



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL PROCESADO DE MIEL

AUTOR: RIBES NAVARRO, JAUME

TUTOR: SANTAMARINA SIURANA, MARÍA CRISTINA

Curso Académico: 2019-20

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

RESUMEN

Mediante el presente documento se muestra el estudio y diseño de la iluminación por medios naturales de una planta de procesado de miel y derivados apícolas que se encuentra en el polígono industrial de Les Valletes, situado en la localidad de Montserrat, en Valencia.

Así bien, en el documento, se contextualizará el sector empresarial en el que se encuentra la empresa, la distribución en planta de la nave y el funcionamiento del sistema productivo de forma que pueda entenderse las necesidades lumínicas del área.

Primeramente, se plantearán aquellos conceptos teóricos necesarios para una correcta interpretación del estudio lumínico, de forma que las justificaciones en base a las simulaciones posteriores tengan un sentido físico y cumplan todas aquellas limitaciones técnicas.

Posteriormente, se planteará un estudio analítico de forma que se obtendrá una primera aproximación a grandes rasgos de las instalaciones que deberán realizarse en la planta y con ella, podrán dimensionarse las aberturas de luz de las que debe constar la planta.

A continuación, se generará un modelado 3D de la planta, ubicando los equipos de forma general para contextualizar las necesidades lumínicas de cada sector del establecimiento, y planteando distintas predisposiciones de iluminación natural.

Finalmente, se procederá a realizar una serie de simulaciones, en cada una de las predisposiciones, analizando las condiciones lumínicas que aporta cada una de las propuestas tanto en los días donde la incidencia lumínica natural es mínima y como en aquellos donde es máxima.

No obstante, toda nave debe contar con un sistema de iluminación artificial auxiliar debido a que existen muchos factores, tanto horarios como meteorológicos, que pueden variar los valores previstos analíticamente.

Por tanto, y teniendo en cuenta la opción de iluminación natural más eficaz, se procederá al análisis económico de una solución de iluminación mixta que justifique su inversión con el ahorro energético generado.

Palabras clave: eficiencia energética, iluminación natural, iluminación mixta.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

PRÓLOGO

El mundo de la ingeniería química abarca muchas competencias, permitiendo a los ingenieros químicos poder formarse en distintos ámbitos. De esta forma, la asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial brinda la oportunidad a los alumnos del grado de encaminarse hacia másteres que los diferencien, especializándose en el campo de, por ejemplo, la construcción industrial.

Mediante la realización de este trabajo de fin de grado, he logrado materializar muchos de los conocimientos teóricos trabajados a lo largo de la carrera, así como establecer lazos directos con el mundo laboral, de forma que me ha permitido obtener una visión global y realista sobre la función profesional del ingeniero.

Para concluir, me gustaría agradecer como tutora a M.^a Cristina Santamarina Siurana por su tiempo, compromiso y dedicación, consiguiendo así que este reto se convirtiese en un desafío motivador. Por último, agradecer a mi familia por apoyarme en los momentos más difíciles y celebrar aquellos más felices dentro de la que ha sido mi etapa universitaria como alumno del Grado de Ingeniería Química.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
1. Objetivos	12
2. Introducción	13
3. Contextualización	13
4. Proceso productivo	14
4.1. Homogenización.....	14
4.1.1. Precalentamiento.....	15
4.1.2. Unificado	15
4.2. Filtración y pasteurización.....	16
4.2.1. Filtración.....	16
4.2.2. Pasteurización	16
4.3. Depósitos de lanzamiento.....	17
4.4. Líneas de envasado	17
4.4.1. Línea de envasado a granel	17
4.4.2. Línea de producto acabado.....	17
4.5. Almacenaje.....	18
5. Distribución en planta del proceso productivo	20
6. Iluminación.....	21
6.1. Tipos de iluminación	21
6.2. Requerimientos.....	22
6.2.1. Eficiencia de la iluminación	22
6.3. Tipos de aberturas para iluminación natural	24
6.3.1. Fundamentos de la iluminación natural.....	26
En este caso, se va a realizar el diseño de iluminación natural suponiendo un cielo despejado, debido a las coordenadas en las que se encuentra situada la nave y sus antecedentes meteorológicos.....	27
6.3.2. Método analítico; DIN 5034	27
6.3.3. Parámetros de control del sistema de iluminación.....	29
7. Aplicación del método analítico.....	31
7.1. Áreas de trabajo	31

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

7.2.	Método analítico DIN 5034	32
8.	Diseño del sistema de iluminación.....	35
8.1.	Coeficientes de reflexión.....	35
8.2.	Deslumbramientos	36
8.3.	Propuestas y simulaciones	38
8.3.1.	<i>Propuesta 1</i>	39
8.3.2.	<i>Propuesta 2</i>	44
8.3.3.	<i>Propuesta 3</i>	49
8.4.	Presentación y análisis de los resultados	54
8.4.1.	Análisis de valores	54
8.4.2.	Conclusiones de las propuestas	57
8.5.	Exposición y desarrollo de la propuesta seleccionada	57
8.5.1.	Ampliación de la <i>Propuesta 2</i>	58
8.5.2.	Isolíneas de la ampliación de la <i>Propuesta 2</i>	60
8.5.3.	Resultados de la <i>Ampliación de la Propuesta 2</i>	62
8.5.4.	Presentación de los resultados obtenidos en la <i>Ampliación de la Propuesta 2</i> ..	63
9.	Iluminación artificial.....	65
9.1.	Eficiencia energética	65
10.	Consumo energético de la planta	68
10.1.	Elementos y equipos de la planta	68
10.2.	Elementos y equipos de la planta	69
11.	Análisis Económico	71
11.1.	Facturación eléctrica	71
11.1.1.	Iluminación 100% Artificial.....	74
11.1.2.	Iluminación 30% Artificial.....	75
11.1.3.	Iluminación 10% Artificial.....	76
11.2.	Balance económico	77
11.3.	Ahorro eléctrico	78
11.4.	Rentabilidad del proyecto	79
12.	Conclusiones.....	81
Anexo 1:	PRESUPUESTO	83
1.	Presupuestos asociados a los lucernarios	84
1.1.	Cálculo de rendimientos de los lucernarios	85
1.2.	Presupuesto de los lucernarios	87
1.3.	Presupuesto del mantenimiento de los lucernarios	89
2.	Sistema de iluminación artificial	91

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

2.1.	Cálculo de rendimientos de las luminarias	92
2.2.	Iluminación artificial	92
2.2.1.	Iluminación 100% artificial	92
2.2.2.	Iluminación 30% artificial	93
2.2.3.	Iluminación 10% artificial	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Geometría del polígono. Fuente: Ayuntamiento de Montserrat	13
Ilustración 2. Detalle parcelación. Fuente: Ayuntamiento de Montserrat	14
Ilustración 3. Diagrama de bloques del procesado de miel.	19
Ilustración 4. Distribución en planta	20
Ilustración 5. Aberturas e iluminaciones.....	25
Ilustración 6. Tipos de radiación. Fuente: https://jmirez.wordpress.com/2011/08/12/j325-definicion-de-radiacion-directa-difusa-y-reflejada-sobre-un-colector/	26
Ilustración 7. Factor ventanas. Fuente: Apuntes construcción y arquitectura industrial, PoliformaT.....	28
Ilustración 8. Factor de reducción ventana-muro. Fuente: Apuntes construcción y arquitectura industrial, PoliformaT.....	29
Ilustración 9. Representación de la planta en 3D	31
Ilustración 10. Cálculo de deslumbramientos.....	36
Ilustración 11. Cálculo de deslumbramientos 3D	36
Ilustración 12. Superficie de deslumbramientos	37
Ilustración 13. Propuesta 1, vista en planta. Fuente: DIALux	39
Ilustración 14. Propuesta 1, vista perfil. Fuente: DIALux	40
Ilustración 15. Propuesta 1, vista 3D. Fuente: DIALux	40
Ilustración 16. Isolíneas de la Propuesta 1 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00.....	41
Ilustración 17 Isolíneas de la Propuesta 1 el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00.....	41
Ilustración 18. Isolíneas de la Propuesta 1 el 15 de abril del 2020 a las 09:00.....	42
Ilustración 19. Isolíneas de la Propuesta 1 el 15 de abril del 2020 a las 12:00.....	42
Ilustración 20. Isolíneas de la Propuesta 1 el 24 de junio del 2020 a las 12:00	42
Ilustración 21. Propuesta 2, vista en planta. Fuente: DIALux	44
Ilustración 22. Propuesta 2, vista perfil. Fuente: DIALux	45
Ilustración 23. Propuesta 3, vista 3D. Fuente: DIALux	45
Ilustración 24. Isolíneas de la Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00.....	46
Ilustración 25. Isolíneas de la Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00.....	46
Ilustración 26. Isolíneas de la Propuesta 2 el 15 de abril de 2020 a las 09:00.....	47
Ilustración 27. Isolíneas de la Propuesta 2 el 15 de abril a las 12:00.....	47
Ilustración 28. Isolíneas de la Propuesta 2 el 24 de junio a las 12:00.....	47
Ilustración 29. Propuesta 3, vista en planta. Fuente: DIALux.	49
Ilustración 30. Propuesta 3, vista perfil. Fuente. DIALux	50
Ilustración 31. Propuesta 3, vista 3D. Fuente: DIALux	50
Ilustración 32.. Isolíneas de la Propuesta 3 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00.....	51
Ilustración 33. Isolíneas de la Propuesta 3 el 10 de diciembre a las 12:00.....	51
Ilustración 34. Isolíneas de la Propuesta 3 el 15 de abril a las 09:00.....	52
Ilustración 35. Isolíneas de la Propuesta 3 el 15 de abril a las 12:00.....	52
Ilustración 36. Isolíneas de la Propuesta 3 el 24 de junio a las 12:00.....	52
Ilustración 37. Ampliación Propuesta 2, Vista en planta. Fuente: DIALux.....	58
Ilustración 38. Ampliación Propuesta 2, Vista de perfil. Fuente: DIALux.....	59
Ilustración 39. Ampliación Propuesta 2, vista 3D I. Fuente: DIALUX	59
Ilustración 40. Ampliación Propuesta 2, vista 3D II. Fuente: DIALux	59

