucernarios) de iluminación para nuestra nave en estudio.
- Mediante el programa DIALux, someter cada una de las propuestas a simulaciones en diferentes épocas del año, y ver si para las fechas simuladas se cumplen los valores mínimos de iluminación exigidos por la normativa vigente.
- Puesto que habrá horas en las que no se pueda aprovechar la luz solar para iluminar la nave, se buscará una solución mixta entre iluminación artificial e iluminación natural. Se realizarán estudios económicos (el VAN y la TIR) sobre las diferentes posibles soluciones, para esto se utilizarán conceptos vistos en la asignatura de “Empresa y Economía Industrial”.
- Integrar conceptos de la asignatura de “Proyectos” sobre cómo elaborar un presupuesto utilizando la base de datos del Instituto Valenciano de Edificación (IVE) del 2016.
- Incorporar conceptos de la asignatura de “Tecnología Eléctrica” acerca de la iluminación artificial y como sacar provecho de la misma en función del tipo de luminaria que empleemos.
- Mejorar la capacidad de expresarse a la hora de redactar. Puesto que estamos acostumbrados a lo largo de la carrera a ver el campo práctico de las cosas, la realización de un Trabajo de Fin de Grado es una oportunidad que el estudiante tiene de mejorar su capacidad de expresión.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

3. ILUMINACIÓN: CONCEPTOS Y NORMAS

La iluminación de las zonas de trabajo debe ser aquella que permita a los trabajadores realizar sus actividades sin perjudicar sus funciones visuales tanto fisiológicas como psicológicas. Esta iluminación debe ser suficiente para que permita a los trabajadores distinguir de forma rápida y nítida los objetos o herramientas con los que van a trabajar.

En cuanto al empleo de iluminación natural, aparte de suponer un ahorro económico y de energía, dicha iluminación es mucho más saludable que la iluminación artificial pues la amplitud de colores es mucho mayor que en la iluminación artificial que suele emitir longitudes de onda de un solo color.

En función de la actividad tenemos distintos niveles de iluminación media requeridos.

En varios países europeos han sido clasificadas en cuatro grupos las actividades de trabajo en función de la iluminación recomendada para cada actividad (la clasificación expuesta ha sido recomendada por la **DIN 5035**):

Categoría	Iluminación recomendada (plano de trabajo)
1. Tareas "muy finas"	1000 lux
2. Tareas "finas"	500 – 1000 lux
3. Tareas "normales"	250 – 500 lux
4. Tareas "bastas"	125 – 250 lux

Tabla 2. Clasificación de actividades de trabajo según DIN 5035.

La Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (**OGSHT**) también ofrece algunas recomendaciones en lo referente a la iluminación. Entre ellas cabe destacar:

- Siempre se elegirá la iluminación natural por encima de la iluminación artificial.
- Las superficies iluminantes deben representar al menos un sexto de la superficie de suelo de la zona de trabajo.
- Se evitarán deslumbramientos o reflejos pintando las máquinas de trabajo de colores mate.

A su vez el Código Técnico de Edificación (**CTE**) establece que todas las zonas de circulación deben tener una uniformidad mínima del 40%. En el presente trabajo se buscará que además de las zonas de circulación, las zonas de trabajo también cumplan con este mínimo de uniformidad, con el objetivo de garantizar una adecuada iluminación general. Entendemos por uniformidad el cociente entre la iluminación mínima y la iluminación máxima ($C_u = \frac{E_{min}}{E_{max}}$).

Por último la norma UNE 12464.1 "Norma europea sobre iluminación para interiores" refleja los valores de iluminación recomendados para oficinas o actividades industriales.

Por lo tanto dicha norma más el CTE serán los criterios de mayor interés para nuestra nave industrial.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

3.1 CONTROL DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INSTALACIÓN

A diferencia de antes que quedaba a elección del director de proyecto la utilización o no de iluminación natural, actualmente según el Código Técnico de Edificación es obligatoria la utilización de iluminación natural en una gran cantidad de recintos.

Para verificar si esto se cumple el CTE realiza la verificación con el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) por cada 100 luxes.

$$VEEI = \frac{P*100}{S*E_m} \quad (1)$$

Pese a que las instalaciones industriales se excluyen de aplicar esta norma, se ha realizado el cálculo del VEEI para después comparar entre los distintos diseños propuestos de iluminación natural.

Para el cálculo de la iluminancia media (E_m) hay un mínimo de puntos a considerar en función de la ecuación:

$$K = \frac{L*A}{H*(L+A)} \quad (2)$$

L: Longitud de la nave

A: Anchura de la nave

H: Altura de las luminarias respecto al plano de trabajo.

K	Mínimo de puntos
$K < 1$	4
$2 > K \geq 1$	9
$3 > K \geq 2$	16
$K > 3$	25

Tabla 3. Número de puntos de cálculo a considerar según la constante K. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.

DIALux utiliza un número de puntos muy superior al del caso de mayor número de puntos según la K.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

3.2 TIPOS DE ILUMINACIÓN

La iluminación se puede clasificar según dos criterios: en función de su origen (natural o artificial) y en función del área que ilumina (general o localizada):

- Iluminación natural: Proveniente del Sol, más saludable y económica que la iluminación artificial.
- Iluminación artificial: Es la que se obtiene por medio de cualquier dispositivo eléctrico que produce luz.
- Iluminación general: Repartida de manera uniforme por toda la zona de trabajo.
- Iluminación localizada: Iluminación enfocada sobre aquellas zonas que no han quedado suficientemente iluminadas por la iluminación general.

En función de donde se coloquen las aberturas que permitan la entrada de la luz natural tenemos: iluminación lateral (aberturas situadas en los laterales de la nave), cenital (aberturas situadas en la parte superior de la nave) o combinada (mezcla de las dos anteriores).

A continuación se muestra una imagen con los cinco tipos más comunes de iluminación natural.

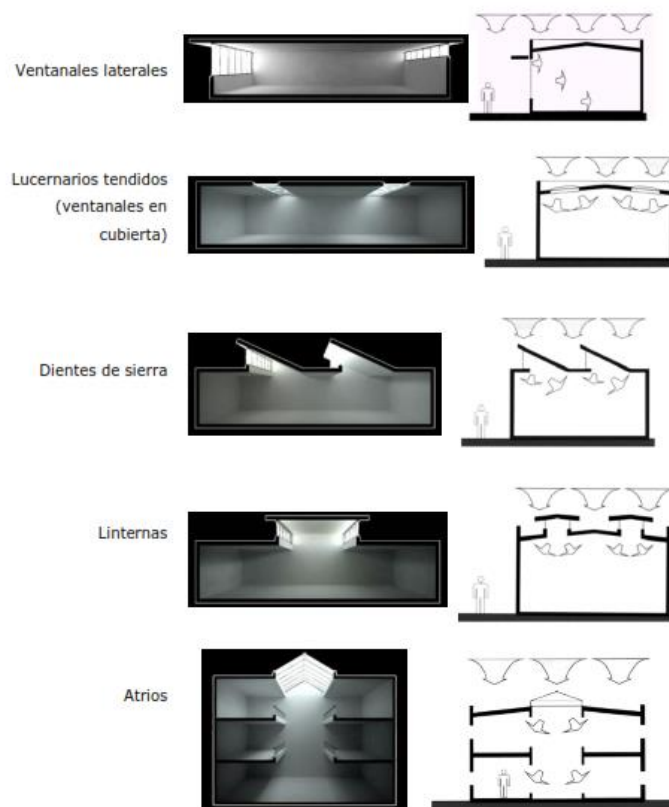


Imagen 5. Tipos de iluminación natural según colocación de aberturas. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

3.3 FACTORES IMPORTANTES EN LA ILUMINACIÓN NATURAL

No toda la luz que proviene del Sol incide sobre el local con la misma inclinación ni ha recorrido el mismo trayecto. Es decir, podemos diferenciar entre radiación directa (luz procedente de la bóveda celeste) y radiación difusa (luz procedente de la reflexión con edificios colindantes, las nubes, obstáculos, etc.).

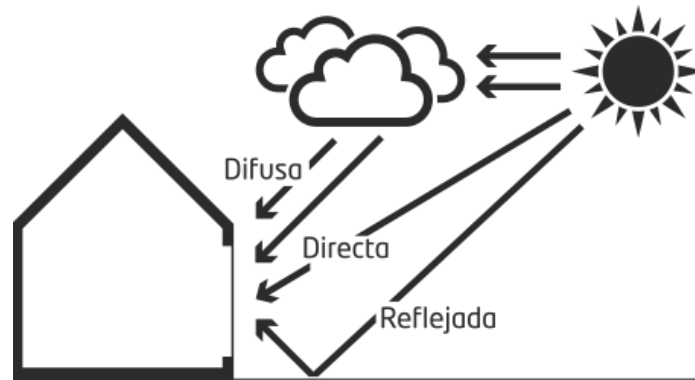


Imagen 6. Tipos de radiación solar. Fuente: <http://loncar.citel.es/soporte/>

En cuanto a la radiación directa, ésta se ve influida por los movimientos de rotación y traslación de la tierra. La rotación de la tierra hace que la posición del Sol varíe con el transcurso del año, lo que hace que la inclinación de los rayos del Sol varíe también. Por otro lado, la traslación de la tierra nos determina cuánto tiempo vamos a poder aprovechar el Sol hasta que anochezca.

En cuanto a la radiación difusa, ésta se ve fundamentalmente afectada por los cambios meteorológicos. La radiación difusa será mayor en un cielo nublado que en un cielo despejado.

La relación entre ambas radiaciones depende a su vez de la posición geográfica del local que queremos iluminar, los edificios que se encuentren cercanos, bosques, etc.

Para determinar la cantidad de radiación directa y difusa que incide sobre una superficie existen diferentes métodos, entre los que destacan los modelos matemáticos para representar el comportamiento de la luz solar desarrollados por la Commission International de l'Éclairage (CIE): cielo uniforme, cielo cubierto y cielo despejado.

En nuestro caso utilizaremos el modelo matemático de cielo cubierto. Esto es debido a que los paneles de policarbonato que se van a utilizar en los lucernarios son de un material translúcido que no deja pasar totalmente la luz solar.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

4. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La estructura sobre la cual vamos a realizar el estudio con el objetivo de obtener el máximo beneficio posible de la iluminación natural (exterior) se basa en dos naves adosadas.

La primera nave (situada a la derecha de la imagen 8) está formada por pórticos a dos aguas. Dichos pórticos tienen una luz de 24 metros y la profundidad de la nave es de 40 metros. Por lo tanto la nave cubre un terreno de superficie equivalente a 960 m². Los pilares de fachada lateral de esta nave tienen una altura de 8,65 metros, y los pilares de cumbrera tienen una altura que llega hasta los 9 metros.

La segunda nave (nave más pequeña situada a la izquierda de la imagen 8) está formada por pórticos a un agua y tiene unas dimensiones de 13,5 m x 40 m cubriendo un terreno de superficie equivalente a 540 m². Los pilares de fachada lateral de esta nave tienen una altura de 6 metros.

La estructura completa formada por ambas naves ocupa una superficie de 1500 m² (960 m² + 540 m²). Las cubiertas de ambas naves poseen una inclinación de $\alpha = 2,25^\circ$ y ambas naves poseen 7 pórticos con una crujía de separación de 6 metros.

Por último, para acabar de describir los elementos estructurales por los cuáles está compuesta la estructura, cabe destacar que la altura de los pilares situados entre las dos naves para permitir la unión entre ambas es de 8,65 metros.

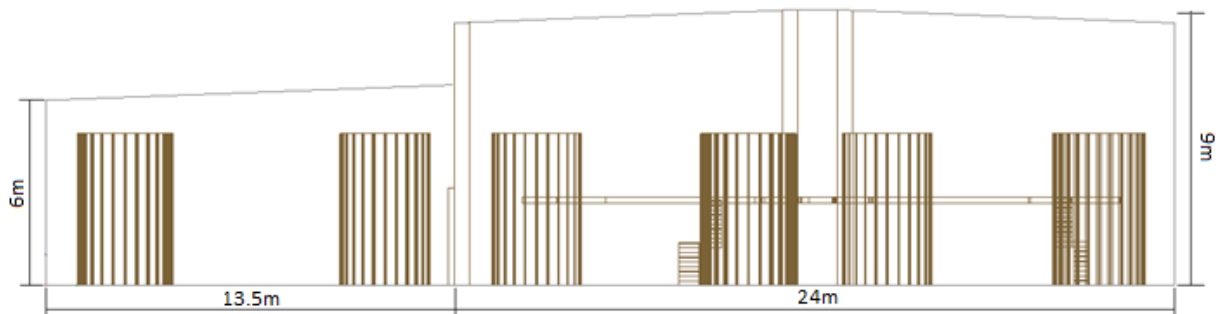


Imagen 7. Vista lateral del almacén. Fuente: DIALux

A la hora de realizar el estudio de iluminación, es obvio que la iluminación mínima que necesitamos en la planta no es igual en toda su superficie. Por eso se ha dividido la planta en zonas según la actividad que se desempeña en cada zona:

En primer lugar se encuentra la zona de trabajo y supervisión, esta zona debe permitir a los trabajadores la manipulación de válvulas u otros dispositivos de actuación y observar sin dificultad posibles dispositivos de medición situados en los barriles. Esta zona ocupa una superficie de 347,4065 m² y equivale a un 23% de la nave aproximadamente.

En segundo lugar nos encontramos con la zona dedicada a las escaleras, que tiene una superficie escasa en comparación con la superficie total, dicha superficie es de 9,041 m², es decir, un 0,6% de la superficie total.

Por último nos encontramos con la zona dedicada a pasillos y áreas de circulación que ocupa el resto de la superficie de la nave que no está ocupado por las zonas de trabajo o escaleras. Esta superficie abarca un 76,24% del total, unos 1143,55 m².

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

A continuación se muestra una tabla con un color asignado a cada zona y su correspondiente nivel mínimo de iluminación según la norma UNE12464.1. También se ha adjuntado una imagen de la nave vista desde arriba para facilitar visualmente la división en zonas de la misma.

Color	Zona	E_m requerido (según UNE12464.1)
Azul	Trabajo y supervisión	350 lux
Amarilla	Escaleras	150 lux
Verde	Pasillos y áreas de circulación	100 lux

Tabla 4. División en zonas del almacén

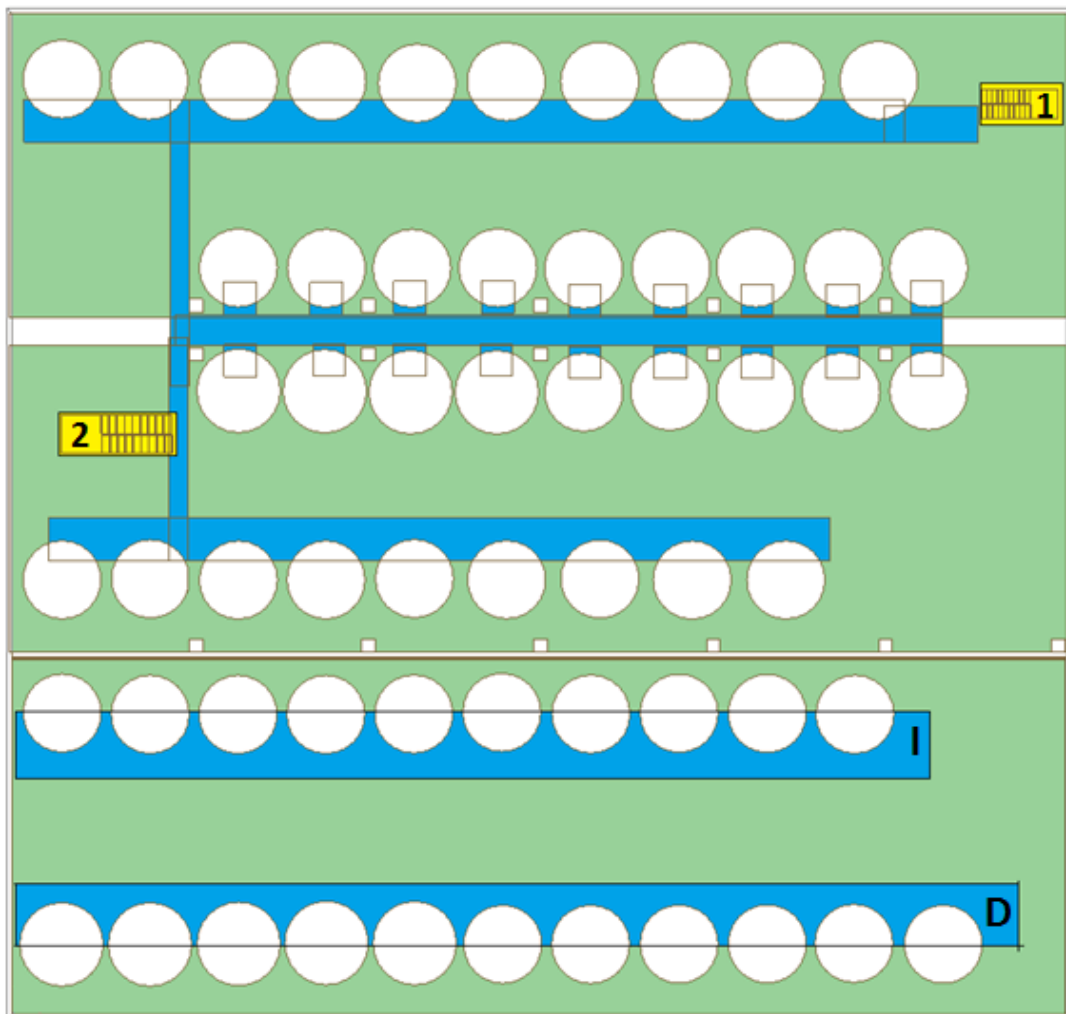


Imagen 8. Vista en planta del almacén. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

5. MÉTODO ANALÍTICO DE CÁLCULO

El método analítico es una modificación del método del Dr. Fruhling con objetivo de adaptarlo a las edificaciones industriales. Éste método nos sirve para determinar la superficie mínima de ventanas cenitales o laterales para cumplir los requisitos de iluminación interior.

$$\overline{E_{int}} = E_a * f * f' * \eta * \frac{S_v}{S_s} \quad (3)$$

E_{int} : Es el nivel medio de iluminación horizontal que necesitamos en nuestro local. Se calcula obteniendo la E_m mínima de cada zona en las que está dividida la nave dependiendo de su uso a partir de la UNE 12464.1 y aplicando la siguiente ecuación:

$$\overline{E_{int}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_{mi} * S_i}{S_T} \quad (4)$$

Siendo S_i la superficie de cada zona, y S_T la superficie total de la planta.