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Ilustración 41. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00	60
Ilustración 42. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00	60
Ilustración 43. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 10:00	61
Ilustración 44. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 15 de abril de 2020 a las 12:00	61
Ilustración 45. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 24 de junio de 2020 a las 12:00	61
Ilustración 46. Periodos Tarifas AT 3.1A Fuente: https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5. Puntos mínimos para el cálculo de la iluminación media	23
Tabla 6. Aberturas e iluminaciones	24
Tabla 7. Áreas de la planta	31
Tabla 8. UNE 12464.1	32
Tabla 9. Resumen de los valores de los parámetros	33
Tabla 10. Coeficientes de reflexión	35
Tabla 11. Parámetros característicos de los ventanales y lucernarios	35
Tabla 12. Fechas para simulaciones	38
Tabla 13. Propuesta 1.....	39
Tabla 14. Resultados Propuesta 1	43
Tabla 15. Resultados por zonas de la Propuesta 1.....	43
Tabla 16. Propuesta 2.....	44
Tabla 17. Resultados Propuesta 2	48
Tabla 18. Resultados por zonas de la Propuesta 2.....	48
Tabla 19. Propuesta 3.....	49
Tabla 20. Resultados de la Propuesta 3	53
Tabla 21. Resultados por zonas de la Propuesta 2.....	53
Tabla 22. Valores límite de los parámetros de control	54
Tabla 23. Leyenda para tablas de análisis	54
Tabla 24. Análisis Propuesta 1.....	55
Tabla 25. Análisis Propuesta 2.....	55
Tabla 26. Análisis Propuesta 3.....	56
Tabla 27. Ampliación de la propuesta 3.....	58
Tabla 28. Resultados de la Ampliación de la Propuesta 2.....	62
Tabla 29. Resultados por zonas de la Propuesta 2.....	62
Tabla 30. Análisis de la Ampliación de la Propuesta 2	63
Tabla 31. VEEI Iluminación Artificial 100%.....	66
Tabla 32. VEEI Iluminación Artificial 10%.....	66
Tabla 33. VEEI Iluminación Artificial 35%.....	66
Tabla 34. Elementos auxiliares. Consumo eléctrico de la nave industrial.	69
Tabla 35. Tarifas BT 3.0A Fuente: https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf	71
Tabla 36. Periodos Tarifas AT 3.1A Fuente: https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf	72
Tabla 37. Periodo de facturación en función de las horas trabajadas.	72
Tabla 38. . Término variable 100% Artificial.....	74
Tabla 39. Coste total 100% Artificial	74
Tabla 40. Término variable 30% Artificial.....	75
Tabla 41. Coste total 30 % Artificial	75
Tabla 42. Término variable 10% Artificial.....	76
Tabla 43. Coste total 10% Artificial	76
Tabla 44. Balance económico anual 100% artificial	77

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Tabla 45. Balance económico anual 30% artificial	77
Tabla 46. Balance económico anual 10% artificial	77
Tabla 47. Ahorro anual del gasto eléctrico	78
Tabla 48. Ahorro anual del gasto de renovación	78
Tabla 49. Ahorro tota anual	78
Tabla 50. Análisis de la rentabilidad.....	80
Tabla 51. Cálculo del VAN	80
Tabla 52. Cálculo del TIR	80
Tabla 53. IVE 2019 Valencia	84
Tabla 54. Unidad de obra 1.01 lucernarios	87
Tabla 55. Unidad de obra 1.02 lucernarios	87
Tabla 56. Unidad de obra 1.03 lucernarios	87
Tabla 57. Mediciones	88
Tabla 58. Presupuesto instalación lucernarios.....	89
Tabla 59. Unidad de obra 1.01 mantenimiento lucernarios	89
Tabla 60. Mediciones 1.01 mantenimiento lucernarios	89
Tabla 61. Presupuesto mantenimiento lucernarios	90
Tabla 62. IVE 2019 Valencia	91
Tabla 63. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 100%	92
Tabla 64. Mediciones instalación luminarias 100%	92
Tabla 65. Presupuesto instalación luminarias 100%.....	93
Tabla 66. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 30%	93
Tabla 67. Mediciones instalación luminarias 30%	93
Tabla 68. Presupuesto instalación luminarias 30%.....	93
Tabla 69. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 10%	94
Tabla 70. Mediciones instalación luminarias 10%.....	94
Tabla 71. Presupuesto instalación luminarias 10%.....	94

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del VEEL.....	23
Ecuación 2. Cálculo del parámetro k.....	23
Ecuación 3. DIN 5034	27
Ecuación 4. Cálculo del factor f	28
Ecuación 5. Cálculo del factor f'	29
Ecuación 6. Cálculo de la iluminación media	32
Ecuación 7. Aplicación del factor f	33
Ecuación 8. Aplicación de la DIN 3034 para ventanales.....	34
Ecuación 9. Aplicación de la DIN 3034 para lucernarios	34
Ecuación 10. Cálculo de la distancia de deslumbramiento	37
Ecuación 11. Cálculo de la distancia límite de deslumbramiento.....	37
Ecuación 12. Distancia de deslumbramiento de la Propuesta 3	56
Ecuación 13. Cálculo del VEEL.....	65
Ecuación 14. Cálculo de la facturación.....	71
Ecuación 15. Término de potencia	73
Ecuación 16. Término de energía.....	73
Ecuación 17. VAN	79

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

1. Objetivos

Los objetivos del estudio lumínico que se presenta en el presente trabajo de final de grado se describen a continuación:

- Estudio analítico de las condiciones lumínicas necesarias en función de los requerimientos presentados en la nave industrial.
- Representación en 3D de la nave y estudio de la distribución en planta en relación con los requerimientos lumínicos.
- Diseño de las diferentes alternativas presentes para suplir la demanda de luz y selección en cada caso de la mejor alternativa.
- Análisis de la normativa establecida en relación con la iluminación en el sector de trabajo de forma que se garantice la seguridad de los operarios.
- Conceptualización de los puntos críticos y sugerencias de mejora mediante la simulación en un software de estudio lumínico. En este caso se utilizará DIALux.
- Análisis económico de la viabilidad de suplir las necesidades lumínicas de forma artificial de natural total o bien porcentual, resultando en iluminaciones mixtas.
- Valoración de la iluminación natural frente iluminación artificial observando las diferencias económicas, así como de las alternativas intermedias.
- Diseño y selección del sistema de iluminación natural o mixto más eficiente.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

2. Introducción

La empresa Mediterranea Mellis S.L. se dedica a la producción y procesado de miel para abastecer tanto supermercados nacionales como internacionales, así como actúa como intermediario en transiciones a granel en operaciones internacionales.

La compañía cuenta con un total de tres naves en su propiedad, que se distribuyen como una planta principal y dos que actúan como instalaciones de apoyo. Una de estas últimas será el objeto de diseño debido a que se encuentra iluminada por medios artificiales en su totalidad.

En este punto, y con el fin de minimizar costes y mejorar la eficiencia energética, la empresa ha decidido realizar un estudio económico de la viabilidad de transformar un sistema de iluminación artificial a un sistema de iluminación mixta.

3. Contextualización

La nueva nave industrial se encuentra en el polígono de Les Valletes, en la localidad de Montserrat, en la provincia de Valencia. A continuación, puede observarse una distribución de las parcelas presentes en el polígono de la localidad.



Ilustración 1. Geometría del polígono. Fuente: Ayuntamiento de Montserrat

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

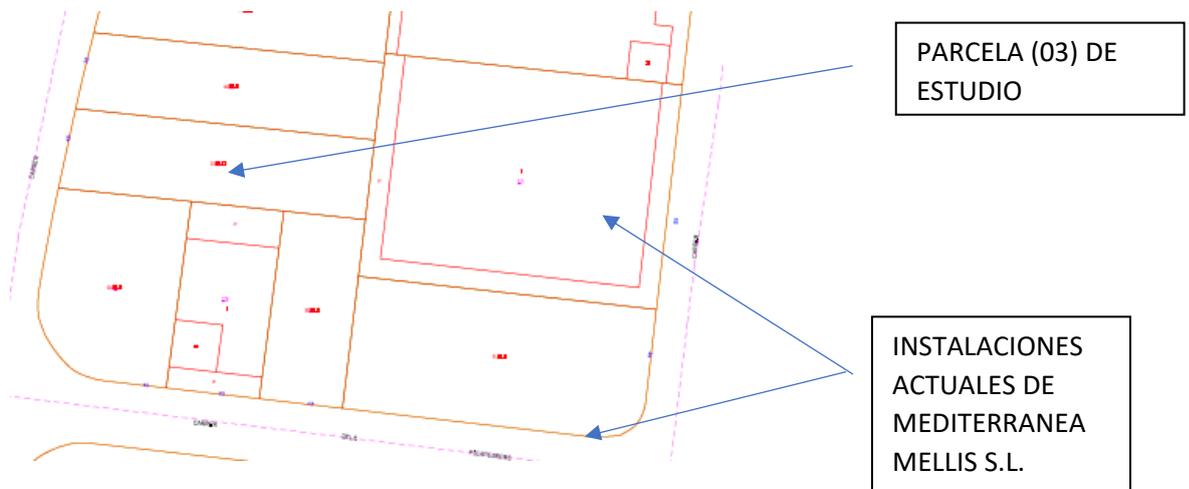


Ilustración 2. Detalle parcelación. Fuente: Ayuntamiento de Montserrat

4. Proceso productivo

El procesado de la miel alberga una sucesión de subprocesos de forma que pueda garantizarse la calidad de esta, así como las especificaciones que demandan los clientes. Si bien puede parecer un producto de gran simplicidad, conlleva una serie de procesos para que el producto se mantenga estable tanto tiempo como sea posible y contenga las mínimas impurezas posibles.

El objetivo principal de la planta es la producción de miel homogénea y sin cristales de forma que pueda suplir las necesidades básicas del consumidor final. Por este motivo, pueden distinguirse 3 etapas principalmente: el homogenizado, el filtrado y el pasteurizado.

4.1. Homogenización

Cuando se alcanzan demandas de gran envergadura como puede ser el suministro a supermercados o grandes plataformas a nivel nacional e internacional, el producto que se ofrece debe presentar un carácter similar, de esta forma, tanto el color, como el olor o el sabor deben ser constantes en la medida que sea posible.

Por este motivo se lleva a cabo un proceso de homogenización donde las empresas intermediarias entre el apicultor y las grandes plataformas deben recoger las mieles de distintos apicultores y generar un producto homogéneo, de forma que pueda distinguirse posteriormente por sus características.

El homogenizado es la primera etapa de procesado de la miel, y en ella distinguimos dos etapas principales: el precalentamiento y el unificado.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

4.1.1. Pre calentamiento

El pre calentamiento es una etapa previa al unificado, aunque resulta de vital importancia para el correcto homogenizado del producto. Esta etapa se basa en exponer el producto a un flujo de aire caliente de forma que funda y no quede de forma cristalina, pudiendo trabajar posteriormente con él de forma más sencilla y eficaz.

La sala de pre calentamiento se encuentra forrada con panel de tipo sándwich y cuenta con una serie de ventiladores térmicos, actuando como un intercambiador de vapor con aire, que elevan la temperatura del ambiente de forma uniforme.

Estos ventiladores térmicos o aerotermos se encuentran a media altura en la sala de forma que garanticen obtener el aire más frío que se encuentra más cercano al suelo debido a la diferencia de densidades y a la vez logren una fundición homogénea de la fase sólida de la miel que es la que se encuentra en contacto con la superficie del bidón.

Además, resulta de gran importancia que la miel se encuentre a una temperatura de entre 35-40°C de forma que la viscosidad del producto sea menor, y de esta forma se logre un trabajo más llevadero de las bombas de impulsión y un correcto intercambio de calor en los intercambiadores de placas como se verá más adelante.

Cabe destacar que esta cámara se encuentra aislada mediante paneles sándwich, por lo que el estudio lumínico en esta etapa de la producción carece de sentido. Si bien, debe destacarse que debido a que la temperatura es tan elevada en el interior, los elementos de iluminación artificial se estropeaban con facilidad. Por ello, se optó por estudiar los puntos óptimos de la cámara para realizar ventanales en el panel donde se introducirán focos LED, así como podrá entrar la luz natural.

4.1.2. Unificado

En este punto, y con el producto ya pre calentado, una carretilla elevadora transporta la miel de la sala de pre calentamiento a la de unificado.

En esta etapa, se cuenta con una balsa que presenta los equipos necesarios que le otorgan unas características apropiadas para el correcto unificado del producto.

La balsa consta con dos motores con reductora que mueven unas palas que homogenizan el producto, además, toda la balsa se encuentra calorifugada y cuenta con un serpentín interno de agua caliente que mantiene la temperatura en el interior de la balsa.

Por tanto, en este punto se tiene un producto homogéneo y a una temperatura que garantiza la calidad del alimento y una viscosidad óptima para su filtrado y procesamiento sin dañar los equipos.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

4.2. Filtración y pasteurización

El proceso de filtrado y pasteurizado tiene como objetivo mejorar la calidad del alimento, de forma que en una primera etapa de filtrado se logra eliminar los elementos de arrastre que puede existir en el producto proporcionado por el apicultor, y en la segunda etapa, la pasteurización, se eliminan componentes víricos, así como posibles microorganismos presentes en el producto y se retarda la aparición de cristales.

4.2.1. Filtración

La filtración es la siguiente etapa una vez se ha superado la etapa de homogenización y se realiza por el medio de unos filtros de cesta de nylon donde el producto es forzado a pasar al ser impulsado por una boba helicoidal.

Este equipo está constituido por 3 pares de filtros de medidas descendientes de forma que no saturan los primeros, y la parada de limpieza pueda retardarse tanto como sea posible. En estos filtros quedan retenidos pequeñas piedras que se arrastren del campo, restos de insectos o trozos de astillas de los marcos de madera de los panales.

De esta forma, el producto ya se encuentra libre de elementos residuales de arrastre que provienen de la recolecta por parte del apicultor y se encuentra lista para ser pasteurizada.

Cabe destacar que la pasteurización es un proceso de intercambio de calor que se realiza por medio de un intercambiador de placas, de forma que cualquier elemento sólido que pudiera quedarse entre las placas podría dañarlas y obligar a detener el proceso para su limpieza.

4.2.2. Pasteurización

El proceso de pasteurización resulta vital en el procesamiento del producto debido a la cristalización que sufre la miel que depende de la flor de la que provenga su néctar pues es la que define su relación de fructosa con glucosa, siendo esta la causante de la cristalización.

La cristalización, que se trata de una precipitación de azúcares, es un proceso totalmente natural en el producto y que no afecta a su calidad ni propiedades, no obstante, se ha considerado que estéticamente no resulta atractivo y por ello se busca retardar tanto como sea posible su aparición.

La pasteurización es un proceso por el que se eleva la temperatura temporalmente hasta 60°C mediante un intercambiador de placas y posteriormente se enfría hasta 30°C, de esta forma se produce un choque térmico que rompe los cristales de mayor tamaño retardando así el crecimiento de estos, pues se trata de un crecimiento exponencial.

Además, este choque térmico acaba con los posibles microorganismos presentes en el producto que pudiesen resultar nocivos, así como suele ser suficiente como para inactivar los cuerpos víricos, alcanzando de esta forma un producto totalmente limpio tanto de impurezas como de microorganismos.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

4.3. Depósitos de lanzamiento

Una vez se tiene el producto listo para su envasado, se almacena en unos depósitos calorifugados que actúan como depósitos de lanzamiento a las líneas de envasado. Estos depósitos tienen un volumen diferente dependiendo de la cantidad de producto que vaya a ser envasada, o del tipo de línea que vaya a utilizarse, bien la línea de envasado a granel o bien la línea de envasado de producto acabado.

4.4. Líneas de envasado

La nave industrial consta con dos líneas muy dispares de envasado; mientras una línea se trata de una línea de envasado a granel, la segunda, es una línea de producto acabado y personalizado en función de la demanda del cliente. Por lo que, mientras la primera requerirá de necesidades lumínicas básicas, como si de cualquier estación del proceso anterior se tratase, la línea de envasado producto acabado deberá presentar una incidencia lumínica superior.