E_a : Cuando hablamos de E_a nos referimos al nivel de iluminación media en el exterior el cuál se considera de 3000 luxes. Esto es debido a que de las 4930 horas de luz que tiene un año, un 69,3 % (3416 horas) tienen un nivel medio de iluminación (difusa) mayor o igual a 3000 luxes.

f : El factor de ventanas f nos determina la cantidad de iluminación que recibe la ventana de la bóveda celeste.

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad (5)$$

Si una ventana está situada en un techo horizontal (respecto al suelo) tendría un factor de ventanas de 1 pues captaría toda la iluminación posible de la bóveda celeste, en cambio si una ventana está colocada en vertical, como sería en el caso de los laterales de nuestra nave, solo recibiría la mitad ($f=0.5$) de toda la iluminación que recibiría estando en horizontal.

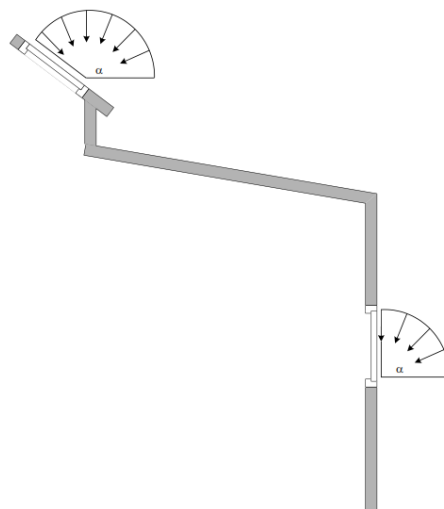


Imagen 9. Ángulo α dependiendo de la posición de la abertura. Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

f' : El factor característico de reducción ventana muro, es un factor que tiene en cuenta la posible disminución del paso de iluminación proveniente del Sol debido a el espesor del muro en el que está situada una ventana, la altura de la ventana y longitud de la misma.

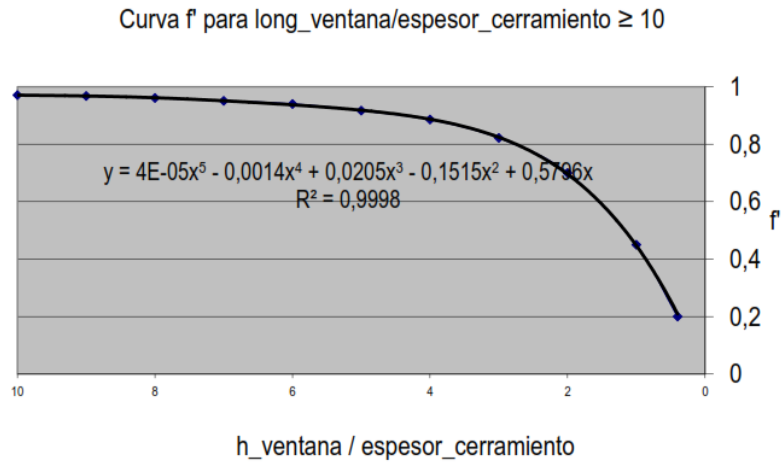


Imagen 10. Curva para la obtención del factor característico de reducción ventana muro.

Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.

En los cálculos se considerará f' equivalente a 1.

η : El rendimiento del recinto tiene en cuenta que aparte de que la luz incidente por la ventana ilumine el plano de trabajo, parte de dicha luz rebota por las superficies del recinto pudiendo volver a incidir sobre el plano de trabajo. En recintos rectangulares se suele estimar entre el 40-50 % pero también se puede calcular como la media de los coeficientes de reflexión de las paredes, techo y suelo de la nave:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \rho}{n} \quad (6)$$

Siendo n el número de superficies interiores de la nave y ρ el coeficiente de reflexión de cada una de ellas.

S_v : Superficie de ventanas necesaria para conseguir los niveles de iluminación deseados. Ésta es la incógnita que despejaremos en la ecuación (3) quedando:

$$S_v = \frac{\overline{E_{int}} * S_s}{E_a * f * f' * \eta} \quad (7)$$

S_s : Superficie total de suelo en el recinto.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Como resumen, el proceso consistirá en:

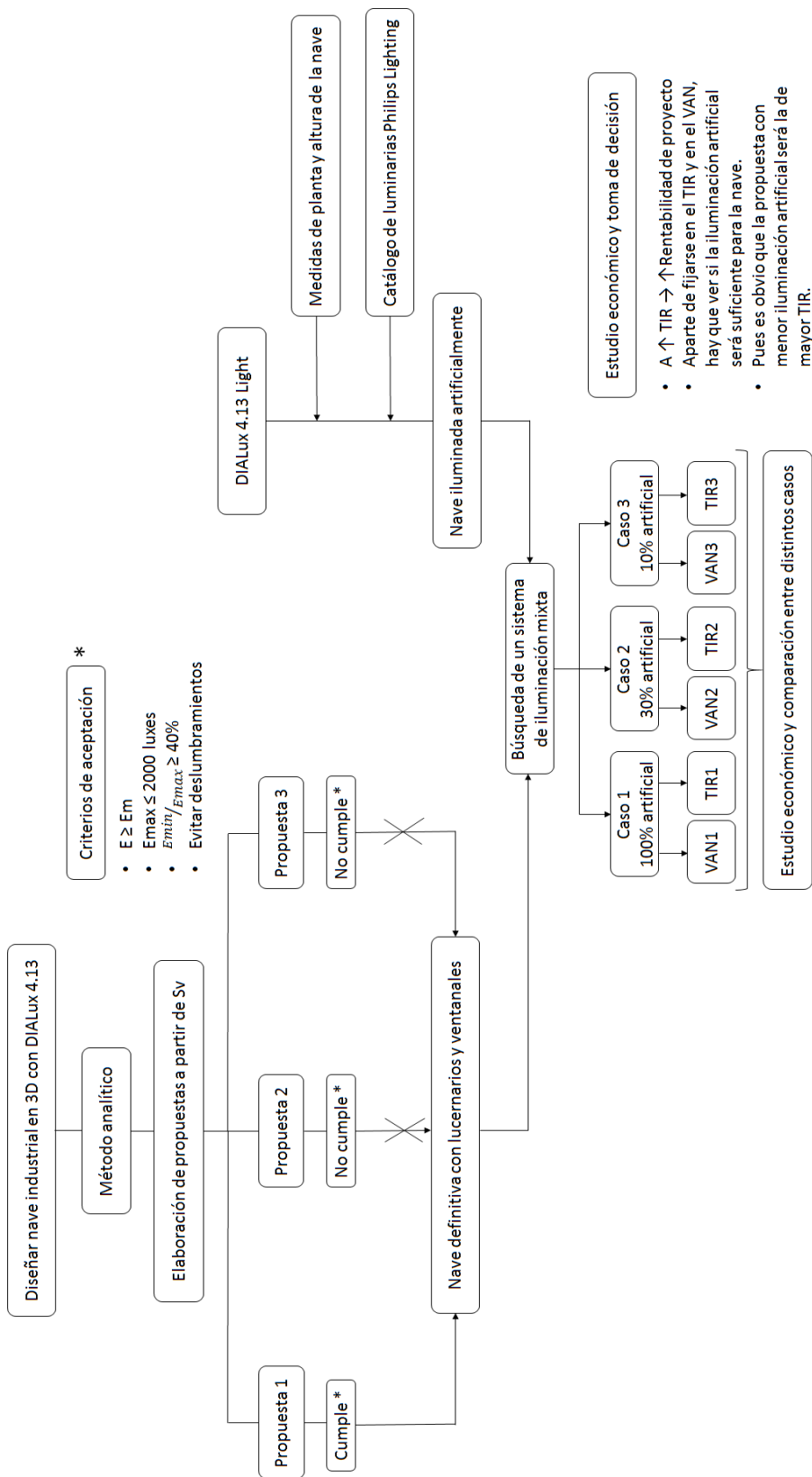
1. Establecer hipótesis de partida sobre: $E_a=3000$ lx y $S_s=1500$ m².
2. Calcular η .
3. Calcular $\overline{E_{int}}$.
4. Y por último calcular S_v en dos situaciones: cuando las ventanas se coloquen sólo en los laterales ($\alpha=90^\circ$ y por tanto $f=0.5$) y cuando se dispongan sólo ventanas en cubierta (α =inclinación de la cubierta).

Una vez calculada la superficie de ventanas necesaria, habrá que tener en cuenta una serie de criterios a la hora de situarlas. Entre los que destacan:

- Respeto de simetría estructural, no es recomendable situar una ventana en cubierta justo encima de una jácena.
- La luz buena debe incidir sobre el trabajador en ángulos superiores a 30° pues con ángulos inferiores podría tener efectos perjudiciales en los trabajadores.
- Cuanto a más altura situemos las ventanas obtendremos una menor iluminación pero la uniformidad será mayor.
- Si las ventanas están bien orientadas respecto al sur la uniformidad de iluminación que obtendremos será mayor.

En la siguiente página se muestra un mapa conceptual de todos los pasos que se llevarán a cabo en este proyecto. Con este mapa y el resumen hecho al principio de este documento se busca dejar claros los objetivos principales y metodologías del proyecto.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.



Nota: Para realizar el presupuesto se necesitará saber cuáles el diseño de iluminación natural definitivo, y también el número de luminarias necesarias para iluminar la nave a falta de luz solar.

Imagen 11. Mapa conceptual resumen. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Una vez se hayan ejecutado los análisis de las propuestas de iluminación natural diseñadas con DIALux, procederemos a analizar los resultados obtenidos y comprobaremos que dichos resultados respetan cuatro parámetros imprescindibles en todo recinto naturalmente iluminado. Estos parámetros son los siguientes:

- **Iluminación media (E_m):** Como ya se ha comentado brevemente antes, se dividirá la nave en zonas dependiendo del uso destinado a cada una de ellas y mirando en la UNE 12464.1 obtendremos la E_m necesaria en cada zona, y mirando una tabla de niveles de iluminación (E) que saca DIALux veremos si dichos niveles de iluminación consiguen la E_m deseada en cada zona.
- **Uniformidad (E_{min}/E_{max}):** Según el CTE el valor mínimo de uniformidad en todas las zonas de circulación de la nave deberá ser del 40%, en el caso de nuestra nave buscaremos que el valor de la uniformidad se encuentre entre el 30-40% en todas las zonas para garantizar una adecuada iluminación general.
- **Nivel máximo de iluminación (E_{max}):** Es importante respetar que el nivel máximo de iluminación no supere los 2000 luxes pues esto podría producir efectos perjudiciales para la salud de los trabajadores debido a cambios bruscos de iluminación.

Es por este parámetro por el cuál realizaremos un análisis de iluminación natural el día 10 de diciembre a las 12 de la mañana que es cuando hay una mayor incidencia de iluminación en el recinto dado que el Sol se encuentra más alto. Cabe destacar que la nave industrial en estudio está situada en Mendoza (Argentina) y por lo tanto los días más calurosos en dicha zona no concuerdan con los de España.

- **Deslumbramientos:** Antes se ha comentado que la luz buena debe incidir sobre el trabajador en ángulos superiores a 30° pues si no podría ser molesta para los trabajadores. Por lo tanto habrá que estudiar la posibilidad de deslumbramiento. Esto se realizará de forma manual pues DIALux no realiza dicho estudio automáticamente. Actualmente no existe un método unificado para prevenir los reflejos molestos.

7. APLICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO

Teniendo en cuenta las zonas en las que se ha dividido la nave, la iluminación media requerida para cada zona y la superficie de cada zona, se calculará el nivel medio de iluminación interior horizontal necesario para la nave por medio de la ecuación (4).

$$\overline{E_{int}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_{mi} * S_i}{ST} = \frac{347.4065 * 350 + 9.041 * 150 + 1143.55 * 100}{1500} = 158.202 \text{ luxes.}$$

Como se explicó con anterioridad en la introducción teórica se calculará seguidamente el rendimiento del recinto con la ecuación (6) y teniendo en cuenta los coeficientes de reflexión que se muestran en la siguiente tabla:

Superficie interior	Coefficiente de reflexión
Techo	0.7
Paredes(x4)	0.5
Suelo	0.2

Tabla 5. Coeficientes de reflexión de las superficies del recinto.

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \rho}{n} = \frac{0.7 + 0.2 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0.5}{6} = 0.48333.$$

Por último se calculará la superficie de ventanales ($f=0.5$) o de lucernarios ($f = \frac{177,76}{180} = 0.9876$) necesaria para conseguir la iluminación media horizontal interior calculada, para ello se utilizará la ecuación (7).

$$Sv = \frac{\overline{E_{int}} * Ss}{E_a * f * \eta} = \frac{158.202 * 1500}{3000 * 0.5 * 1 * 0.48333} = 327.3147 \text{ m}^2. \quad (f=0.5)$$

$$Sv = \frac{\overline{E_{int}} * Ss}{E_a * f * \eta} = \frac{158.202 * 1500}{3000 * 0.9876 * 1 * 0.48333} = 165.7122 \text{ m}^2. \quad (f=0.9876)$$

Una vez obtenida la superficie de ventanales o lucernarios necesaria para iluminar la nave se realizará lo siguiente:

- Si $Sv \geq \frac{Ss}{6}$ \longrightarrow $Svd = Sv$
- Si $Sv \leq \frac{Ss}{6}$ \longrightarrow $Svd = \frac{Ss}{6}$

$$327.3147 \geq \frac{1500}{6} = 250; Svd = 327.3147 \text{ m}^2 \quad (f=0.5)$$

$$165.7122 \leq \frac{1500}{6} = 250; Svd = 250 \text{ m}^2 \quad (f=0.9876)$$

Este criterio que se acaba de aplicar es acorde a una norma obsoleta de la OGSHT y no tendría por qué realizarse. Una vez obtenida la Svd (superficie de ventanales o lucernarios definitiva) se procede a la elaboración de diferentes propuestas, donde se colocan los ventanales o lucernarios siguiendo los criterios expuestos en el apartado 5.

Las propuestas que se van a mostrar a continuación se pueden dividir en dos grupos. Por un lado en la primera propuesta se han colocado los lucernarios exclusivamente en cubierta, y en las otras dos propuestas se ha intentado hacer una combinación de lucernarios situados en cubierta y ventanales en las fachadas laterales.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

7.1 DISEÑO DE PROPUESTA 1

Como primera propuesta se han situado 12 lucernarios en la cubierta de la nave más alta, de dimensiones 2m x 6m, y 6 lucernarios en la cubierta de la nave inferior, de 2.75m x 6m. En total 18 lucernarios que cubren una superficie equivalente a 243 m² que es un valor cercano a la Svd calculada en el apartado anterior.

A la hora de colocar los lucernarios se ha hecho de manera equidistante y se ha respetado la simetría estructural de la construcción. A continuación se muestra una imagen en 3D de la propuesta y la vista en planta de la nave para aclarar cómo se han dispuesto los lucernarios.