4.4.1. Línea de envasado a granel

La línea de envasado a granel presenta unos requerimientos estéticos mínimos, esto se debe a que se envasa en bidones o ICB que se entregarán al cliente para que este se envase su producto. Por ello, los acabados pueden ser más bastos que la línea de producto acabado y los equipos que se utilizan de un carácter más industrial.

La línea está formada por una bomba impulsora, que impulsa el producto desde el depósito de lanzamiento al bidón donde se almacenará, éste se mueve por medio de una cinta de rodillos con una báscula incorporada que marca la cantidad de producto que se encuentra dentro del bidón.

Finalmente, cuando el bidón tiene la cantidad establecida de producto, una carretilla elevadora recogerá el bidón y lo almacenará en el almacén de producto acabado.

4.4.2. Línea de producto acabado

La línea de producto acabado consta con una maquinaria más sofisticada que la línea de envasado a granel. Esto se debe a que, en este caso, la miel debe ser envasada en tarros, bien de plástico o bien de cristal, con una fragilidad mucho mayor a la de un bidón metálico.

Además, estos tarros deben ser etiquetados, sellados térmicamente para garantizar su estanqueidad, almacenados en cajas para conformar paquetes que a su vez se almacenarán en pallets y finalmente serán envueltos en *film* para evitar desprendimientos en el transporte.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

4.5. Almacenaje

En el sector apícola, y sobre todo en su procesamiento industrial, el almacenaje resulta bastante sencillo debido a que los bidones y los ICB son apilables entre ellos, alcanzando hasta cinco alturas sin riesgo de desprendimientos.

Por otra parte, el producto acabado y envasado requerirá de un espacio algo mayor que la materia prima o el producto acabado a granel. Esto se debe a que los tarros de cristal son mucho más frágiles que los bidones o ICB, por lo que no pueden apilarse entre ellos y por tanto ocupan más superficie en planta.

Por ello, no hay necesidad de instalar estanterías en ningún caso, debido a que esta nueva nave es una planta de apoyo a la nave principal en la que se almacenará todos los envases vacíos, así como etiquetas o plásticos de sellado.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

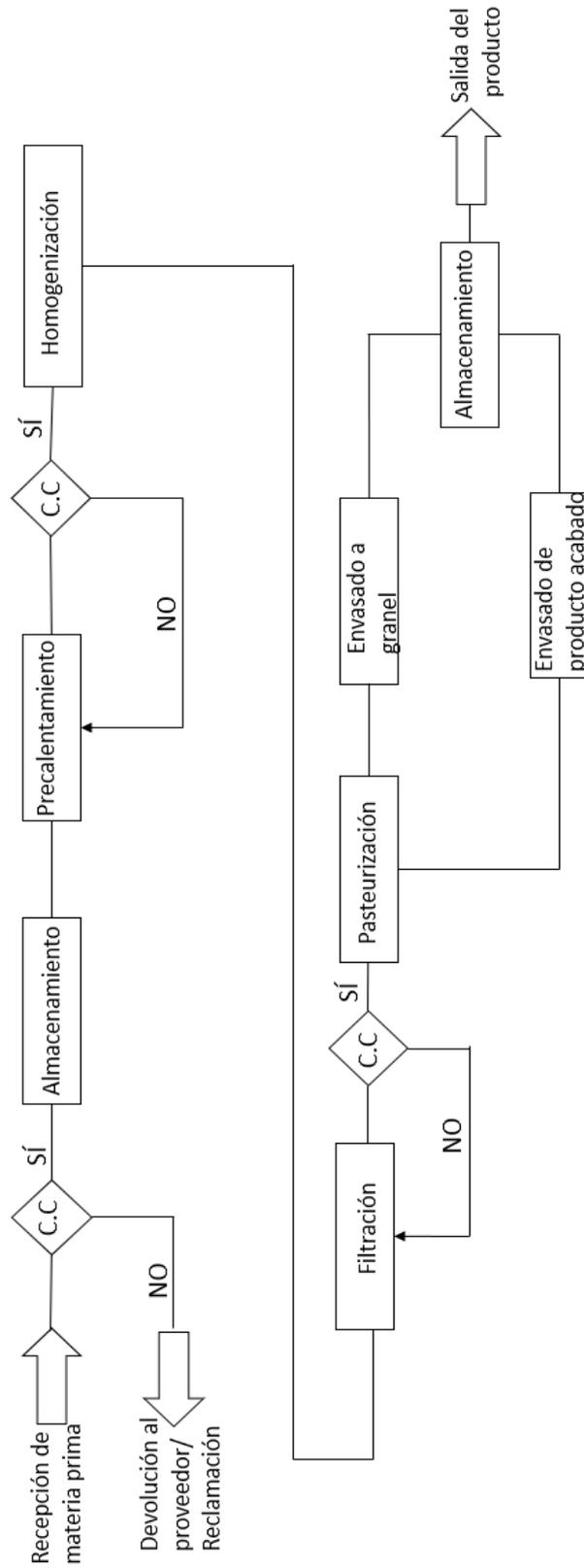


Ilustración 3. Diagrama de bloques del procesado de miel.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

5. Distribución en planta del proceso productivo

La distribución de la nave industrial sigue un patrón estratégico de forma que puedan habilitarse la zona primera para el almacenaje, permitiendo así que los almacenes queden cercanos a los muelles de carga, y situando los depósitos de lanzamientos en un punto que no generen incompatibilidades con el resto de las actividades.



Ilustración 4. Distribución en planta

En el interior de la nave se puede observar primeramente la zona de almacenaje donde se encuentra la materia prima donde a su paso por cada una de las etapas del proceso productivo va procesándose y alcanzando las características necesarias para suplir las características que ha demandado el cliente o el consumidor final hasta alcanzar el último punto que es el almacén de producto acabado.

Eso se debe a que en la alimentación debe tratar de seguirse una distribución tan lineal como sea posible, garantizando así la seguridad del producto. De esta forma, el producto va pasando linealmente cada una de las etapas de procesado, descritas con más detalle en el proceso productivo, hasta llegar al almacén de producto acabado donde las carretillas elevadoras lo cargarán en el furgón, camión o tráiler correspondiente.

Cabe destacar que, como se ha mencionado con anterioridad, se trata de una nave auxiliar a las instalaciones principales de la empresa. Por ese motivo, la sala de calderas no se encuentra en el diagrama, así como los talleres, oficinas o vestuarios que se encuentran en la nave que linda posteriormente con esta como puede verse en la parcelación.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

6. Iluminación

La iluminación en una nave industrial debe tenerse en cuenta en todos sus aspectos dado que es uno de los factores que garantizara la seguridad e integridad física de los trabajadores. Por ese motivo, debe estudiarse la correcta distribución de punto de luz, bien naturales o artificiales, de forma que todo puesto de trabajo disponga de la cantidad de luz que se establece para dicho puesto.

Por ello, debe realizarse un estudio que tenga en cuenta todas las características geográficas, meteorológicas, estructurales y constructivas de la nave, así como el horario de trabajo de la empresa para poder garantizar incluso en las condiciones más desfavorables un aporte lumínico suficiente para satisfacer las necesidades de trabajo.

6.1. Tipos de iluminación

La iluminación puede distinguirse en dos subgrupos en función de si se refiere a su procedencia o su incidencia. Por tanto, encontramos un total de 5 definiciones como se ven a continuación:

- **Procedencia**
 - Natural: Si bien la definición correcta de iluminación natural es muy extensa, pues existen diversos medios en los que se puede encontrar luz en la naturaleza, en este caso se definirá como toda aquella luz proveniente del Sol, pues es la que tiene una incidencia real y homogénea en el tiempo sobre la nave industrial.
 - Artificial: Se denomina iluminación artificial a toda aquella iluminación que se genera por medios eléctricos o con un suministro de energía que no sea espontáneo en la naturaleza.
 - Mixta: Se trata de una combinación de las dos anterior, es el caso más habitual en las naves industriales.

- **Incidencia**
 - General: Aquella iluminación que se da de forma global en el área de trabajo y cuyo objetivo es iluminar toda la superficie por igual.
 - Localizada/Puntual: Aquella iluminación cuyo objetivo es incidir en un punto concreto donde las necesidades lumínicas son muy elevadas o que, en caso de encontrarse de forma general, resultarían molestas para el trabajo.

Una vez se han mencionado las distintas alternativas en función de su naturaleza, se concluye optando por un tipo de iluminación general, debido a que no se requiere de gran precisión en ninguna de las actividades realizadas, y optando por una procedencia de origen natural siempre que sea posible.

Pese a ello, debe tenerse en cuenta que se existirán zonas con mayores requerimientos lumínicos, por lo que una correcta distribución de la nave industrial es primordial. Además, deberá generarse un sistema de iluminación mixta para suplir situaciones esporádicas que puedan presentarse debido a, por lo general, condiciones meteorológicas adversas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

6.2. Requerimientos

Cabe destacar que todos los puestos de trabajo no requerirán del mismo aporte lumínico, aquellos puestos donde sea vital la precisión en el trabajo o existan riesgos para el trabajador el aporte lumínico será superior, por ello, resulta vital tener en cuenta la distribución en planta del proceso productivo.

Debido a la necesidad normalizar las necesidades lumínicas en el puesto de trabajo, se han establecido numerosas normas a lo largo de los años donde destacan las siguientes:

- DIN 5035: Iluminación nominal. Clasificación de las tareas visuales.
- UNE 12464.1: Norma europea sobre la iluminación para interiores

Además, atendiendo el ámbito nacional, se dispone del RD 486/1997 publicado en el boletín oficial del estado donde se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Mediante todo este conjunto de normas tanto de ámbito nacional como internacional, se concluyen dos ideas básicas en las que destaca la necesidad de utilización de iluminación natural tanto como sea posible.

El primer objetivo es disminuir tanto como sea posible el consumo energético de la nave, pudiendo así aprovechar la energía solar, reduciendo gastos y por tanto posibilitando a la larga nuevas inversiones debido a un mayor ahorro.

El segundo objetivo se basa en garantizar la seguridad de los operarios, sobre todo en aquellos casos donde se tengan labores de riesgo o se utilice maquinaria compleja en la que pueda peligrar la seguridad del trabajador. Esto se refiere tanto a la aportación de la iluminación suficiente como al debido establecimiento de ventanales para evitar deslumbramientos.

6.2.1. Eficiencia de la iluminación

Si bien en tiempos anteriores, la instalación de elementos capaces de aportar iluminación natural era totalmente opcional en aquellas zonas donde se presentará dicho recurso, actualmente y según establece el Código Técnico de Edificación o CTE, el uso de iluminación natural, siempre y cuando esta pueda sustituir a la artificial, es obligatoria en todas aquellas instalaciones que no tengan limitación a ello.

El CTE establece un procedimiento analítico por el cual puede valorarse la eficiencia de la iluminación. Este cálculo da como resultado el valor de eficiencia energética que se dispone en la instalación por cada 100 luxes, que a su vez se conoce como VEEI.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Ecuación 1. Cálculo del VEEI

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

- P: Hace referencia a la potencia de la luminaria en vatios
- S: Hace referencia a la superficie iluminada en metros cuadrados
- E_m : Hace referencia al nivel de iluminación medio en luxes

El número de puntos que deben tomarse para el cálculo del VEEI se encuentra normalizado, pudiendo calcularse analíticamente por medio una expresión matemática que cuenta con las variables geométricas de la instalación.

Ecuación 2. Cálculo del parámetro k

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

- L: Longitud de la nave
- H: Distancia desde el plano de trabajo a las luminarias
- A: Anchura de la nave

De esta forma se establecen una serie de puntos mínimos normalizados en función del parámetro k, debido a que se va a usar un software informático, el número de puntos de cálculo va a ser mucho mayor al establecido en la norma, no obstante, se ven reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Puntos mínimos para el cálculo de la iluminación media

K	Mínimos puntos para el cálculo de la iluminación media
$K < 1$	4
$2 > K \geq 1$	9
$3 > K \geq 2$	6
$K > 3$	25

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

6.3. Tipos de aberturas para iluminación natural

Si bien la iluminación artificial puede establecerse de forma sencilla una vez la nave industrial ya se encuentra construida, la iluminación natural debe llevar a cabo un estudio previo, de forma que los ventanales y lucernarios se instalen en función de la distribución en planta que se disponga.

Por este motivo, resulta vital conocer los equipos que se disponen, el material del que están compuestos, los lugares donde el operario trabajará con ellos y sus dimensiones geométricas de forma que se optimice tanto como sea posible la instalación de elementos de iluminación.

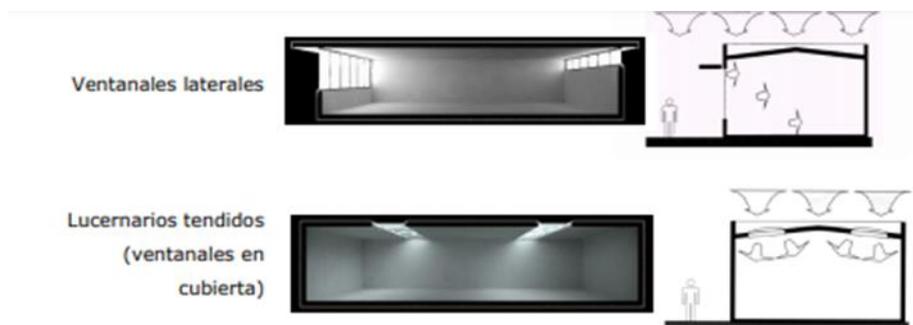
Como se ha mencionado anteriormente, la normativa respecto a la iluminación interiores varía en función del ámbito, existiendo variedad de normas o códigos, es por ello por lo que en este caso se empleará la *Normativa Europea sobre Iluminación para Interiores*, o bien, UNE-12464-1.1 donde se detallan explícitamente los luxes necesarios para garantizar una correcta iluminación en el área de trabajo en función del puesto de la industria, e incluso del puesto que ocupa el operario.

Finalmente, debe destacarse que los sistemas de iluminación natural más comunes en plantas industriales que varían en función de la localización de las aberturas. De esta forma, pueden distinguirse cinco tipos principales cuyo ángulo de incidencia sobre el plano de trabajo varía.

Tabla 2. Aberturas e iluminaciones

Tipo de abertura	Tipo de iluminación
Atrios	Cenital
Dientes de sierra	Combinada
Ventanales laterales	Lateral
Lucernarios tendidos	Cenital
Linternas	Combinada

Se puede observar gráficamente en la siguiente imagen:



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

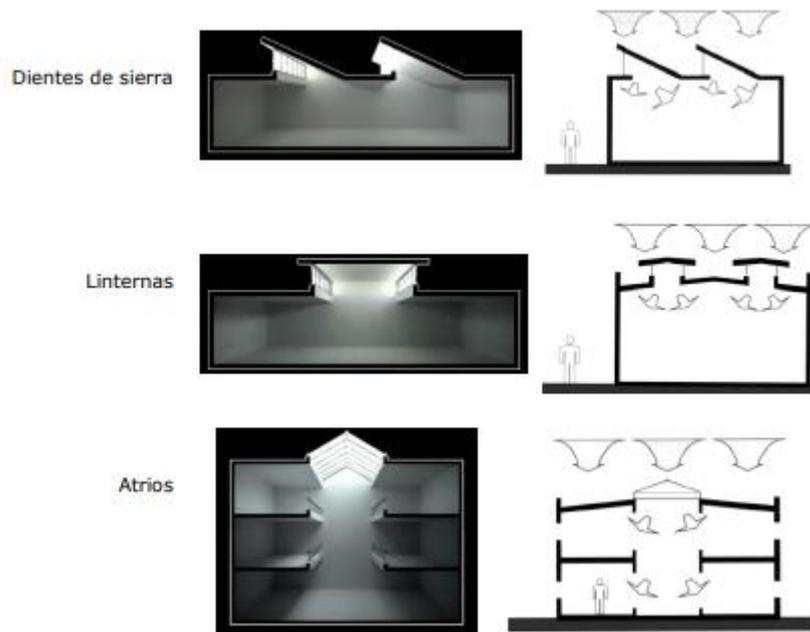


Ilustración 5. Aberturas e iluminaciones

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

6.3.1. Fundamentos de la iluminación natural

La iluminación que recibe la planta, independientemente del tipo de aberturas instaladas en ella, dependerá de la orientación de la nave, de las coordenadas de esta, la reflexión exterior factores meteorológicos, el día del año y el horario en el que se realice el estudio.

Por este motivo, se distinguen tres tipos de radiación solar en función de su incidencia sobre el elemento de iluminación natural:

- **Radiación directa:** Aquella radiación que incide sobre el local directamente sin ser reflejada por ningún elemento del ambiente. Depende de la rotación de la Tierra sobre el Sol por lo que es variable en función de las estaciones. Pues dependiendo de la estación, la posición del Sol respecto de la Tierra, y con ella la distancia que deberá recorrer cada haz de luz para alcanzar el local.
- **Radiación difusa:** Aquella radiación que incide indirectamente sobre el local una vez ha atravesado algún elemento del ambiente normalmente de origen natural. Por este motivo, la incidencia variará en función de las condiciones meteorológicas de la zona que a su vez dependerán de la estación del año.
- **Radiación reflejada:** también conocida como albedo, hace referencia al porcentaje de radiación que refleja una superficie respecto a la que incide sobre ella. Por tanto, se trata de aquella radiación que incide indirectamente sobre el local una vez ha sido reflejada por algún elemento del ambiente. Por ejemplo, el suelo o un edificio. Así mismo, esta radiación variará en función de los elementos de origen natural, como montañas; o artificial, como edificios, que se encuentren en el ambiente del local.