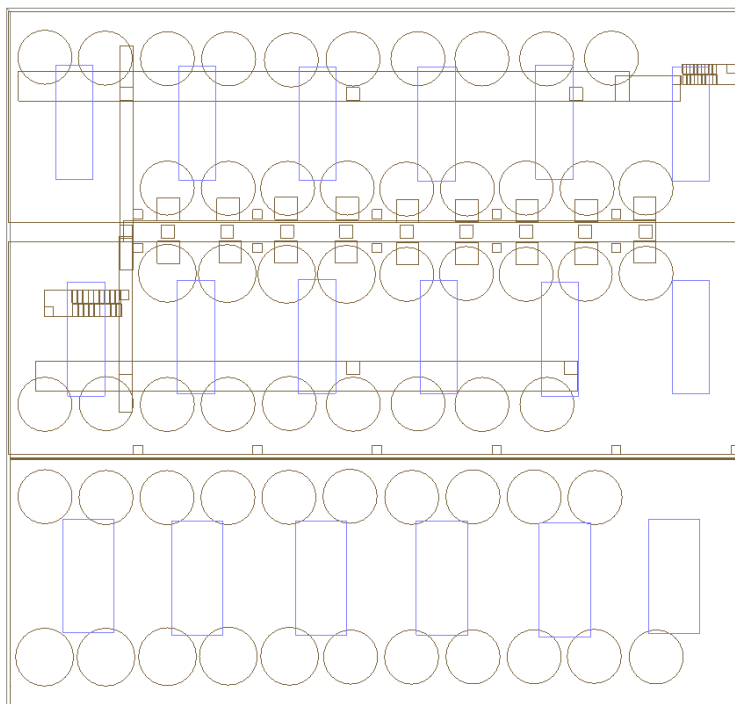


Imagen 12. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 1. Fuente: DIALux.

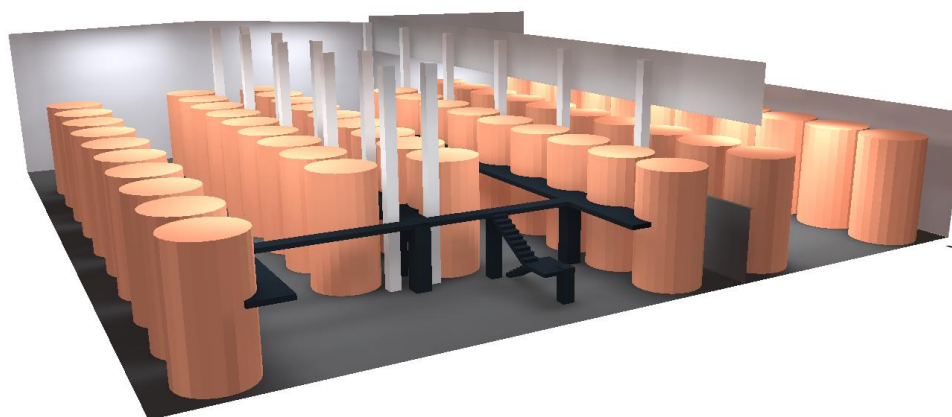


Imagen 13. Vista 3D del interior de la propuesta 1. Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

7.2 DISEÑO DE PROPUESTA 2

Como segunda propuesta se han situado 8 lucernarios en la cubierta de la nave más alta, de dimensiones 2m x 6m, 6 lucernarios en la cubierta de la nave inferior, de 2.75m x 6m, y 4 ventanales de 8m x 2m, 2 de ellos situados en la fachada norte y los otros dos en la fachada sur. En total 14 lucernarios y 4 ventanales que cubren una superficie equivalente a 259 m².

A la hora de colocar los lucernarios se ha hecho de manera equidistante y se ha respetado la simetría estructural de la construcción. A continuación se muestran dos imágenes en 3D de la propuesta y la vista en planta de la nave para aclarar cómo se han dispuesto los lucernarios y los ventanales.

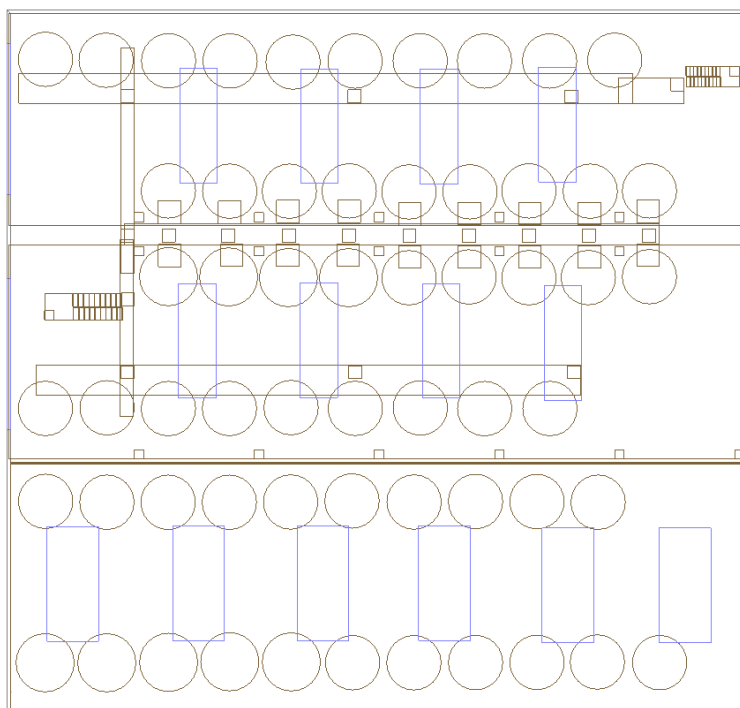


Imagen 14. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 2. Fuente: DIALux.

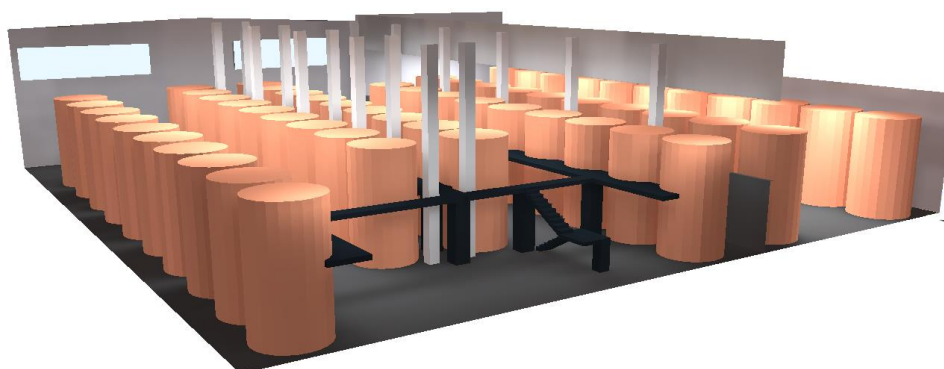


Imagen 15. Vista 3D del interior de la propuesta 2. Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

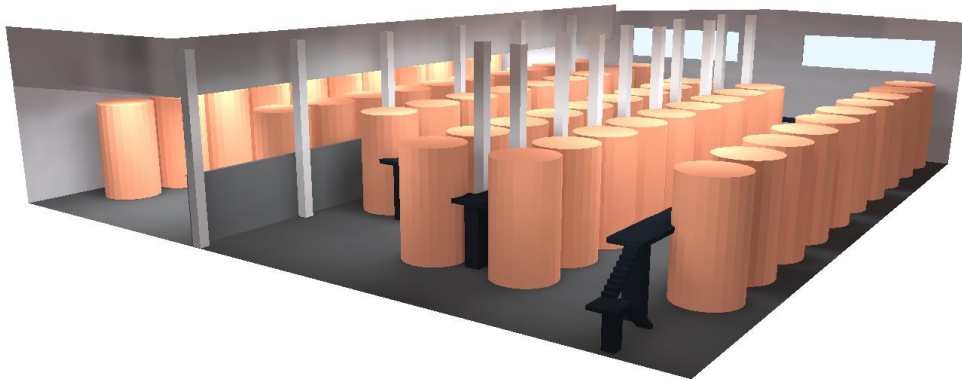


Imagen 16. Vista 3D del interior de la propuesta 2. Fuente: DIALux.

7.3 DISEÑO DE PROPUESTA 3

Como tercera propuesta se han situado 8 lucernarios en la cubierta de la nave más alta, de dimensiones 2m x 6m, 4 lucernarios en la cubierta de la nave inferior, de 2.75m x 6m, y 6 ventanales de 8m x 2m, 3 de ellos situados en la fachada norte y los otros 3 en la fachada sur. En total 12 lucernarios y 6 ventanales que cubren una superficie equivalente a 258 m².

A la hora de colocar los lucernarios se ha hecho de manera equidistante y se ha respetado la simetría estructural de la construcción. A continuación se muestran dos imágenes en 3D de la propuesta y la vista en planta de la nave para aclarar cómo se han dispuesto los lucernarios y los ventanales.

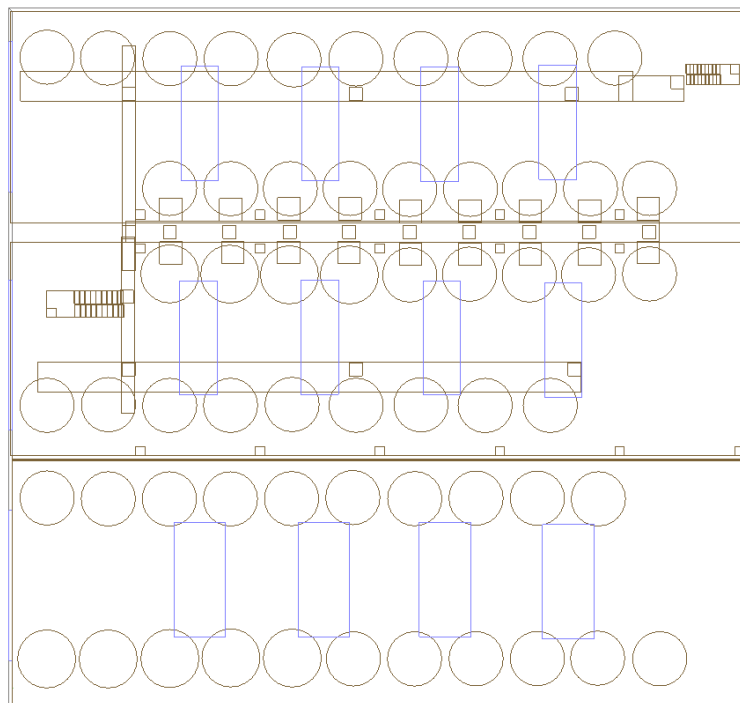


Imagen 17. Vista en planta del almacén con los lucernarios de la propuesta 3. Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

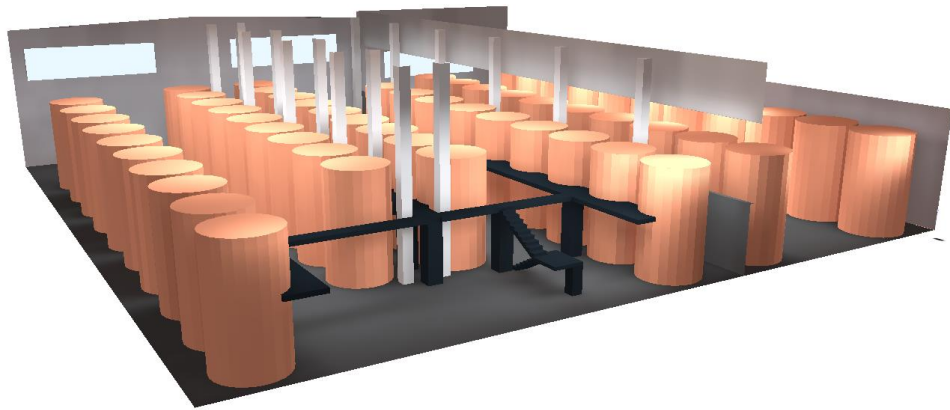


Imagen 18. Vista 3D del interior de la propuesta 3. Fuente: DIALux.

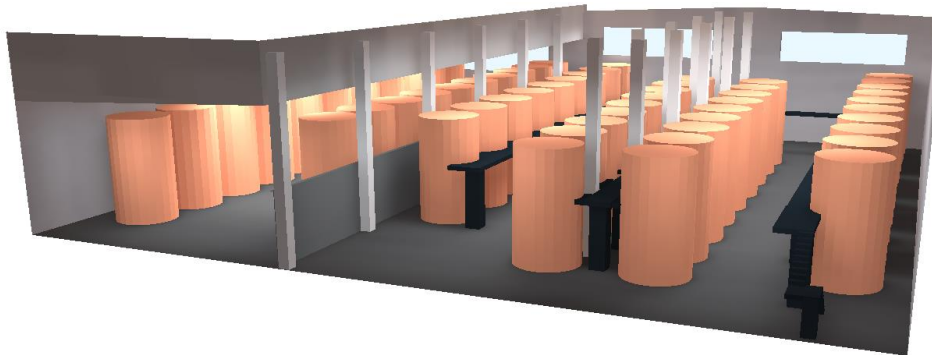


Imagen 19. Vista 3D del interior de la propuesta 3. Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

8. SIMULACIÓN DIALUX Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS

En primer lugar, se someterán las propuestas anteriores a diferentes simulaciones.

Las simulaciones se realizarán para los días más calurosos y para los días más fríos. Esto es porque en los días más fríos es más difícil obtener los niveles medios mínimos de iluminación que requiere la planta, y en los días más calurosos es muy fácil superar los niveles máximos de iluminación permitidos, lo que puede afectar a la salud y bienestar de los trabajadores.

Como nuestra nave se encuentra situada en Mendoza (Argentina), el día más caluroso es el 10 de diciembre a las 12:00 horas, y el día más frío y oscuro es el 23 de junio, para este día se llevarán a cabo varias simulaciones a lo largo de la mañana (Desde las 9:00 horas hasta las 12:00 horas).

Como se ha explicado en el apartado 6 se comprobará en cada propuesta lo siguiente:

1. Que se cumpla el nivel medio de iluminación horizontal interior medio $\overline{E_{int}} = 158.202$ luxes.
2. Que se cumpla el nivel medio de iluminación exigido a cada zona de la nave (E_{mi}).
3. Obtener en cada zona de la nave una uniformidad de iluminación de al menos un 30%.
4. Comprobar si en los días más calurosos del año no se produce una iluminación máxima superior a los 2000 luxes ($E \leq E_{max}=2000lux$).
5. Comprobar también si hay posibilidad de deslumbramiento para los trabajadores de la nave.

8.1 DESLUMBRAMIENTOS

A continuación se expondrá el análisis de deslumbramiento para las propuestas 2 y 3 que son las únicas que incluyen ventanales en las fachadas norte y sur.

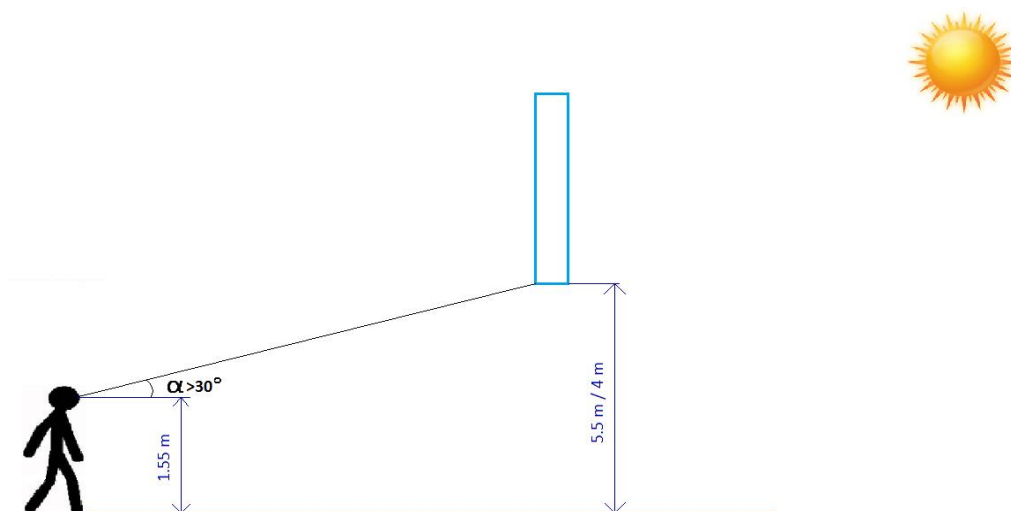


Imagen 20. Deslumbramientos posibles para el trabajador. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Para calcular la distancia a partir de la cual se producirán deslumbramientos en los trabajadores hacemos lo siguiente:

- $\tan 30 = \frac{5.5}{x} \longrightarrow x = 9.53 \text{ m}$
- $\tan 30 = \frac{4}{x} \longrightarrow x = 6.93 \text{ m}$

Para entender mejor lo que se acaba de hacer, se muestra una imagen de la vista en planta de la nave en la que se señalan las zonas que más están expuestas a deslumbramientos.