De esta forma, puede entenderse que la radiación que es recibida por el local es una combinación de las tres anteriores como puede observar en la representación de la siguiente imagen:

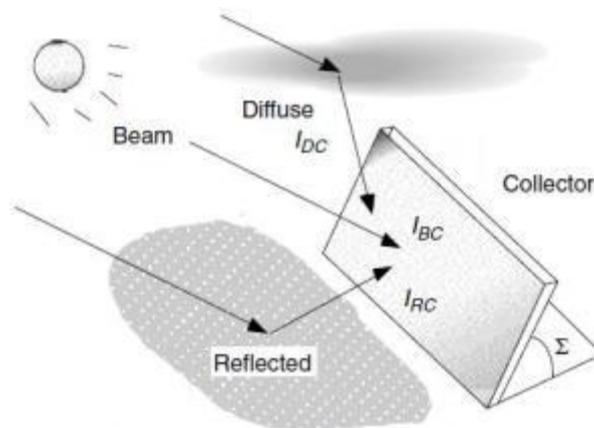


Ilustración 6. Tipos de radiación. Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/2011/08/12/j325-definicion-de-radiacion-directa-difusa-y-reflejada-sobre-un-colector/>.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Una vez conocidos los tipos de iluminación natural existentes, debe calcularse la superficie en metros cuadrados de aberturas que debe existir en el local para garantizar las necesidades lumínicas establecidas por la UNE.

Por ello, por medio del software de DIALux se ha establecido un modelo analítico que permiten establecer matemáticamente por medio de valores porcentuales el grado de difusión de los haces de luz en función de si el cielo se encuentra despejado, nublado o cubierto.

En este caso, se va a realizar el diseño de iluminación natural suponiendo un cielo despejado, debido a las coordenadas en las que se encuentra situada la nave y sus antecedentes meteorológicos.

6.3.2. Método analítico; DIN 5034

El método de cálculo matemático está fundamentado en la norma DIN 5034 titulada como *Daylight in interiors* y cuyo primer punto establece los requerimientos mínimos de iluminación en interiores.

Este método resulta la base del cálculo de la cantidad de aberturas que deben instalarse en un local actualmente, dado que, estableciendo todas las variables de la nave, así como del proceso industrial y la posición de las aberturas, la ecuación devuelve el valor en metros cuadrados de aberturas necesarias bien en ventanales o en lucernarios.

Ecuación 3. DIN 5034

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S}$$

A continuación, van a definirse todas las variables de esta ecuación y justificarse su cálculo o su valor.

- **E_m : Nivel de iluminación media en base a la norma UNE-12464.1**

La iluminación media es la media ponderada según los requerimientos lumínicos de la UNE-12464.1 por unidad de superficie. Cabe destacar que el hecho de cumplir el valor medio de iluminación media no implica que la iluminación sea correcta ni suficiente en el local.

- **E_a : Nivel de iluminación media en el exterior**

Se trata de la iluminación media que existe en la localización de la planta a una determinada hora. El cálculo del nivel de iluminación medio debe realizarse valorando la totalidad de los días del año para una hora y coordenadas específicas. En este caso se ha tomado la ciudad de

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Valencia a las 09.00. De forma que, debido a que el 69.3% de las horas tienen una iluminación mayor o igual a 3000 luxes, se toma dicho valor como valor de iluminación media externa.

- **f : Factor de ventanas**

Este factor tiene relación directa con el grado de incidencia de la radiación directa sobre el ventanal o lucernario. De esta forma, a medida que el ángulo aumente, el factor de ventanas será menor, y, por tanto, la iluminación media disminuirá.

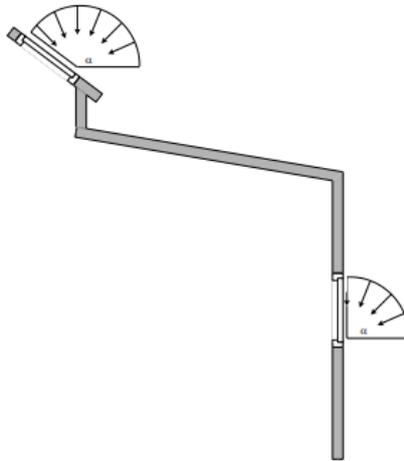


Ilustración 7. Factor ventanas. Fuente: Apuntes construcción y arquitectura industrial, PoliformaT.

Ecuación 4. Cálculo del factor f

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

- Lucernarios: En ángulo será variable en función de la inclinación de la cubierta
- Ventanales: EL ángulo será de 90 grados y por tanto el valor de f será constante en 0,5.

- **f' : Factor de reducción ventana-muro**

El factor de reducción ventana-muro, tiene en cuenta el espesor de los cerramientos del local y su relación con la dimensión de la ventana, concretamente con su altura. Esto es debido a que en el hipotético caso en el que la altura de la ventana fuese menor al espesor del muro, el factor f' sería menor a la unidad, con lo que estaría disminuyendo el valor de la iluminación media.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Ecuación 5. Cálculo del factor f'

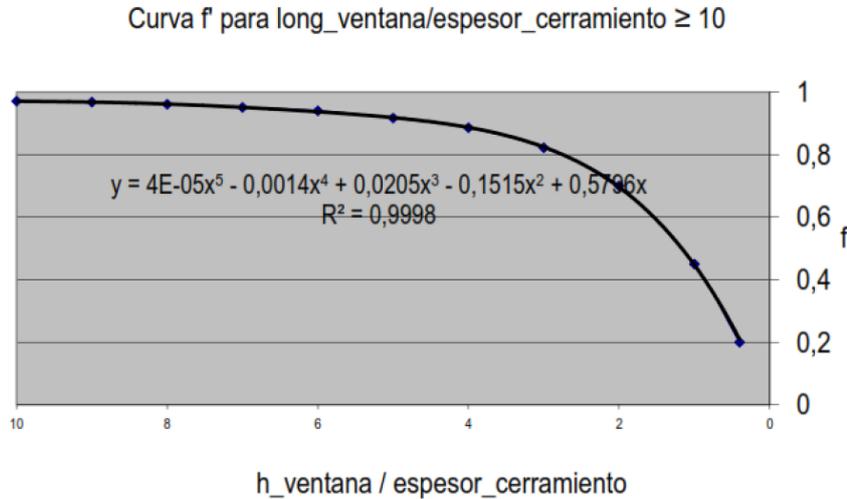


Ilustración 8. Factor de reducción ventana-muro. Fuente: Apuntes construcción y arquitectura industrial, PoliformaT.

Por este motivo, el factor f' debe ser tan grande como sea posible, observando gráficamente la representación polinómica de quinto orden donde se justifica que cuando relación de la altura de la ventana con el espesor del cerramiento alcanza valores elevados, el factor f' tiende a 1

- **η : Rendimiento del recinto**

El coeficiente de rendimiento del recinto tiene en cuenta la reflexión de las superficies del local, de forma que puede valorarse no solo la radiación directa que llega a los planos paralelos a las aberturas, sino que, a su vez, puede tenerse en cuenta la reflexión de estos sobre el resto de la nave.

Este valor porcentual suele oscilar entre el 40 y el 50% en locales rectangulares, si bien resulta más concreto realizar la media de los coeficientes de reflexión de las superficies.

- **S_V/S_L : Superficie de ventanas**

Se trata de la superficie total de ventanas o lucernarios necesarias para satisfacer las necesidades lumínicas del local. Este parámetro es el pendiente de evaluación y cuyo resultado estará justificado según los valores de necesidades lumínicas de la UNE-12464.1

- **S_S : Superficie del local**

Este parámetro hace referencia a la superficie en planta del local que desea iluminarse, en este caso se trata de una nave diáfana con un área de 1000 metros cuadrados.

6.3.3. Parámetros de control del sistema de iluminación

Una correcta iluminación engloba una serie de parámetros que justifican la validez de esta, por ello, las simulaciones realizadas deberán cumplir dichos parámetros o acercarse tanto como sea posible a su valores mínimos o máximos.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

De esta forma, se elegirán la propuesta cuyos resultados sean óptimos, de manera que su iluminación sea tan buena como sea posible, y a esta, se le aplicarán una serie de mejoras para optimizar los valores obtenidos respecto a los valores ideales.

- **Nivel de iluminación media (E_m):** Este parámetro establece el valor en luxes que debe aportarse en un área donde se realiza una determinada labor. Así, se permite obtener una iluminación apropiada en las distintas áreas dependiendo de tipo de iluminación.

Estos valores se encuentran normalizados según la norma UNE-12464.1 de forma que distinguen las necesidades lumínicas en función del riesgo o delicadez de la labor en cuestión.

- **Nivel de iluminación máximo (E_{max}):** El nivel de iluminación a su vez debe estar limitado por un máximo, de forma que no se alcancen puntos de iluminación demasiado elevados que pudiesen llegar a cegar a los operarios o deslumbrarlos. Por esta razón, existen un límite establecido en 2000 luxes, valor de referencia medio del exterior.
- **Uniformidad (E_{min}/E_m):** Si bien el nivel de iluminación media puede ser válido, y, además, no sobrepasarse el nivel de iluminación máximo, la uniformidad también debe tenerse en cuenta. Esto se debe a que en determinados casos puede haber sectores que iluminación muy dispar, de forma que resultase en deslumbramientos para los operarios antes el cambio de radiación recibida. Por todo ello, se considera que el valor que garantiza una correcta uniformidad será mayor o igual a 0,3.
- **Deslumbramientos:** Si bien este parámetro no tiene que ver con la iluminación recibida ni su distribución, también es de vital importancia debido al riesgo de deslumbramiento al que se exponen los operarios en caso de que los ventanales no se encuentren bien situados. Por este motivo, cualquier área del ventanal debe encontrarse en un ángulo inferior a 30º respecto a un plano horizontal situado a la altura del ojo humano, de forma que se garantice que cualquier movimiento del operario se encuentre fuera del trayecto del haz de luz.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

7. Aplicación del método analítico

7.1. Áreas de trabajo

Para la correcta aplicación del método analítico, primeramente, se debe concretar la concreta labor que va a realizarse en cada área. Por esto motivo, debe dividirse la nave en función de las zonas existentes. A continuación, se muestra una imagen en 3D donde se diferencian, junto al diagrama de proceso del punto 5, las distintas instalaciones del proceso:

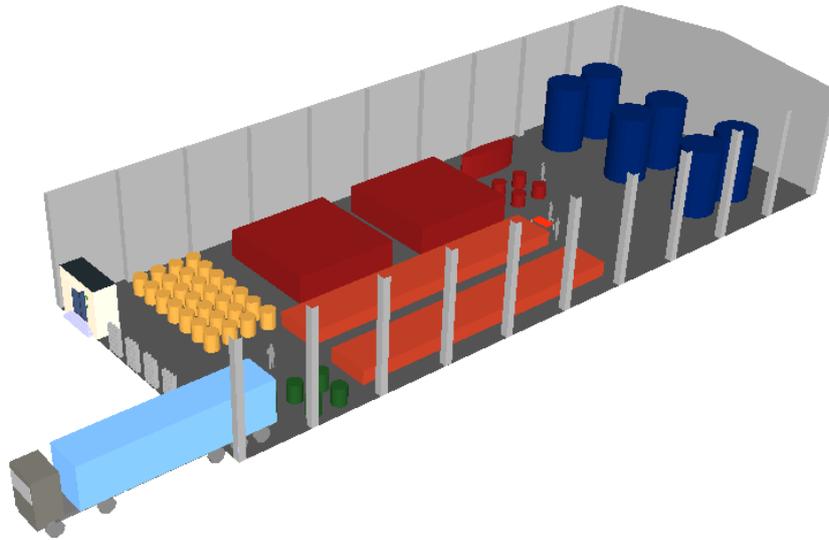


Ilustración 9. Representación de la planta en 3D

De esta forma, puede considerarse que cualquier área que no se encuentre ocupada por alguno de los módulos, se trata de un área de circulación o pasillos, por ello, podemos distinguir a grandes rasgos los siguientes equipos:

Tabla 3. Áreas de la planta

Áreas	Color
Procesado	Rojo
Depósitos de lanzamiento	Azul
Almacén materia prima	Verde
Almacén producto acabado	Amarillo
Líneas de envasado	Naranja
Áreas de paso	Gris

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

A continuación, y con cada una de las áreas ya definidas, debe observarse el valor asignado en la UNE 12464.1 en función del área de trabajo obteniendo así el requerimiento lumínico para cada una de las zonas de trabajo.

Tabla 4. UNE 12464.1

Áreas	Requerimiento (UNE12464.1) (lux)	Superficie ocupada (m^2)
Procesado	200	168.75
Depósitos de lanzamiento	200	90
Almacén materia prima	200	50
Almacén producto acabado	200	50
Líneas de envasado	300	120
Áreas de paso	100	521.25

7.2. Método analítico DIN 5034

- Valor de E_m

Primeramente, va a procederse al cálculo de la iluminación media en la planta en base a los datos que se presentan en la *Tabla 4*. Por ello, se realizará la media ponderada de las distintas áreas y sus respectivos valores lumínicos asociados según la UNE.

Agrupando las áreas en función del requerimiento lumínicos, se obtiene:

Ecuación 6. Cálculo de la iluminación media

$$E_m = \frac{(358.75 \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ lux}) + (300 \text{ lux} \cdot 120 \text{ m}^2) + (100 \text{ lux} \cdot 521.25 \text{ m}^2)}{1000.25 \text{ m}^2} = 159,875 \text{ lux}$$

- Valor de E_a

El valor de la iluminación media del exterior depende directamente de la posición geográfica donde se sitúe la nave. En este caso, debido a que se encuentra en el polígono de les Valletes, en la localidad de Montserrat en Valencia, en nivel de iluminación media exterior se considera 3000 luxes.

Como puede observarse, dicho valor sobrepasa el valor de iluminación máxima establecido como parámetro de control, por lo que debe tenerse en cuenta que un mal diseño de las aberturas podría provocar deslumbramientos en el interior.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

- **Valor de f**

El cálculo de este valor depende de la inclinación de la cubierta que se representa mediante el signo alfa en la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Aplicación del factor f

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

- Ventanales:

$$f = 0,5$$

- Lucernarios

$$\alpha = 12.41^\circ$$

$$f = 0.931$$

- **Valor de f'**

Debido a que se tratan de ventanales y lucernarios industriales, se considera que el factor de reducción ventana con muro es despreciable debido a que las dimensiones de las aberturas van a ser de gran tamaño, por lo que el factor va a tender asintóticamente hacia la unidad.

- **Valor de η**

Por tratarse de un recinto de geometría rectangular, se va a considerar un rendimiento medio entre el 0.4 y el 0.5, de forma que se obtiene un valor de 0.45.

- **Valor de S_s**

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta nave industrial es una instalación auxiliar a la planta principal, por lo que la totalidad de la superficie de la planta se utilizará para la producción o almacenamiento de producto. Por este motivo, no se tienen en cuenta oficinas, vestuarios, comedores y demás áreas cerradas que restarían superficie a la planta.

Tabla 5. Resumen de los valores de los parámetros

Parámetro	Valor
E_m	159.875
E_a	3000.00
f	0.5/0.93
f'	1
η	0.45
S_s	1000

De esta forma, puede observarse que el resultado será variable en función del parámetro f . Por ese motivo, se repetirá la operación en dos ocasiones, la primera se valorará la superficie necesaria en ventanales laterales y la segunda se valorará la superficie en lucernarios.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

- **Método analítico para ventanales**

Ecuación 8. Aplicación de la DIN 3034 para ventanales

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S}$$

$$S_V = \frac{159.875 \cdot 1000}{3000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.45} = 236.85 \text{ m}^2$$

- **Método analítico para lucernarios**

Ecuación 9. Aplicación de la DIN 3034 para lucernarios

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_L}{S_S}$$

$$S_V = \frac{159.875 \cdot 1000}{3000 \cdot 0.93 \cdot 1 \cdot 0.45} = 127.339 \text{ m}^2$$

Si bien en el cálculo realizado se considera que el material de construcción de las aberturas es vidrio transparente, en realidad, se trata de policarbonato, con una eficiencia al paso de la luz mucho menor, aunque mucho más eficientes en el ámbito industrial. Por ese motivo, puede ser necesaria una mayor superficie a la calculada hasta el momento, aumentándose en el caso de que la iluminación sea insuficiente cuando se realicen las simulaciones.

Cabe destacar que el policarbonato presenta mejores resultados en el área industrial dado que evita los deslumbramientos en mayor medida que el vidrio transparente, así como es menos frágil y resulta más económico.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

8. Diseño del sistema de iluminación

Las propuestas que se van a plantear resultarán de una combinación de lucernarios y ventanales, por lo tanto, aunque el cálculo realizado implicase utilizar una de estas aberturas únicamente, en ciertas propuestas se planteará la combinación de ambas.

El método de trabajo se basa en proponer tres escenarios posibles, analizar los resultados, y en base a ello escoger el óptimo. Una vez se tenga este, y en el caso de ser necesario, se realizarán las mejoras pertinentes para optimizar los parámetros de control.

8.1. Coeficientes de reflexión

La reflexión de la luz se define como el cambio de dirección que sufre el haz de luz cuando incide sobre un determinado objeto. Por este motivo, deben estudiarse los coeficientes de reflexión que dependerán del material y la superficie sobre la que incidan.

Tabla 6. Coeficientes de reflexión

Medio	Coeficiente de reflexión (%)
Suelo	20
Paredes	50
Pilares	50
Techo	70
Tanques	70
Líneas de envasado	50
Equipos de procesamiento	50

Además, tanto los ventanales como los lucernarios disponen de una serie de parámetros que permitirán evaluar el rendimiento de transmisión de luz. Estos dependen del tipo de ventana o lucernario y su abertura, del material del que estén formados y de la zona donde se encuentre la nave industrial.