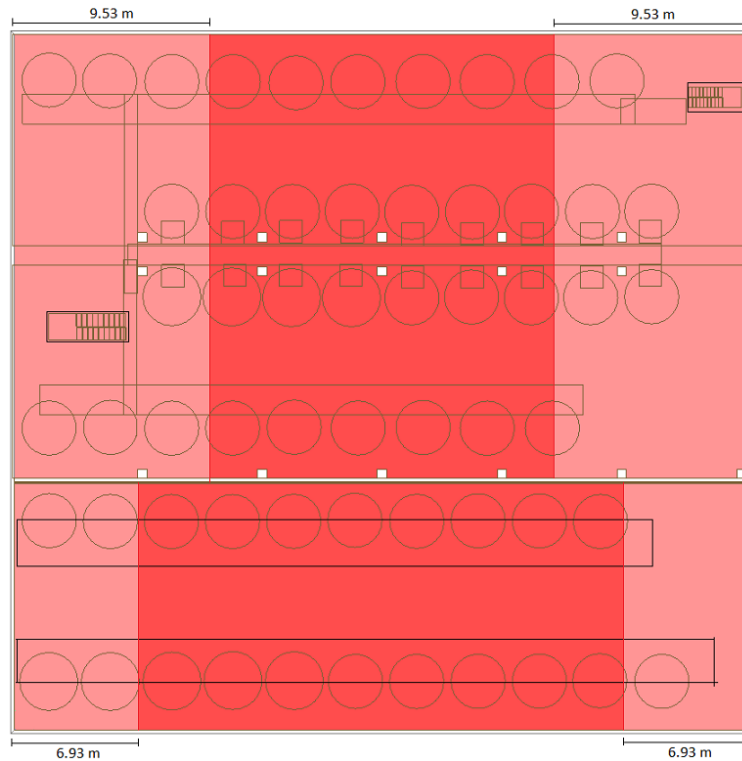


Imagen 21. Vista en planta del almacén con las zonas de deslumbramiento señaladas. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se muestra en rojo oscuro la zona donde los trabajadores tendrán más peligro de deslumbramiento. Debido a que dicha zona supone más del 50% de la planta y que como veremos más adelante el situar ventanales en las fachadas norte y sur disminuye el nivel de luminosidad así como la uniformidad de iluminación de la planta disminuye, a simple vista no parece que las propuestas 2 y 3 vayan a ser las más beneficiosas.

En cualquier caso como los paneles de policarbonato que se utilizarán son translucidos la posibilidad de deslumbramiento aun estando en la zona de peligro es más baja que si los paneles de policarbonato fueran transparentes.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

8.2.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 1

A continuación se muestran una serie de imágenes con los resultados de las simulaciones realizadas sobre la propuesta 1. Después de las imágenes se muestran unas tablas que recogen los datos más importantes de la simulación que nos servirán para decidir si tomamos la propuesta por válida o no.

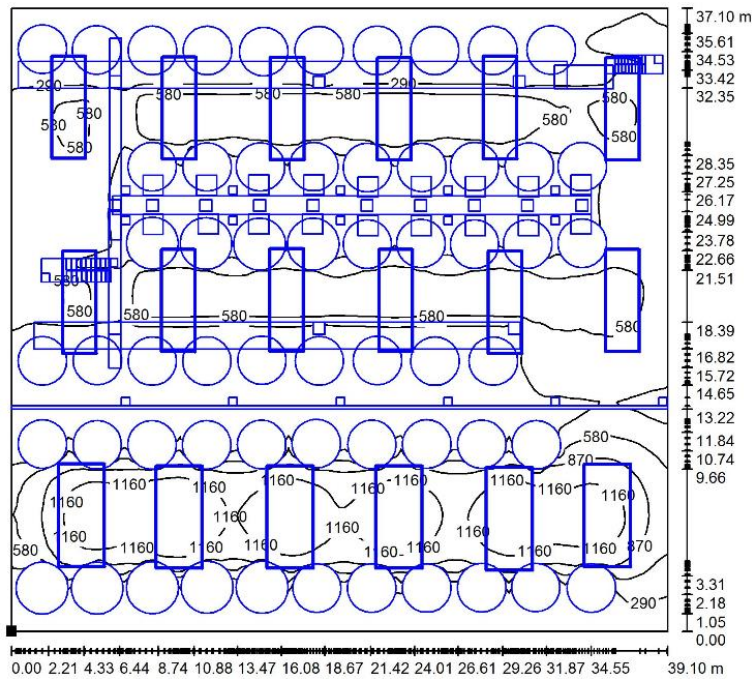


Imagen 22. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas.

Fuente: DIALux.

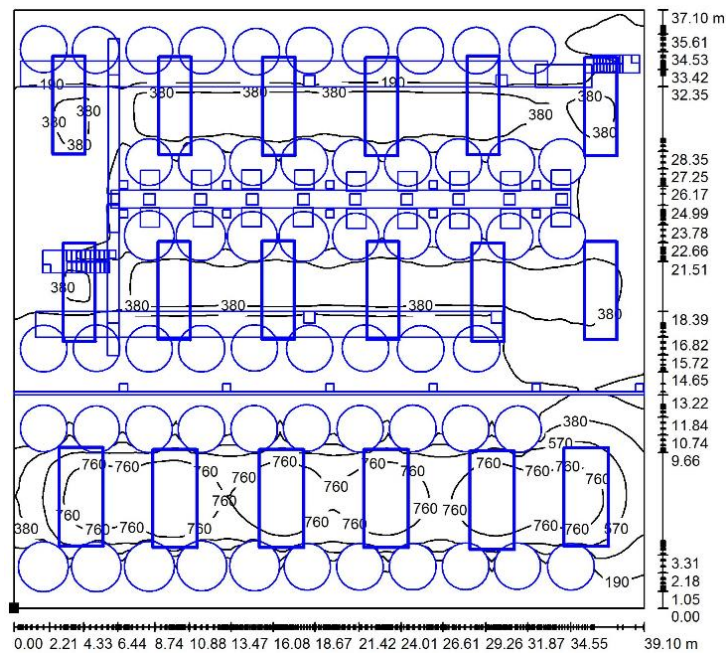


Imagen 23. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas.

Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

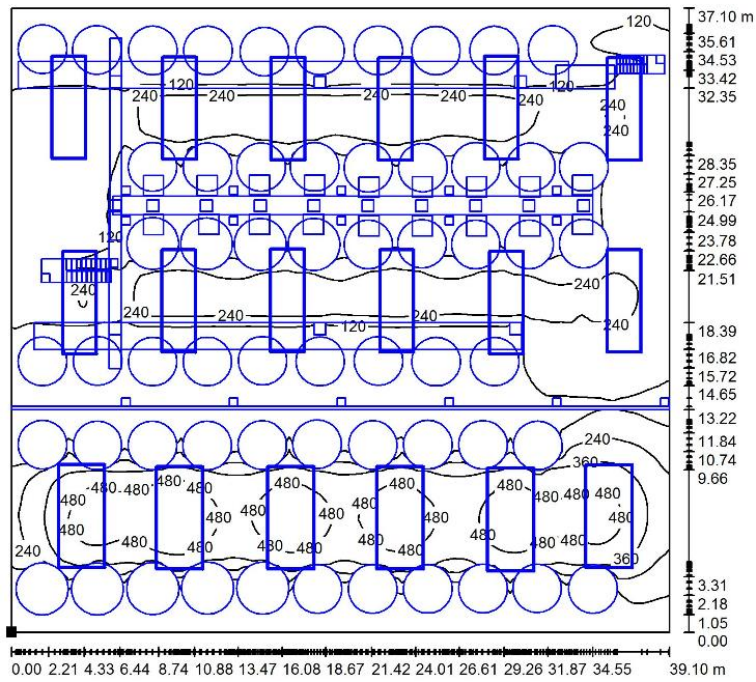


Imagen 24. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas.

Fuente: DIALux.

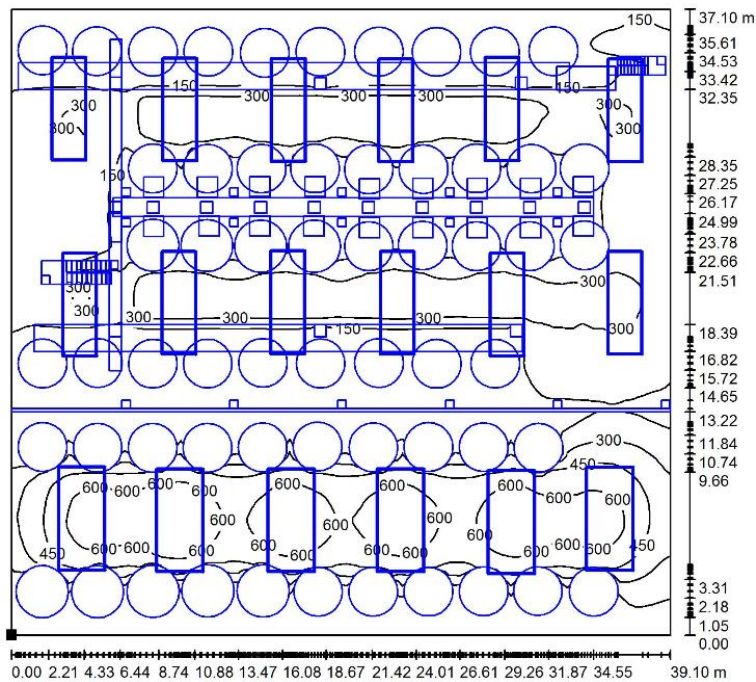


Imagen 25. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

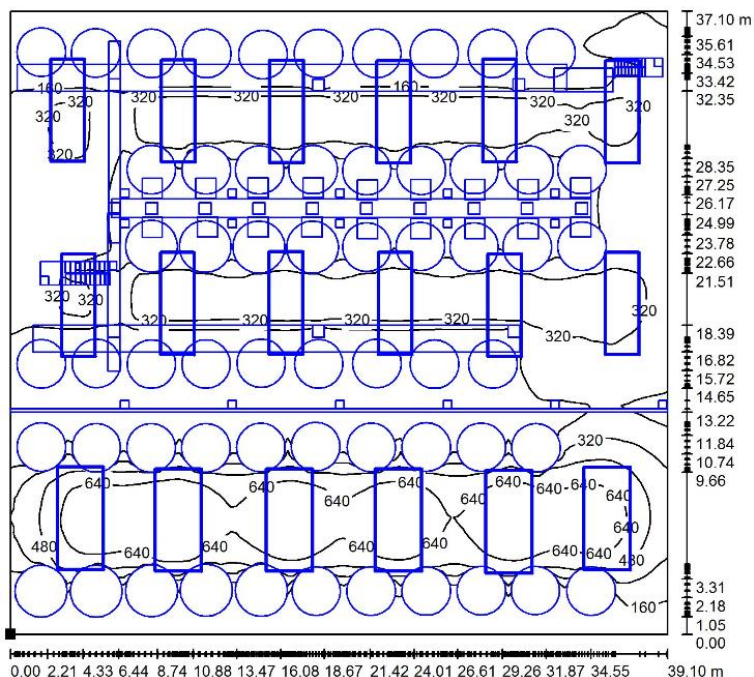


Imagen 26. Simulación sobre la propuesta 1 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas.
Fuente: DIALux.

Zona 1 D					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1306	591	1062.987	0.556	0.452
23jun9	857	388	698	0.556	0.453
23jun10	519	235	422.342	0.556	0.453
23jun11	658	298	537.34	0.554	0.453
23jun12	735	333	589.71	0.565	0.453
Zona 1 I					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1263	492	919.921	0.535	0.389
23jun9	829	323	604.25	0.534	0.39
23jun10	502	195	355.88	0.548	0.388
23jun11	637	248	463.92	0.534	0.389
23jun12	711	277	518.16	0.534	0.39

Tabla 6. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 1.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Zona 2 Escalera 1					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	456	331	407.95	0.811	0.753
23jun9	300	217	218.3	0.994	0.723
23jun10	181	131	162	0.809	0.724
23jun11	230	167	168	0.994	0.726
23jun12	257	186	233.524	0.796	0.724
Zona 2 Escalera 2					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	591	514	552.19	0.931	0.871
23jun9	388	338	362.69	0.932	0.871
23jun10	235	204	219.46	0.929	0.868
23jun11	298	259	278.6	0.93	0.869
23jun12	333	289	311	0.929	0.868

Tabla 7. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 1.

Zona 3					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1424	4.66	508	0.009	0.003
23jun9	936	3.06	334	0.009	0.003
23jun10	566	1.85	202	0.009	0.003
23jun11	718	2.35	256	0.009	0.003
23jun12	802	2.62	286	0.009	0.003

Tabla 8. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 1.

Prestando atención a las tablas, observamos que con la propuesta 1 se cumplen todos los mínimos de iluminación, no se supera la iluminación máxima en ninguna de las fechas simuladas, se obtiene más de un 30% de uniformidad en cada zona y no hay posibilidad alguna de deslumbramientos para los trabajadores.

Cabe destacar que aunque en la Zona 3 (pasillos y área de circulación) nos sale una uniformidad menor del 30 % no hay que tenerla en cuenta. Esto es debido a que en vez de analizar la zona 3, se han cogido los valores generales de toda la planta que saca directamente DIALux, por tanto ha tenido en cuenta las esquinas oscuras o zonas que no son de tránsito a la hora de sacar tanto la uniformidad como la E_{min} .

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Esto se ha hecho de esta forma pues seleccionar únicamente las zonas de circulación sin tener en cuenta las sombras que hay entre los bidones y las esquinas oscuras de la nave era una tarea costosa e imprecisa, además si se cumple que el nivel de iluminación medio para toda la nave es superior al que se necesita en la zona 3, es seguro que la zona 3 estará bien iluminada.

8.2.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 2

A continuación se muestran una serie de imágenes con los resultados de las simulaciones realizadas sobre la propuesta 2. Después de las imágenes se muestran unas tablas que recogen los datos más importantes de la simulación que nos servirán para decidir si tomamos la propuesta por válida o no.

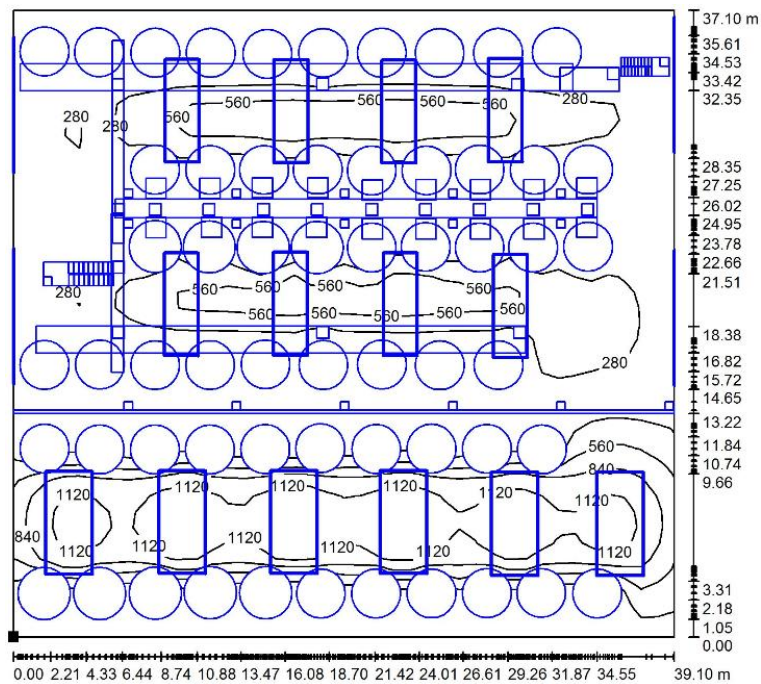


Imagen 27. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

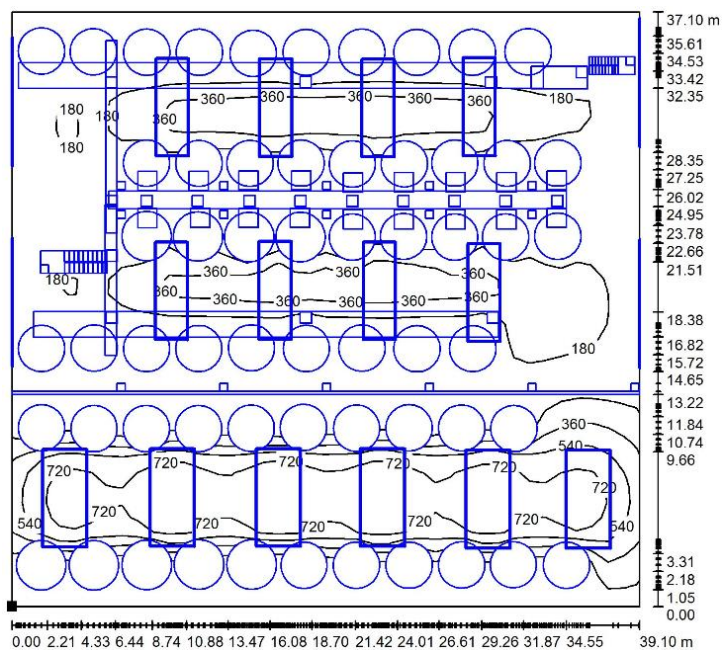


Imagen 28. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas.

Fuente: DIALux.

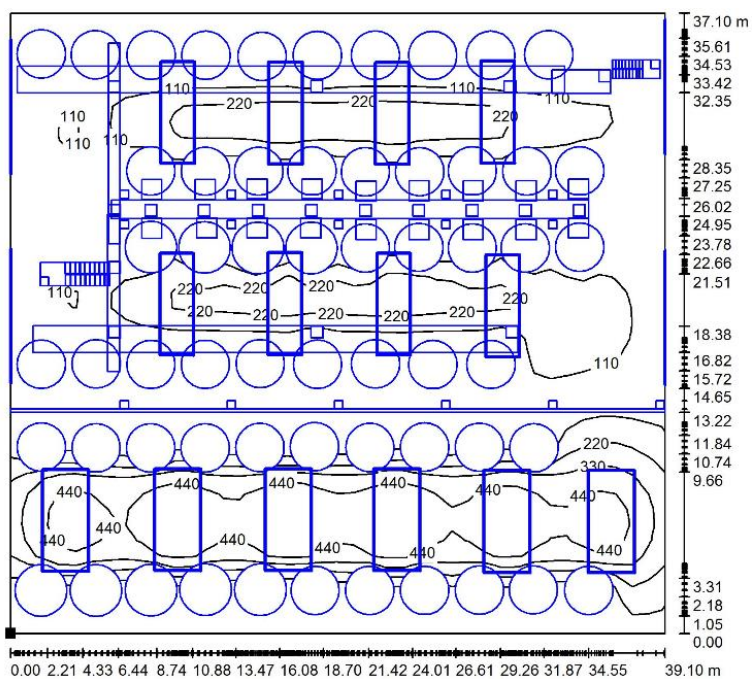


Imagen 29. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

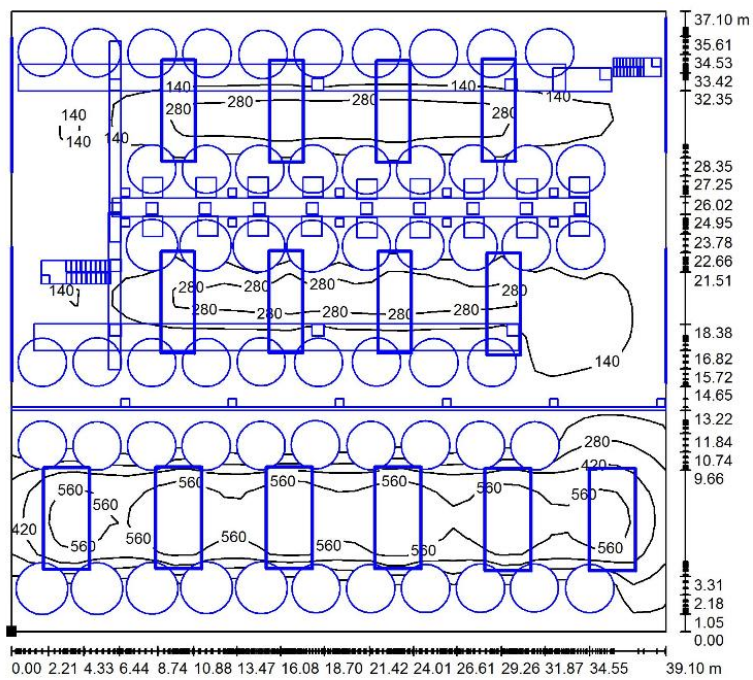


Imagen 30. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas.

Fuente: DIALux.

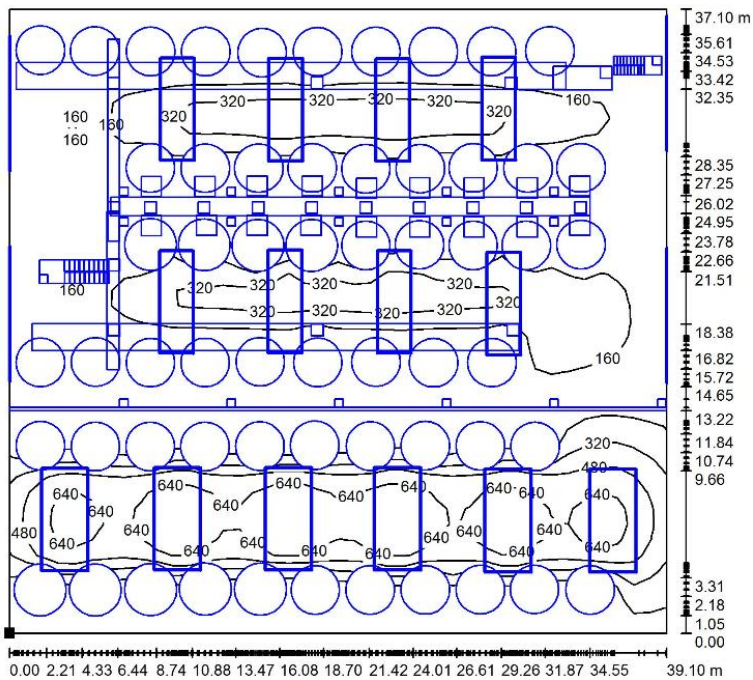


Imagen 31. Simulación sobre la propuesta 2 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Zona 1 D					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1268	744	1045.83	0.711	0.587
23jun9	832	489	686.87	0.712	0.588
23jun10	504	296	415.6	0.712	0.587
23jun11	639	375	527.54	0.711	0.587
23jun12	714	419	588.974	0.711	0.587
Zona 1 I					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1223	611	831.88	0.734	0.499
23jun9	803	402	585.37	0.687	0.501
23jun10	486	243	354.224	0.686	0.500
23jun11	617	308	449.58	0.685	0.499
23jun12	689	344	502.08	0.685	0.499

Tabla 9. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 2.

Zona 2 Escalera 1					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	182	114	151.353	0.753	0.626
23jun9	119	75	99.53	0.753	0.630
23jun10	72	45	60.12	0.748	0.625
23jun11	92	57	76.29	0.747	0.620
23jun12	102	64	85.12	0.752	0.627
Zona 2 Escalera 2					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	283	249	267.8	0.930	0.880
23jun9	186	160	175.85	0.910	0.860
23jun10	112	99	106.385	0.931	0.884
23jun11	143	125	135.11	0.925	0.874
23jun12	159	140	150.73	0.929	0.880

Tabla 10. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 2.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Zona 3					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1386	4.31	436	0.010	0.003
23jun9	910	2.83	286	0.010	0.003
23jun10	551	1.71	173	0.010	0.003
23jun11	699	2.17	220	0.010	0.003
23jun12	781	2.43	246	0.010	0.003

Tabla 11. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 2.

Prestando atención a las tablas, observamos que con la propuesta 2 no se supera la iluminación máxima en ninguna de las fechas simuladas, se obtiene más de un 30% de uniformidad en cada zona, pero no se alcanza el mínimo de iluminación medio en las escaleras en el día 23 de junio.

Cabe destacar que en esta propuesta los valores de uniformidad son superiores a los conseguidos por la propuesta 1.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

8.2.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS PROPUESTA 3

A continuación se muestran una serie de imágenes con los resultados de las simulaciones realizadas sobre la propuesta 3. Después de las imágenes se muestran unas tablas que recogen los datos más importantes de la simulación que nos servirán para decidir si tomamos la propuesta por válida o no.

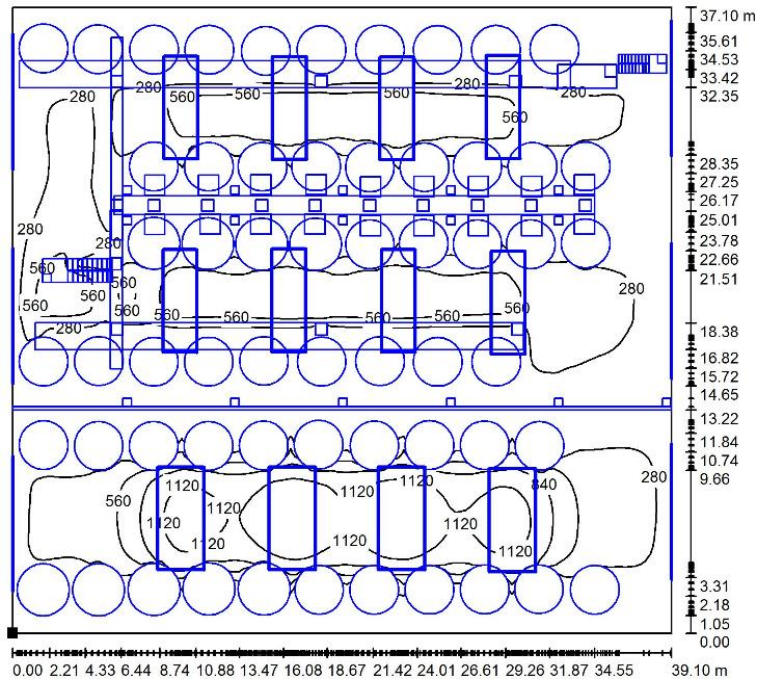


Imagen 32. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 10 de diciembre a las 12:00 horas.

Fuente: DIALux.

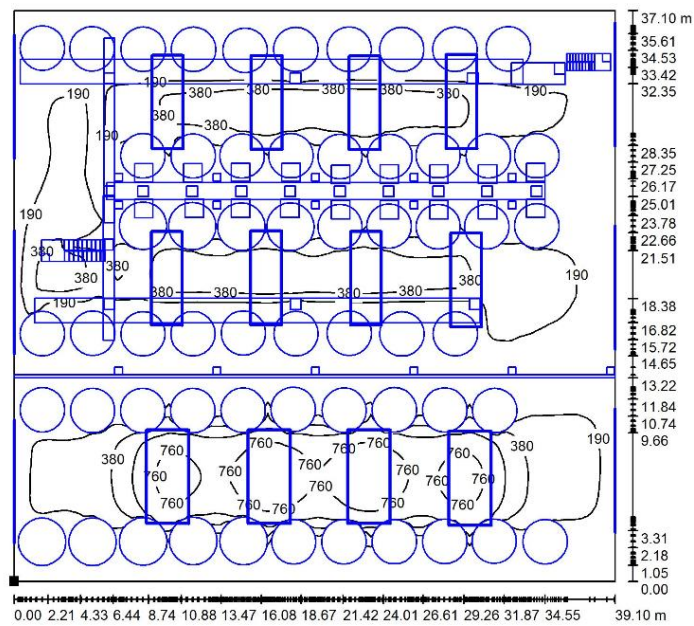


Imagen 33. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 9:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

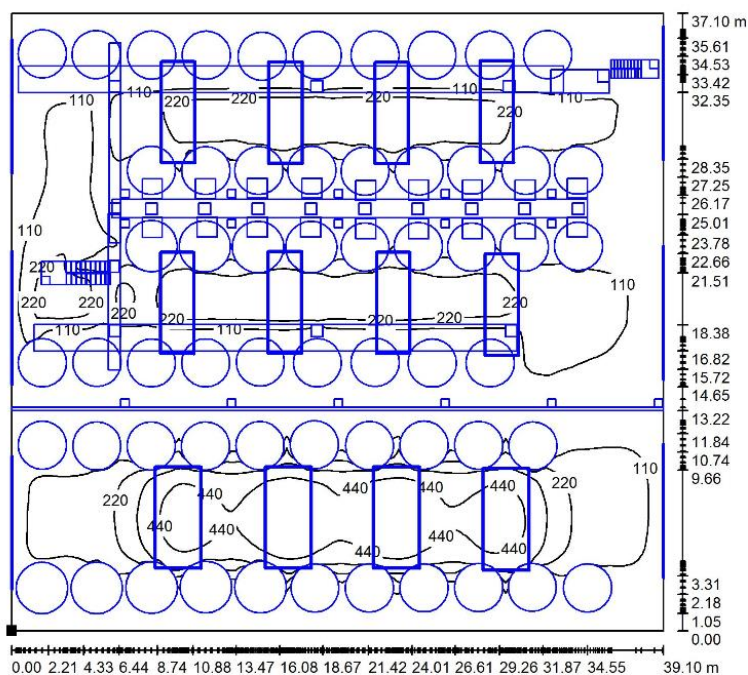


Imagen 34. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 10:00 horas.

Fuente: DIALux.

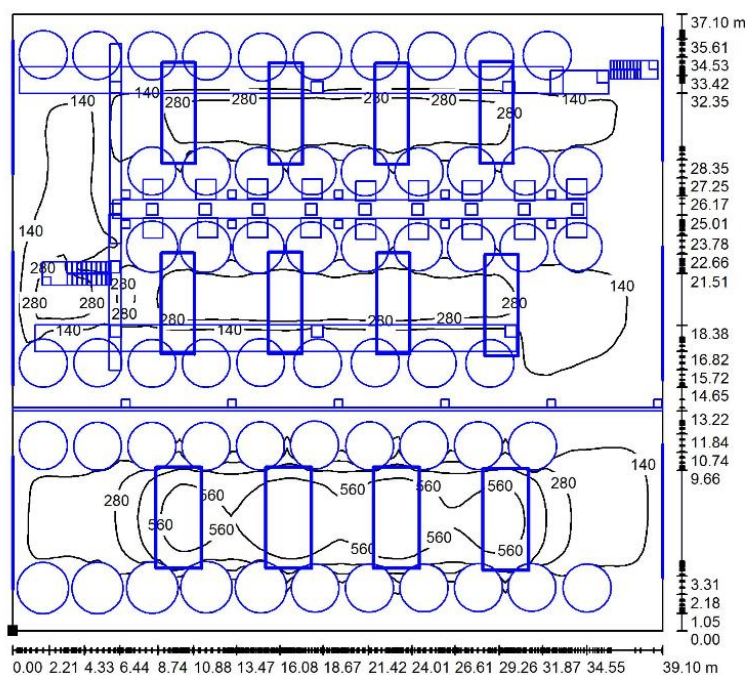


Imagen 35. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 11:00 horas.

Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

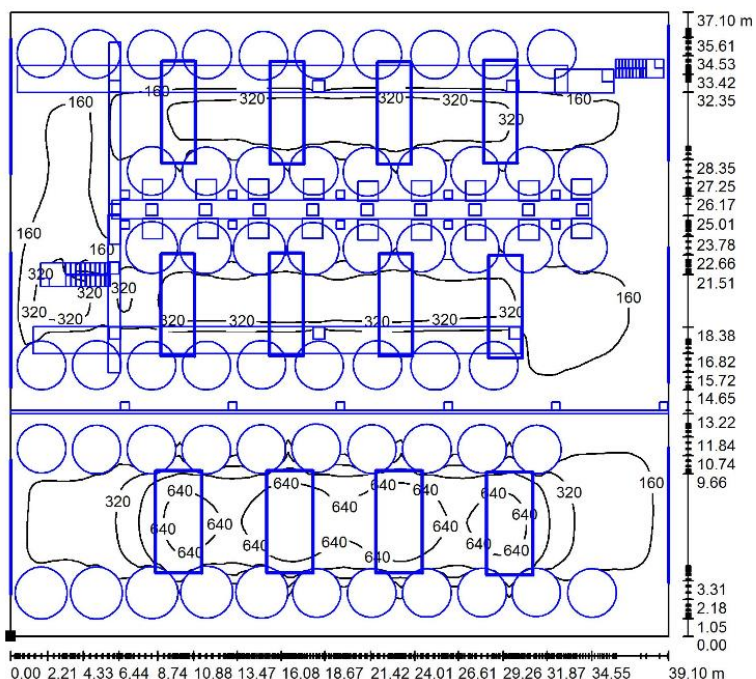


Imagen 36. Simulación sobre la propuesta 3 corrida el día 23 de junio a las 12:00 horas.
Fuente: DIALux.

Zona 1 D					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1265	246	815.395	0.302	0.194
23jun9	831	161	535.55	0.301	0.194
23jun10	503	98	324.01	0.302	0.195
23jun11	638	124	411.19	0.302	0.194
23jun12	713	138	459.28	0.300	0.193
Zona 1 I					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1220	215	696.59	0.309	0.176
23jun9	802	141	457.54	0.308	0.176
23jun10	485	85	276.77	0.307	0.175
23jun11	616	109	351.35	0.310	0.177
23jun12	687	121	392.29	0.308	0.176

Tabla 12. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 1 de las simulaciones sobre la propuesta 3.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Zona 2 Escalera 1					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	182	112	148.88	0.752	0.615
23jun9	119	73	97.7	0.747	0.613
23jun10	72	44	57.35	0.767	0.611
23jun11	92	56	75.235	0.744	0.609
23jun12	102	63	83.47	0.755	0.618
Zona 2 Escalera 2					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	691	566	631.35	0.896	0.819
23jun9	454	372	414.61	0.897	0.819
23jun10	275	225	250.923	0.897	0.811
23jun11	348	286	318.42	0.898	0.822
23jun12	389	319	355.65	0.897	0.820

Tabla 13. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 2 de las simulaciones sobre la propuesta 3.

Zona 3					
Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12	1378	4.34	384	0.01	0.003
23jun9	905	2.85	252	0.01	0.003
23jun10	547	1.73	152	0.01	0.003
23jun11	695	2.19	193	0.01	0.003
23jun12	776	2.45	216	0.01	0.003

Tabla 14. Niveles de iluminación y uniformidades en la zona 3 de las simulaciones sobre la propuesta 3.

Prestando atención a las tablas, observamos que con la propuesta 3 no se supera la iluminación máxima en ninguna de las fechas simuladas, se obtiene menos de un 30% de uniformidad en las dos zonas de trabajo, no se alcanza el mínimo de iluminación media en la escalera 1 en ningún día y tampoco se alcanza el mínimo de iluminación media en ambas zonas de trabajo el día 23 de junio a las 10:00 horas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

9. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y DECISIÓN

Una vez realizados los análisis de todas las propuestas se realizará una comparación entre todas las propuestas para decidir cuál de las tres es la más conveniente para el almacén.

Seguidamente se expone una tabla resumen de la comparación entre las distintas propuestas.

	Iluminación media requerida según UNE12464.1 (E_m) (lux)					E_{max} (lux)	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
	Zona 1 D	Zona 1 I	Zona 2 Escalera 1	Zona 2 Escalera 2	Zona 3			
	350	350	150	150	100			
PROPUESTA 1								
10/12/2017 12:00	1062.987	919.921	407.95	552.19	508	1424	SI	NO
23/06/2017 10:00	422.342	355.88	162	219.46	202	936	SI	NO
23/06/2017 12:00	589.71	518.16	168	311	286	802	SI	NO
PROPUESTA 2								
10/12/2017 12:00	1045.83	831.88	151.353	267.8	436	1386	SI	SI
23/06/2017 10:00	415.6	354.224	60.12	106.385	173	551	SI	SI
23/06/2017 12:00	588.974	502.08	85.12	150.73	246	781	SI	SI
PROPUESTA 3								
10/12/2017 12:00	815.395	696.59	148.88	631.35	384	1378	NO	SI
23/06/2017 10:00	324.01	276.77	57.35	250.923	152	547	NO	SI
23/06/2017 12:00	459.28	392.29	83.47	355.65	216	776	NO	SI

Tabla 15. Comparación de propuestas.

Como podemos observar en la imagen al sustituir ventanales por lucernarios, exponemos a los trabajadores a riesgos de deslumbramiento y además disminuyen tanto los valores medios de iluminación como la uniformidad.

Por lo tanto en vista de que la propuesta 1 cumple todos los requisitos lumínicos que nuestra nave necesita y además no genera problema alguno con los deslumbramientos, tomaremos la propuesta 1 como propuesta definitiva.

10. DESARROLLO DE LA MEJOR PROPUESTA (PROPUESTA 1)

Una vez se ha seleccionado la propuesta que más nos conviene de las inicialmente pensadas, se procede a realizar un análisis más minucioso de la misma.

Las simulaciones anteriores se han realizado en un plano de trabajo situado a una cota de 1.55 metros (altura promedio desde donde mira un trabajador), faltando por analizar las zonas de trabajo de las pasarelas que se encuentran a una altura superior. Por este motivo, se procede a efectuar las mismas simulaciones que se le realizaron anteriormente a la propuesta 1 pero con el plano de trabajo situado a una altura de 4.55 metros (3 m altura de pasarelas + 1.55 m).

Seguidamente se muestra una vista en planta de la nave para dejar clara la nomenclatura que se le ha dado a cada zona de las pasarelas, y también se muestran los resultados lumínicos de esta zona de trabajo.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

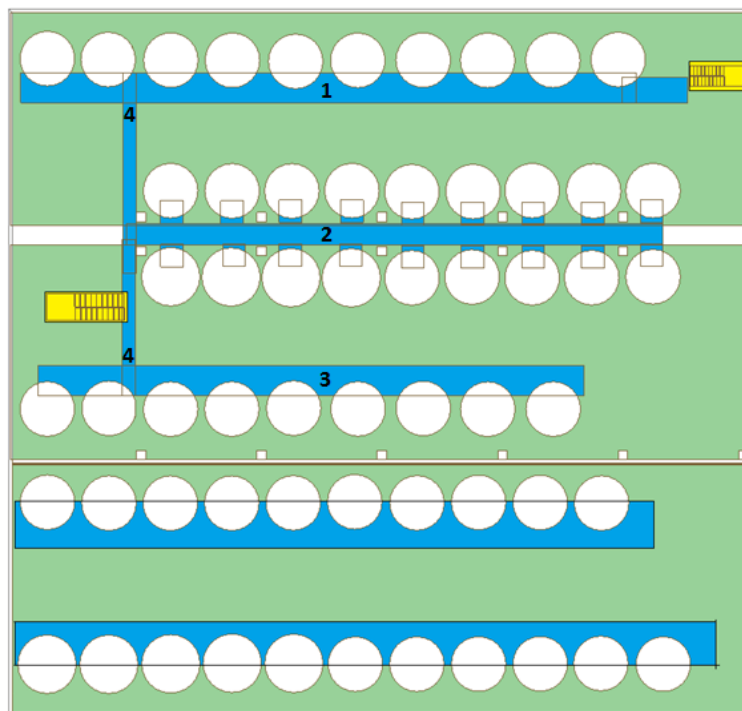


Imagen 37. Vista en planta del almacén para detallar pasarelas. Fuente: Elaboración propia.

Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
10dic12					
Zona 1	1068	719	892.3	0.806	0.673
Zona 2	555	297	413.98	0.717	0.535
Zona 3	984	395	772	0.512	0.401
Zona 4	1007	377	734	0.514	0.374

Tabla 16. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (10 de diciembre a las 12:00 horas).

Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
23jun9					
Zona 1	702	426	586	0.727	0.607
Zona 2	365	195	271.9	0.717	0.534
Zona 3	646	259	538	0.481	0.401
Zona 4	661	248	483.22	0.513	0.375

Tabla 17. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 9:00 horas).

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
23junio10					
Zona 1	424	258	354.59	0.728	0.608
Zona 2	221	118	164.53	0.717	0.534
Zona 3	391	157	324	0.484	0.401
Zona 4	400	150	292.27	0.513	0.375

Tabla 18. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 10:00 horas).

Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
23junio11					
Zona 1	539	327	450	0.727	0.607
Zona 2	280	150	210	0.714	0.536
Zona 3	496	199	412.5	0.482	0.401
Zona 4	508	190	371.19	0.512	0.374

Tabla 19. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 11:00 horas).

Escena de luz	E_{max}	E_{min}	E_m	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
23junio12					
Zona 1	602	365	502.59	0.726	0.606
Zona 2	313	167	233.5	0.715	0.533
Zona 3	554	222	461.2	0.481	0.401
Zona 4	567	212	414.17	0.512	0.374

Tabla 20. Niveles de iluminación y uniformidades de las pasarelas (23 de junio a las 12:00 horas).

A la vista de los resultados se puede observar que la zona 2 queda mal iluminada en el día más oscuro del año, y que las zonas 3 y 4 podrían tener algún problema también aunque aparentemente no muy importante.

Para solucionar esto, se podría situar algún tipo de iluminación localizada en la zona 2, o recubrir los bidones cercanos a dicha zona de un material que tenga un mayor coeficiente de reflexión que el ya seleccionado (teniendo cuidado de que dicha reflexión no produzca deslumbramientos en los trabajadores).

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

11. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL (DIALux Light)

Como no se posee como dato el número de luminarias que hay instaladas en la planta, se procederá a utilizar un módulo específico del programa utilizado para realizar los estudios de simulación natural para determinar aproximadamente la cantidad de luminarias, éste programa es el denominado "DIALux Light".

A este programa se le introducirán los datos geométricos de la planta (altura máxima, anchura y longitud), un tipo específico de luminaria procedente de un catálogo y la iluminación media requerida en la planta según las actividades que se vayan a desarrollar (158.202 luxes).

Debido a que la planta está formada por dos naves adosadas de diferente altura, se introducirán en el programa como si fueran dos naves independientes. Cabe destacar que las luminarias que se utilizarán en la aproximación son las PHILIPS Lighting GentleSpace gen2 con una potencia unitaria de 218 W.

Estas luminarias destacan por ser adecuadas para la iluminación de espacios de gran altura y también por la utilización de tecnología LED, lo que les otorga una larga vida útil y una resistencia al calor muy alta lo que permite usarlas en condiciones extremas.

Las luminarias se encuentran suspendidas en el techo a una altura de aproximadamente 0.6 metros.

Seguidamente se muestra una gráfica que muestra la relación entre la luz emitida por la luminaria y el ángulo de emisión. También se adjunta en el Anexo 1 la ficha técnica de la luminaria.

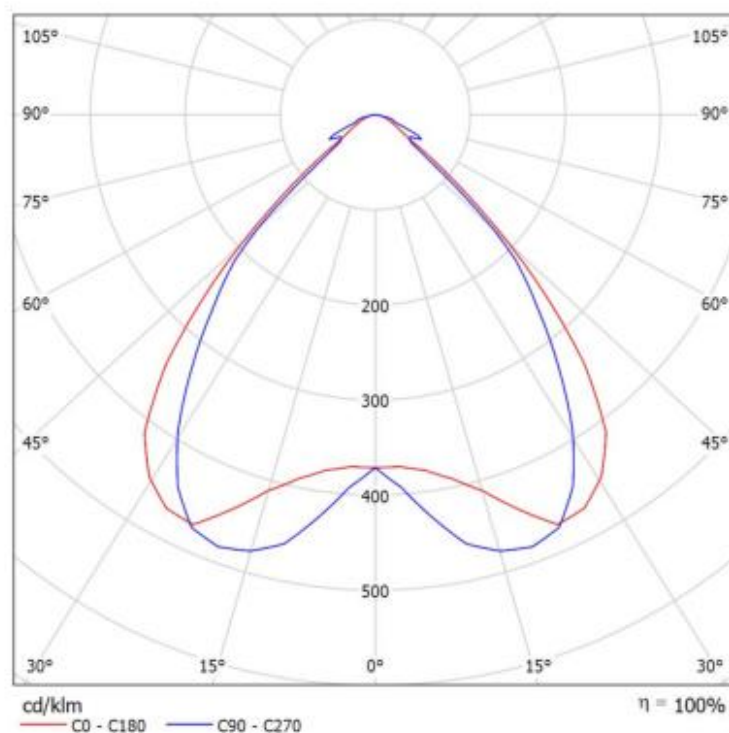


Imagen 38. Flujo de emisión de la luminaria. Fuente: DIALux Light.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Para la nave de mayor altura (9.1 m) el número aproximado de luminarias determinado por el programa es de 15.

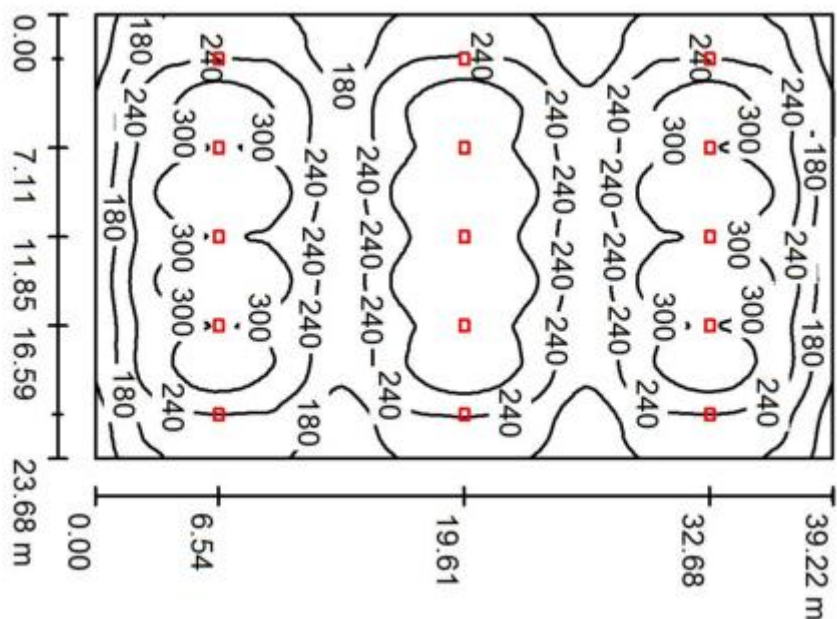


Imagen 39. Distribución lumínica de las luminarias en la nave de 9.1 m. Fuente: DIALux Light.

Para la nave de menor altura (6.6 m) el número aproximado de luminarias determinado por el programa es de 9.

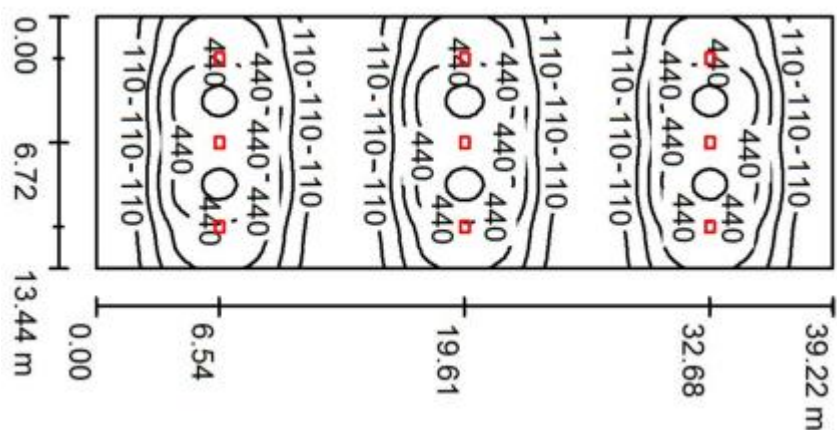


Imagen 40. Distribución lumínica de las luminarias en la nave de 6.6 m. Fuente: DIALux Light.

En total, el número de luminarias mínimo para cubrir el nivel de iluminación requerido es de 24 luminarias.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

12. ILUMINACIÓN MIXTA

Teniendo en cuenta que no es lógico tener un sistema de iluminación 100% natural dado que la iluminación de nuestra planta dependería exclusivamente de la iluminación exterior, se realizarán una serie de propuestas que incluyan iluminación artificial.

Todas estas opciones que se propongan deberán cumplir con el CTE tal y como se ha explicado en el apartado 3.1.

A continuación se desarrollarán 3 opciones:

- 0% iluminación natural – 100% iluminación artificial.
- 80% iluminación natural – 20% iluminación artificial.
- 65% iluminación natural – 35% iluminación artificial.

12.1 OPCIÓN 1: 100% iluminación artificial

Puesto que el objetivo principal de este TFG es obtener un aprovechamiento a nivel lumínico de la luz proveniente de la bóveda celeste, esta opción no será la que finalmente se escoja para la planta en estudio.

Para el cálculo del VEEI en esta opción se tendrá en cuenta que el número total de luminarias es de 24, y la potencia unitaria de cada una es de 218W. A parte de estos datos se utilizarán también la superficie total de la nave y la iluminación media necesaria.

Superficie (m ²)	VEEI ((W/m ²)/100 lux)
1500	2.205

Tabla 21.VEEI para 100% iluminación artificial (24 luminarias).

12.2 OPCIÓN 2: 20% iluminación artificial – 80% iluminación natural

Para esta opción se realizará el mismo procedimiento que el que se ha usado para la opción 1, sólo que con un 20% de las horas de luz que en dicho caso. Esto sería aproximadamente equivalente a tener en cuenta que solamente se instalan el 20% de las luminarias que en el caso anterior.

Superficie (m ²)	VEEI ((W/m ²)/100 lux)
1500	0.459

Tabla 22.VEEI para 20% iluminación artificial (5 luminarias).

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

12.3 OPCIÓN 3: 35% iluminación artificial – 65% iluminación natural

Para esta opción se realizará el mismo procedimiento que el que se ha usado para la opción 1, sólo que con un 35% de las horas de luz que en dicho caso. Es decir, se utilizarán 9 luminarias en el cálculo.

Superficie (m ²)	VEEI ((W/m ²)/100 lux)
1500	0.827

Tabla 23.VEEI para 35% iluminación artificial (9 luminarias).

13. GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA

La facturación eléctrica consta de dos términos, el de la potencia contratada y el de la energía consumida. Estos a su vez influyen en el impuesto sobre la electricidad y en el IVA. Luego por último en la facturación también aparece un término fijo, que es el coste del alquiler del aparato de medida.

$$\text{Facturación} = T_p + T_E + E_E + I_E + \text{IVA} + A.$$

En primer lugar, para el cálculo del término de potencia será necesario saber que potencia de consumo fija necesita la nave. Para saber dicho dato se ha elaborado la siguiente tabla:

Nombre de la máquina	Unidades	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)
Batería de las carretillas elevadoras	10	10	100
Luminarias	24	0.218	5.232
Tomas de corriente	5	3.45	17.25
Tomas de corriente trifásica	15	11	165
TOTAL			287.482

Tabla 24.Potencia total (kW) necesaria para el almacén.

Puesto que nuestra potencia total contratada se encuentra entre 15 kW y 450 kW, la tarifa de precios a utilizar será de alta tensión 3.1A.

Cabe destacar que se considerará como nulo el valor del alquiler del aparato de medida pues es un dato desconocido.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Se tomará como tarifa de precios los de la siguiente tabla.

P	Término de energía (€/kWh)	Término de potencia (€/kW año)
P1 (punta)	0.012754	36.490689
P2 (llano)	0.014335	59.173468
P3 (valle)	0.007805	8.367731

Tabla 25. Precios de la energía eléctrica según periodo (Tarifa 3.1A). Fuente:
http://www.tarifa-electrica.es/at_dos.php

El precio de la electricidad no solo depende del mes en el que nos encontremos si no de la hora también como se adjunta la siguiente imagen:

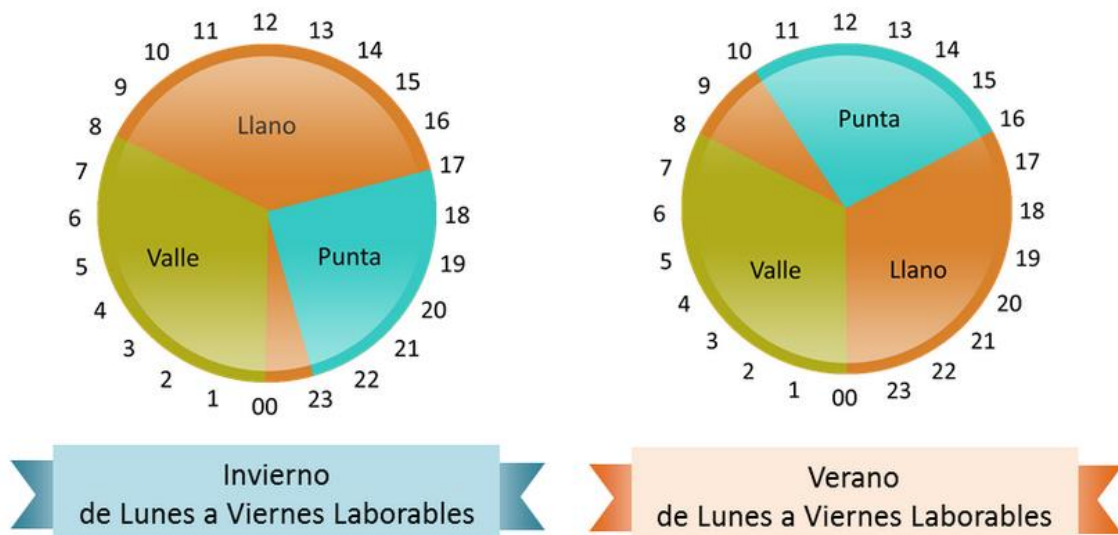


Imagen 41. Precios de la electricidad en función del mes y la hora. Fuente:
http://www.enara-energia.es/discriminacion_horaria.html

Teniendo en cuenta esto y que se sabe que en la bodega se trabaja de lunes a viernes desde las 8 am hasta las 6pm, se ha elaborado una tabla a modo resumen que incluye también el número de días trabajados cada mes.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Enero	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	22
Febrero	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	20
Marzo	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	23
Abril	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	22
Mayo	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	23
1-15 Junio	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	11
16-30 Junio	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	11
Julio	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	21
Agosto	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	23
Septiembre	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	22
Octubre	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	22
Noviembre	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	22
Diciembre	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P1	21
											263

Tabla 26. Tabla de periodos y días de cada mes que se utilizará en los cálculos.

Para obtener el término de potencia se utilizará la siguiente ecuación para cada mes:

$$\sum_{i=1}^3 P_i * P_T * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \quad (8)$$

P_i: Precio de cada periodo.

P_T: Potencia total de la instalación (kW).

Este término será el mismo para todos los meses del año, puesto que es fijo e independiente del número de días trabajados cada mes.

Para obtener el término de energía (alquiler de línea eléctrica) se utilizará la siguiente ecuación para cada mes:

$$\sum_i^n h_i * N_i * P_i * P_T \quad (9)$$

P_T: Potencia total consumida por las luminarias (kW)

P_i: Precio de cada periodo.

h_i: Número de horas de cada periodo.

N_i: Número de días trabajados al mes.

Aparte de este valor para cada mes, en el término de la energía se tendrá en cuenta el gasto por el consumo eléctrico para el cual se han utilizado los precios de la siguiente tabla obtenidos de una factura eléctrica:

Periodo	Precio (€/kWh)
P1	0.078122
P2	0.086489

Tabla 27. Gasto de electricidad en función del periodo.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

13.1 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 1

Teniendo en cuenta que el número de luminarias obtenido por medio de DIALux Light es de 24 y que la potencia unitaria de cada luminaria es de 218 W, obtenemos que la potencia total que se debe tener en cuenta a la hora de calcular los costes de la energía utilizada es de 5.232 kW.

Con lo dicho en el párrafo anterior y las tablas 24 y 23 se obtienen los siguientes gastos de energía.

	Coste
Enero	114.91 €
Febrero	104.46 €
Marzo	120.13 €
Abril	109.18 €
Mayo	114.14 €
1-15 Junio	54.59 €
16-30 Junio	54.59 €
Julio	104.22 €
Agosto	114.14 €
Septiembre	109.18 €
Octubre	109.18 €
Noviembre	114.91 €
Diciembre	109.68 €
TOTAL	1,333.33 €

Tabla 28. Tabla de costes del termino de energía para la opción 1.

En cuanto al término de potencia, como la potencia total requerida por la instalación es de 287.482 kW y atendiendo a los precios de la tabla 25:

$$T_p = P1 * 287.482 * (1/12) + P2 * 287.482 * (1/12) + P3 * 287.482 * (1/12).$$

$$T_p = 2492.2746 \text{ €/mes.}$$

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Posteriormente se procederá al cálculo del impuesto eléctrico por medio de la siguiente ecuación:

$$I_E = (T_p + T_E) * 1.05113 * 4.864\% \quad (10)$$

	Termino Energía	Impuesto Eléctrico
Enero	114.91 €	133.30 €
Febrero	104.46 €	132.76 €
Marzo	120.13 €	133.56 €
Abril	109.18 €	133.00 €
Mayo	114.14 €	133.26 €
1-15 Junio	54.59 €	66.50 €
16-30 Junio	54.59 €	66.50 €
Julio	104.22 €	132.75 €
Agosto	114.14 €	133.26 €
Septiembre	109.18 €	133.00 €
Octubre	109.18 €	133.00 €
Noviembre	114.91 €	133.30 €
Diciembre	109.68 €	133.03 €
TOTAL	1,333.33 €	1,597.24 €

Tabla 29. Tabla de costes del impuesto eléctrico para la opción 1.

Por último se aplicará un IVA del 21% al conjunto de gastos calculados hasta ahora.

	Termino Energía	Impuesto Eléctrico	IVA	Total
Enero	114.91 €	133.30 €	575.50 €	3,315.98 €
Febrero	104.46 €	132.76 €	573.19 €	3,302.69 €
Marzo	120.13 €	133.56 €	576.65 €	3,322.62 €
Abril	109.18 €	133.00 €	574.24 €	3,308.70 €
Mayo	114.14 €	133.26 €	575.33 €	3,315.01 €
1-15 Junio	54.59 €	66.50 €	287.12 €	1,654.35 €
16-30 Junio	54.59 €	66.50 €	287.12 €	1,654.35 €
Julio	104.22 €	132.75 €	573.14 €	3,302.39 €
Agosto	114.14 €	133.26 €	575.33 €	3,315.01 €
Septiembre	109.18 €	133.00 €	574.24 €	3,308.70 €
Octubre	109.18 €	133.00 €	574.24 €	3,308.70 €
Noviembre	114.91 €	133.30 €	575.50 €	3,315.98 €
Diciembre	109.68 €	133.03 €	574.35 €	3,309.34 €
TOTAL	1,333.33 €	1,597.24 €	6,895.95 €	39,733.81 €

Tabla 30. Tabla de todos los costes para la opción 1.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

La facturación total para la opción 1 con un 100% de iluminación artificial (24 luminarias) será de 39733.81 €.

13.2 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 2

Puesto que la opción 2 consta de un 20% de iluminación artificial, el número de luminarias equivalentes a tener en cuenta es de 5. Este número de luminarias consume una potencia total equivalente a 1.090 kW. Por lo tanto habrá que tener en cuenta que la potencia total requerida para la instalación será menor que en el caso anterior, concretamente tendrá un valor de 283.34 kW. Para lo que resta de apartado se procederá de igual forma que en el caso de la opción 1.

$$T_p = P1 * 283.34 * (1/12) + P2 * 283.34 * (1/12) + P3 * 283.34 * (1/12).$$

$$T_p = 2456.36626 \text{ €/mes.}$$

	Termino Energía	Impuesto Eléctrico	IVA	Total
Enero	23.94 €	126.81 €	547.49 €	3,154.61 €
Febrero	21.76 €	126.70 €	547.01 €	3,151.84 €
Marzo	25.03 €	126.87 €	547.73 €	3,155.99 €
Abril	22.75 €	126.75 €	547.23 €	3,153.09 €
Mayo	23.78 €	126.80 €	547.46 €	3,154.41 €
1-15 Junio	11.37 €	63.37 €	273.62 €	1,576.55 €
16-30 Junio	11.37 €	63.37 €	273.62 €	1,576.55 €
Julio	21.71 €	126.70 €	547.00 €	3,151.78 €
Agosto	23.78 €	126.80 €	547.46 €	3,154.41 €
Septiembre	22.75 €	126.75 €	547.23 €	3,153.09 €
Octubre	22.75 €	126.75 €	547.23 €	3,153.09 €
Noviembre	23.94 €	126.81 €	547.49 €	3,154.61 €
Diciembre	22.85 €	126.75 €	547.25 €	3,153.23 €
TOTAL	277.78 €	1,521.24 €	6,567.84 €	37,843.25 €

Tabla 31. Tabla de todos los costes para la opción 2.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

13.3 GASTOS DE FACTURACIÓN ELÉCTRICA OPCIÓN 3

Puesto que la opción 3 consta de un 35% de iluminación artificial, el número de luminarias equivalentes a tener en cuenta es de 9. Este número de luminarias consume una potencia total equivalente a 1.962 kW. Por lo tanto habrá que tener en cuenta que la potencia total requerida para la instalación será diferente a la de los casos anteriores, concretamente tendrá un valor de 284.212 kW. Para lo que resta de apartado se procederá de igual forma que se ha hecho anteriormente.

$$T_p = P1 * 284.212 * (1/12) + P2 * 284.212 * (1/12) + P3 * 284.212 * (1/12).$$

$$T_p = 2456.36626 \text{ €/mes.}$$

	Termino Energía	Impuesto Eléctrico	IVA	Total
Enero	43.09 €	128.18 €	553.39 €	3,188.58 €
Febrero	39.17 €	127.98 €	552.53 €	3,183.60 €
Marzo	45.05 €	128.28 €	553.82 €	3,191.07 €
Abril	40.94 €	128.07 €	552.92 €	3,185.85 €
Mayo	42.80 €	128.16 €	553.33 €	3,188.22 €
1-15 Junio	20.47 €	64.03 €	276.46 €	1,592.93 €
16-30 Junio	20.47 €	64.03 €	276.46 €	1,592.93 €
Julio	39.08 €	127.97 €	552.51 €	3,183.49 €
Agosto	42.80 €	128.16 €	553.33 €	3,188.22 €
Septiembre	40.94 €	128.07 €	552.92 €	3,185.85 €
Octubre	40.94 €	128.07 €	552.92 €	3,185.85 €
Noviembre	43.09 €	128.18 €	553.39 €	3,188.58 €
Diciembre	41.13 €	128.08 €	552.96 €	3,186.09 €
TOTAL	500.00 €	1,537.24 €	6,636.91 €	38,241.26 €

Tabla 32. Tabla de todos los costes para la opción 3.

Para finalizar se realizará una comparación de los gastos de facturación entre las tres opciones.

	100% iluminación artificial	20% iluminación artificial	35% iluminación artificial
Término de energía	1,333.33 €	277.78 €	500.00 €
Impuesto eléctrico	1,597.24 €	1,521.24 €	1,537.24 €
IVA (21%)	6,895.95 €	6,567.84 €	6,636.91 €
TOTAL	39,733.81 €	37,843.25 €	38,241.26 €

Tabla 33. Tabla comparativa de los costes totales de todas las opciones.

Como es obvio la tabla nos muestra que a mayor uso de iluminación artificial, mayor gasto de facturación.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

14. ESTUDIO ECONÓMICO

Con el objetivo de estudiar la viabilidad económica de los sistemas propuestos se calculará el VAN y la TIR para cada caso, y luego se hará una comparativa entre los resultados de cada opción.

Antes de proceder a dicho estudio, se calcularán los gastos anuales de cada opción y se hará una comparación entre los mismos.

14.1 GASTOS ANUALES

A continuación se muestran unas tablas con los gastos anuales para cada opción.

Gasto de electricidad anual	39,733.81 €
Coste de renovación de luminarias anual	3,868.61 €
Gasto total anual	43,602.42 €

Tabla 34. Tabla de gastos opción 1.

Gasto de electricidad anual	37,843.25 €
Coste de renovación de luminarias anual	805.96 €
Coste de mantenimiento de los lucernarios anual	452.14 €
Gasto total anual	39,101.35 €

Tabla 35. Tabla de gastos opción 2.

Gasto de electricidad anual	38,241.26 €
Coste de renovación de luminarias anual	1,450.73 €
Coste de mantenimiento de los lucernarios anual	452.14 €
Gasto total anual	40,144.13 €

Tabla 36. Tabla de gastos opción 3.

Seguidamente se realiza una comparación entre los gastos para valorar el ahorro que se obtiene dependiendo de la opción escogida.

	Coste	Ahorro
Gasto de electricidad 100% artificial	39,733.81 €	-
Gasto de electricidad 20% artificial	37,843.25 €	1,890.56 €
Gasto de electricidad 35% artificial	38,241.26 €	1,492.55 €

Tabla 37. Tabla de ahorros en gasto eléctrico según opción elegida.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

	Coste	Ahorro
Renovación luminarias 100% artificial	3,868.61 €	-
Renovación luminarias 20% artificial	805.96 €	3,062.65 €
Renovación luminarias 35% artificial	1,450.73 €	2,417.88 €

Tabla 38. Tabla de ahorros en renovación de luminarias según opción elegida.

	Coste	Ahorro
Gasto total anual 100% artificial	43,602.42 €	-
Gasto total anual 20% artificial	39,101.35 €	4,501.07 €
Gasto total anual 35% artificial	40,144.13 €	3,458.29 €

Tabla 39. Tabla comparativa de gastos anuales.

Como podemos observar los sistemas mixtos de iluminación generan un gran ahorro económico, habrá que estudiar ahora con el VAN y el TIR si dicho ahorro económico es rentable.

14.2 El VAN y la TIR

Como se ha mencionado con anterioridad, como último paso del proyecto se procederá al cálculo del VAN y la TIR para analizar que opciones de las propuestas son rentables y viables económicamente.

“El Valor Actual Neto (VAN) consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en nº de unidades monetarias.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (11)$$

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t .

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$).

n es el número de periodos de tiempo.

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión (economipedia).”

- Si $VAN > 0$ —————> Generará beneficios.
- Si $VAN = 0$ —————> No generará perdidas ni beneficios.
- Si $VAN < 0$ —————> Generará pérdidas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

“La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN).

También se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero (economipedia).”

A continuación se exponen los cálculos del VAN y la TIR para las 3 opciones que se están estudiando (se ha supuesto que la vida útil de la instalación será de 25 años, es decir, T=25). Como inversión inicial se ha seleccionado el coste que supondría hacer un diseño de iluminación natural sobre el almacén cuyo desglose se encuentra en el presupuesto del anexo 2, y como flujo de caja se ha considerado el ahorro que supone apostar por la opción 2 y la opción 3 en comparación con la opción 1 que está únicamente iluminada por iluminación artificial.

	Inversión inicial	Flujo de caja
OPCIÓN 2: 20% iluminación artificial	36024.97 €	4501.07 €
OPCIÓN 3: 35% iluminación artificial	36024.97 €	3458.29 €

Tabla 40. Datos iniciales para el cálculo del VAN y la TIR.

	VAN $i=0.02$	VAN $i=0.04$	VAN $i=0.06$	VAN $i=0.08$	VAN $i=0.10$
OPCIÓN 2	51,851.41 €	34,291.05 €	21,513.77 €	12,022.91 €	4,831.39 €
OPCIÓN 3	31,492.72 €	18,000.64 €	8,183.53 €	891.45 €	-4,633.97 €

Tabla 41. VAN calculado para diferentes tipos de interés.

	Inversión inicial	Flujo de caja	TIR
OPCIÓN 2: 20% iluminación artificial	36024.97 €	4501.07 €	11.71 %
OPCIÓN 3: 35% iluminación artificial	36024.97 €	3458.29 €	8.29 %

Tabla 42. TIR calculado para las ambas opciones.

Teniendo en cuenta la TIR obtenida vemos que ambos proyectos serán rentables a largo plazo.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

15. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se puede extraer como conclusiones principales las siguientes:

- De las tres propuestas de iluminación natural se ha optado por seleccionar en base a los resultados la primera de las tres. Esto es debido a que al no poseer ventanas en las fachadas laterales no hay riesgo de deslumbramientos para los trabajadores y a parte se cumplen prácticamente todos los criterios de iluminación expuestos en el apartado 6 (basados en el CTE y la norma UNE 12464.1).
- Puesto que una nave iluminada únicamente artificialmente no es viable, se han elaborado un par de casos con iluminación mixta. Uno con un 20% de iluminación artificial, y el otro con un 35% de iluminación artificial.
- Antes de realizar el estudio económico, se ha podido observar en los gastos anuales de las tres opciones que la introducción de iluminación natural supone un gran ahorro anual a diferentes niveles. Aparte de esto la iluminación natural tiene una gran cantidad de beneficios para la salud a diferencia de la iluminación artificial.
- Después de hacer un estudio económico sobre ambos casos, se ha podido ver que ambos poseen una TIR que rentabiliza la inversión. Cualquiera de ambos casos sería una buena solución para la nave en estudio, aunque la opción 3 pese a tener una menor TIR daría una mayor garantía de iluminación en caso de que no se disponga de iluminación natural debido a condiciones meteorológicas.
- La empresa poseedora de la bodega de vinos, aparte de tener en cuenta lo dicho en los anteriores párrafos deberá prestar atención a los VEEI obtenidos para la opción 2 y la opción 3 (cuanto más bajo mejor).
- Es posible que la solución óptima para la nave en estudio se encuentre entre la solución 2 y la solución 3, esto depende de lo que busque el beneficiario, a mayor iluminación artificial menor beneficio económico pero mayor garantía de cumplir con los mínimos de iluminación deseados.
- Se ha elaborado un presupuesto con el objetivo de que si el beneficiario se decidiese por optar por la iluminación natural, este sepa cuál es la inversión inicial necesaria que debería realizar (también era necesario para realizar el estudio económico de las opciones de iluminación mixta). Dicho presupuesto se puede encontrar en el Anexo 2 de este documento.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial de Ingeniería Química.
- Norma UNE 12464.1 “Norma europea sobre iluminación para interiores”.
- Código Técnico de la Edificación.
- Definiciones de la TIR y el VAN: <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Facturación eléctrica: <https://www.endesaclientes.com/empresas/factura-luz-detalle.html>
- Tarifa eléctrica según potencia contratada: http://www.tarifa-electrica.es/at_uno.php
- Base de datos del IVE (2016). Instituto Valenciano de la Edificación.
- Boletín Oficial del Estado (BOE). Concretamente: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>.
- Bodega de vino tradicional de Alberto Andrés Alonso. <http://www.haroturismo.org/bodegas/794/>
- Bodegas Nubori. <https://lariojaturismo.com/comunidad/larioja/recurso/bodegas-nubori/b1013974-b8e9-4b57-89b6-a49f2a07aee6>
- Bodegas y viñedos Estévez. <http://www.bierzotv.com/bodegas-y-vinedos-estevez-se-incorpora-a-autoctona-del-bierzo/>

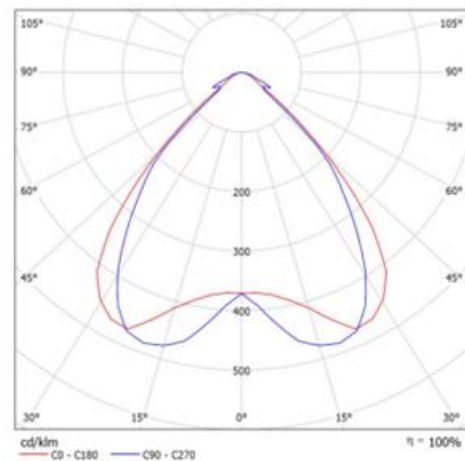
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

PHILIPS BY471P 1 xECO320S/865 WB GC / Hoja de datos de luminarias



Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 70 96 99 100 100

GentleSpace gen2: un nuevo estándar en la iluminación de gran altura. Con la introducción de la luminaria LED GentleSpace en 2011, Philips dio un paso de gigante en la iluminación de espacios de gran altura, al ofrecer una enorme reducción del consumo de energía, una larga vida útil y un diseño innovador. Ahora, con GentleSpace gen2, Philips sigue mejorando aún más: un coste total de propiedad mejorado, incluso en condiciones extremas con la versión GS-2 Xtreme, que puede usarse hasta a +60 °C o 100.000 horas de vida útil (L80), ambos puntos garantizados por una protección integrada frente a sobrecalentamientos. Además, hay disponible una amplia variedad de opciones (diversidad de ópticas, colores RAL disponibles, opciones de montaje, materiales de cierre y versiones para zonas explosivas 2/22) a fin de garantizar una solución ideal para su aplicación. Asimismo, GentleSpace gen2 se puede equipar para su uso en un sistema de emergencia centralizado (PSED)

Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR												
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30
Techo		90	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Paredes		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local		X	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
Y												
2H	2H	24.5	25.5	24.8	25.7	25.9	24.1	25.1	24.4	25.3	25.5	25.5
	3H	24.4	25.3	24.7	25.6	25.8	24.2	25.1	24.5	25.3	25.5	25.5
	4H	24.4	25.2	24.7	25.5	25.8	24.2	25.0	24.5	25.3	25.5	25.5
	6H	24.4	25.1	24.7	25.4	25.7	24.1	24.9	24.5	25.2	25.5	25.5
4H	2H	24.3	25.1	24.7	25.4	25.7	24.1	24.8	24.5	25.1	25.5	25.5
	3H	24.3	25.0	24.6	25.3	25.6	24.1	24.8	24.4	25.1	25.4	25.4
	4H	24.5	25.3	24.8	25.6	25.8	24.1	24.9	24.4	25.2	25.4	25.4
	6H	24.4	25.1	24.8	25.4	25.8	24.1	24.8	24.5	25.2	25.5	25.5
6H	2H	24.4	25.0	24.8	25.4	25.7	24.2	24.8	24.6	25.1	25.5	25.5
	3H	24.4	24.9	24.8	25.3	25.7	24.2	24.7	24.6	25.1	25.4	25.4
	4H	24.4	24.9	24.8	25.2	25.6	24.1	24.6	24.6	25.0	25.4	25.4
	6H	24.4	24.8	24.8	25.2	25.6	24.1	24.5	24.6	24.9	25.4	25.4
8H	2H	24.4	24.8	24.8	25.2	25.6	24.1	24.6	24.5	25.0	25.4	25.4
	3H	24.3	24.7	24.8	25.1	25.6	24.1	24.5	24.6	24.9	25.4	25.4
	4H	24.3	24.6	24.8	25.1	25.6	24.1	24.4	24.6	24.9	25.3	25.3
	6H	24.3	24.6	24.8	25.0	25.5	24.0	24.3	24.5	24.8	25.3	25.3
12H	2H	24.3	24.7	24.8	25.2	25.6	24.1	24.5	24.5	24.9	25.3	25.3
	3H	24.3	24.6	24.8	25.1	25.5	24.1	24.4	24.5	24.8	25.3	25.3
	4H	24.3	24.6	24.8	25.0	25.5	24.0	24.3	24.5	24.8	25.3	25.3
	6H	24.3	24.6	24.8	25.0	25.5	24.0	24.3	24.5	24.8	25.3	25.3

Variación de la posición del espectador para operaciones S entre luminarias		
S = 1.0H	+2.2 / -5.3	+2.1 / -4.3
S = 1.5H	+3.4 / -7.2	+3.8 / -5.5
S = 2.0H	+5.0 / -7.8	+4.8 / -7.3

Tabla estándar	BK00	BK01
Sumario de corrección	6.1	6.3

Índice de deslumbramiento corregido en relación a 24000lm Flujo luminoso total

Imagen 42.Ficha técnica de la luminaria.

ANEXO 2: PRESUPUESTO

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

1. Sistema de iluminación natural

En primer lugar se calculará el coste de la instalación y mantenimiento de los lucernarios decididos para la solución alcanzada. Esta solución consta de 12 lucernarios de 2m x 6m y 6 lucernarios de 2.75m x 6m. Se han generado 4 unidades de obra para este presupuesto y son las que se exponen a continuación:

- Preparación del hueco para los lucernarios.
- Colocación del perfil metálico.
- Instalación de panel de policarbonato.
- Soldado de panel de policarbonato.

U.O	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	M2	Preparación del hueco para el lucernario				
	hr	Oficial 1ª metal	0.2500	18.36 €	4.59 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.0633	133.90 €	8.48 €	
	%	Costes directos	0.0300	13.07 €	0.39 €	
						13.46 €

1.02	M2	Colocación perfil metálico (carpintería)				
	ud	Perfil metálico	1.0000	8.37 €	8.37 €	
	hr	Ayudante carpintería	0.2500	14.67 €	3.67 €	
	hr	Oficial 1ª carpintería	0.2500	18.55 €	4.64 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.0633	133.90 €	8.48 €	
	%	Costes directos	0.0300	25.15 €	0.75 €	
						25.91 €

1.03	M2	Instalación de panel de policarbonato				
	ud	Panel de policarbonato	1.0500	19.74 €	20.73 €	
	hr	Oficial 1ª vidrio	0.8620	14.61 €	12.59 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.0633	133.90 €	8.48 €	
	%	Costes directos	0.0300	41.80 €	1.25 €	
						43.05 €

1.04	M2	Soldado de panel de policarbonato				
	hr	Especialista metal	0.3000	15.70 €	4.71 €	
	hr	Oficial 2ª vidrio	0.3000	14.61 €	4.38 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.0633	133.90 €	8.48 €	
	%	Costes directos	0.0300	17.57 €	0.53 €	
						18.10 €

Tabla 43. Cuadro de precios descompuestos de los lucernarios.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

U.O.	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL	
1.01	M2	Realización del hueco para el lucernario						
	M2	Lucernarios nave alta	12.00	2.00	6.00	146.4		
	M2	Lucernarios nave baja	6.00	2.75	6.00	100.65		
							243	

1.02	M2	Colocación carpintería metálica						
	M2	Lucernarios nave alta	12.00	2.00	6.00	146.4		
	M2	Lucernarios nave baja	6.00	2.75	6.00	100.65		
							243	

1.03	M2	Instalación de paneles de policarbonato						
	M2	Lucernarios nave alta	12.00	2.00	6.00	146.4		
	M2	Lucernarios nave baja	6.00	2.75	6.00	100.65		
							243	

1.04	M2	Soldado paneles						
	M2	Lucernarios nave alta	12.00	2.00	6.00	146.4		
	M2	Lucernarios nave baja	6.00	2.75	6.00	100.65		
							243	

Tabla 44. Cuadro de mediciones de los lucernarios.

A partir del cuadro de precios descompuestos y del cuadro de mediciones se realiza el cuadro de presupuestos parciales, a partir de la suma de cada presupuesto parcial se obtiene el Presupuesto de Ejecución del Material (PEM).

U.O.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Preparación del hueco para el lucernario	3,270.26 €	
1.02	Colocación perfil metálico (carpintería)	6,295.01 €	
1.03	Instalación de panel de policarbonato	10,461.29 €	
1.04	Soldado de panel de policarbonato	4,397.31 €	
			24,423.87 €

Tabla 45. Cuadro de presupuestos parciales de los lucernarios.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

Al Presupuesto de Ejecución del Material (PEM) se le aplicará un 15% de Gastos Generales, al resultado de esta operación se le aplicará un 6% que será lo que obtendrá el contratista como beneficio. A este valor se le denomina Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), y se le aplicará un 21% de IVA para conseguir el Presupuesto Base de Licitación.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)	24,423.87 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	29,772.70 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	36,024.97 €

Tabla 46. Presupuesto final de instalación de lucernarios.

A continuación se realizará el Presupuesto en Base de Licitación del mantenimiento de lucernarios, para esto se ha seguido el mismo procedimiento que el explicado en este mismo apartado. Para realizar este presupuesto se ha creado una única unidad de obra: Mantenimiento de paneles de policarbonato.

1.01	UD	Mantenimiento de paneles de policarbonato				
	hr	Oficial 1ª vidrio	0.3000	14.61 €	4.38 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.0130	133.90 €	1.74 €	
	%	Costes directos	0.030	6.12 €	0.18 €	
					6.31 €	

Tabla 47. Cuadro de precios descompuestos de mantenimiento de los lucernarios.

U.O.	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	M2	Mantenimiento de paneles de policarbonato					
	M2	Lucernarios nave alta	12.00	2.00	6.00	146.4	
	M2	Lucernarios nave baja	6.00	2.75	6.00	100.65	
							243

Tabla 48. Cuadro de mediciones de mantenimiento de los lucernarios.

U.O.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Mantenimiento de paneles de policarbonato	1,532.70 €	
			1,532.70 €

Tabla 49. Presupuesto parcial de mantenimiento de los lucernarios.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)	1,532.70 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	1,868.36 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	2,260.72 €

Tabla 50. Presupuesto final de mantenimiento de los lucernarios.

Como este mantenimiento se realiza cada 5 años, el presupuesto total anual será el siguiente:

PRESUPUESTO TOTAL	2,260.72 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	452.14 €

Tabla 51. Presupuesto final anual de mantenimiento de los lucernarios.

2. Sistema de iluminación artificial

En el caso de las luminarias habrá que renovarlas cada cierto tiempo. Teniendo en cuenta que nuestra nave opera durante 10 horas diarias durante 263 días al año, lo que equivale a 2630 horas, y que la vida útil de las luminarias seleccionadas es de una media de 20.000 horas, la vida útil de nuestras luminarias es de 7.60 años.

A continuación se muestra el presupuesto de los tres casos vistos en el documento. En la realización de estos presupuestos se han utilizado los mismos conceptos que los explicados en el presupuesto anterior.

U.O	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	ud	Renovación luminarias				
	ud	Luminaria	1.00	800.00 €	800.00 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0.30	18.36 €	5.51 €	
	día	Plataforma elevadora articulada	0.01	133.90 €	1.34 €	
	%	Costes directos	0.03	806.85 €	24.21 €	
						831.05 €

Tabla 52. Cuadro de precios descompuestos de las luminarias.

U.O.	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	UD	Renovación de luminarias					
	ud	Lucernarios nave alta	24.00			24	
							24

Tabla 53. Cuadro de mediciones de las luminarias opción 1.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

U.O.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Renovación de luminarias	19,945.26 €	
			19,945.26 €

Tabla 54. Presupuesto parcial de las luminarias opción 1.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)	19,945.26 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	24,313.27 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	29,419.06 €

Tabla 55. Presupuesto final de la opción 1.

PRESUPUESTO TOTAL	29,419.06 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	3,868.61 €

Tabla 56. Presupuesto final anual opción 1.

U.O.	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL	
1.01	UD	Renovación de luminarias						
	ud	Lucernarios nave alta	5.00			5		
							5	

Tabla 57. Cuadro de mediciones de las luminarias opción 2.

U.O.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Renovación de luminarias	4,155.26 €	
			4,155.26 €

Tabla 58. Presupuesto parcial de las luminarias opción 2.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)	4,155.26 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	5,065.26 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	6,128.97 €

Tabla 59. Presupuesto final opción 2.

PRESUPUESTO TOTAL	6,128.97 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	805.96 €

Tabla 60. Presupuesto final anual opción 2.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una bodega industrial.

U.O.	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	UD	Renovación de luminarias					
	ud	Lucernarios nave alta	9.00			9	
							9

Tabla 61. Cuadro de mediciones de las luminarias opción 3.

U.O.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Renovación de luminarias	7,479.47 €	
			7,479.47 €

Tabla 62. Presupuesto parcial de las luminarias opción 3.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)	7,479.47 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	9,117.48 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	11,032.15 €

Tabla 63. Presupuesto final opción 3.

PRESUPUESTO TOTAL	11,032.15 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	1,450.73 €

Tabla 64. Presupuesto final anual opción 3.

Todos los datos presentes en este documento referentes a los presupuestos se han obtenido de la base de datos del IVE del año 2016 en la localidad de Valencia.