Respecto al último parámetro, se va a considerar que la nave industrial se encuentra en una zona donde se acumula mucha suciedad en su cubierta, de forma que el parámetro será lo más desfavorable posible.

Tabla 7. Parámetros característicos de los ventanales y lucernarios

Parámetro	Tipo	Grado porcentual
Grado de transmisión del vidrio opalino	Vidrio Opalino	40%
Factor de contaminación	Entorno industrial alto	0.5
Factor de división con travesaños	Ventana metal fija	0.9
Factor de reducción por luz de incidencia no vertical	---	0.8

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.2. Deslumbramientos

Previamente al diseño de la nave industrial, debe tenerse en cuenta la altura mínima donde deben posicionarse los ventanales para que el ángulo respecto del plano de trabajo, plano situado a la altura de los ojos de los operarios, 1,6m, respecto al ventanal sea igual o mayor a 30° .

Considerando primeramente una altura de 5m sobre el plano de trabajo para instalar los ventanales, de forma que exista superficie suficiente para introducir un área sustancial de aberturas, se debe calcular la superficie de deslumbramientos existente.

Por tanto:

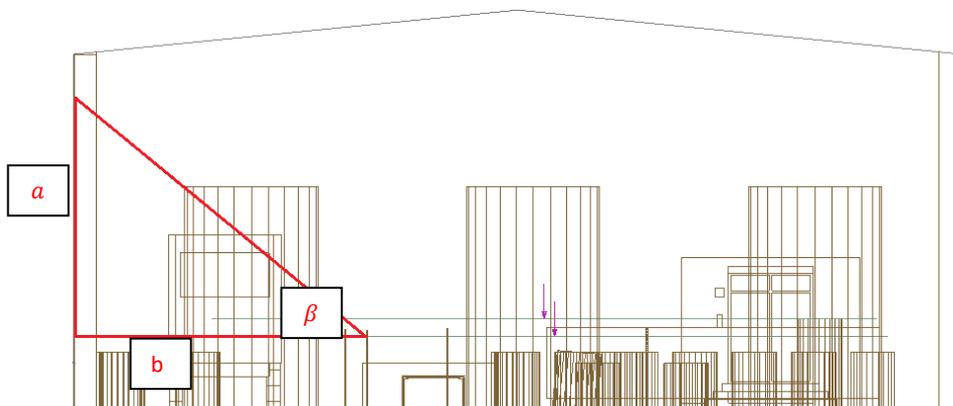


Ilustración 10. Cálculo de deslumbramientos.

Donde

- a: Altura desde el plano de trabajo al ventanal
- b: Distancia máxima para garantizar un ángulo de incidencia superior a 30°
- β : Ángulo de incidencia que debe ser superior a 30°

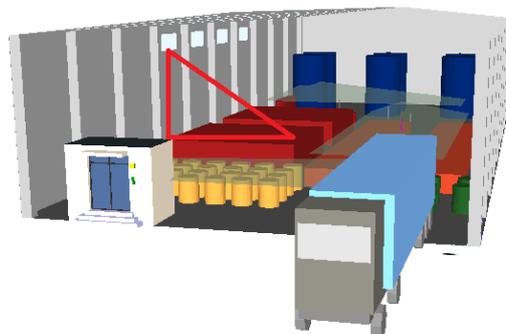


Ilustración 11. Cálculo de deslumbramientos 3D.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Ecuación 10. Cálculo de la distancia de deslumbramiento

$$\tan(\beta) = \frac{a}{b}$$

$$b = \frac{6.6 - 1.6}{\tan(30)} = 8.7m$$

De esta forma, a partir de 8,7 metros pueden sufrirse deslumbramientos. No obstante, nuestra nave industrial tiene una anchura de 20 metros, por lo que dividiendo está en dos mitades, quedarán 10m en cada mitad. Teniendo en cuenta que los puestos de trabajo de la nave se encuentran orientados hacia la pared más cercana, únicamente existirá 1,3m de zona posibles deslumbramientos en cada mitad de la nave, acumulando un total de 2,6m. Teniendo en cuenta que la nave tiene 20m de amplitud, se obtiene un total de $52m^2$ de zona de posibles deslumbramientos.

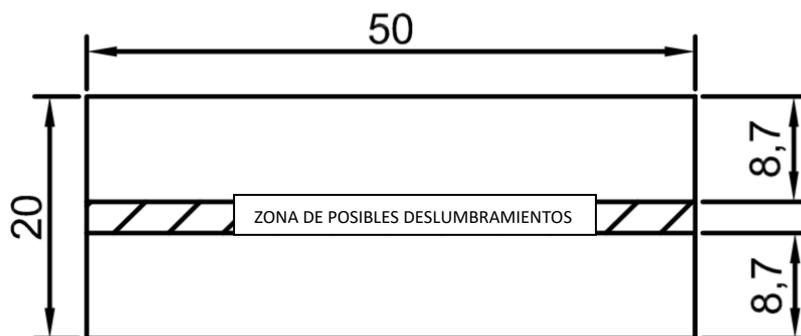


Ilustración 12. Superficie de deslumbramientos

Por tanto, va a calcularse el valor límite sobre el que podría calcularse la altura a la que debe situarse la ventana para evitar que se produzcan deslumbramientos:

Ecuación 11. Cálculo de la distancia límite de deslumbramiento

$$\tan(\beta) = \frac{a}{b}$$

$$a = \tan(30) \cdot 10 = 5.77 m$$

A esta distancia que referencia el suelo, debe sumarse la altura del plano de operación para obtener el valor real:

$$a' = 5.7 + 1.6 = 7.3 m$$

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Debido a que la nave tiene una altura de pilares de 8,8 metros, aún queda margen para la diseñar aberturas en forma de ventanales garantizando la seguridad de los operarios contra deslumbramientos.

Cabe destacar que, en el caso de ser necesario situar los ventanales en una altura inferior a la calculada, existen soluciones para evitar deslumbramientos basados en paneles de apantallamiento que evitan la radiación directa sobre el plano de trabajo del operario. Por tanto, podría optarse por apantallar los ventanales de forma que se perdería ligeramente la capacidad lumínica de la misma, aunque se disminuirían los riesgos de deslumbramiento.

8.3. Propuestas y simulaciones

Una vez ya se conocen los índices de reflexión de cada uno de los elementos de la nave industrial en función del material del que están diseñados, así como la altura crítica para evitar deslumbramientos, se puede empezar a diseñar las propuestas.

Las distintas propuestas van a simularse en distintas estaciones, en las que se incluye invierno, primavera y verano. De esta forma, podrá observarse la iluminación en los meses de menor y mayor luminosidad, procurando que se cumplan los mínimos establecidos y evitando sobrepasar los límites.

Así bien, el mes de abril permitirá observar el comportamiento ordinario, actuando como punto medio entre el mes más oscuro, en este caso diciembre, y el mes más luminoso, en este caso se ha tomado junio.

Finalmente, para observar la evolución a lo largo del día, se tomarán dos horas para el estudio de las propuestas, estas serán las 09:00 y las 12:00, de forma que podrá observarse el pico inferior y superior de luminosidad dentro del horario laboral de la empresa.

Cabe destacar que, en el mes de junio, debido a que no quiere valorarse si la luminosidad es insuficiente sino si es excesiva, solo se simulará la propuesta a las 12:00 para garantizar que no exista ningún punto que exceda el máximo propuesto en el punto 6.3.3 *Parámetros de control del sistema de iluminación*.

Tabla 8. Fechas para simulaciones

Fecha	Hora
<i>10 de diciembre</i>	<i>09:00</i>
<i>10 de diciembre</i>	<i>12:00</i>
<i>15 de abril</i>	<i>09:00</i>
<i>15 de abril</i>	<i>12:00</i>
<i>24 de junio</i>	<i>12:00</i>

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.1. Propuesta 1

La primera propuesta constará únicamente de lucernarios, sin la necesidad de instalar ventanales laterales, por este motivo, la superficie total teórica será de $127.339 m^2$. Sin embargo, se tomará un valor ligeramente superior de forma que se garanticen con creces los requerimientos lumínicos.

De esta forma, debido a que la nave consta con 11 pórticos, se instalarán 10 lucernarios por cubierta de la nave, de forma que contará con un total de 20 lucernarios. La superficie total propuesta es de $140 m^2$, por lo que cada lucernario tendrá $7 m^2$.

Tabla 9. Propuesta 1

Propuesta 1	
Tipo de abertura	Lucernario
Área total de abertura	$140 m^2$
Número de lucernarios	20
Área por lucernario	$7 m^2$

Mediante una representación de la vista en planta y perfil donde puede observarse la distribución de los lucernarios, coloreados en azul, que se encuentran totalmente alineados entre los pórticos, cuentan con una separación de 5 metros entre cada uno de ellos y un desfase de 2.5 metros respecto al pórtico de fachada.

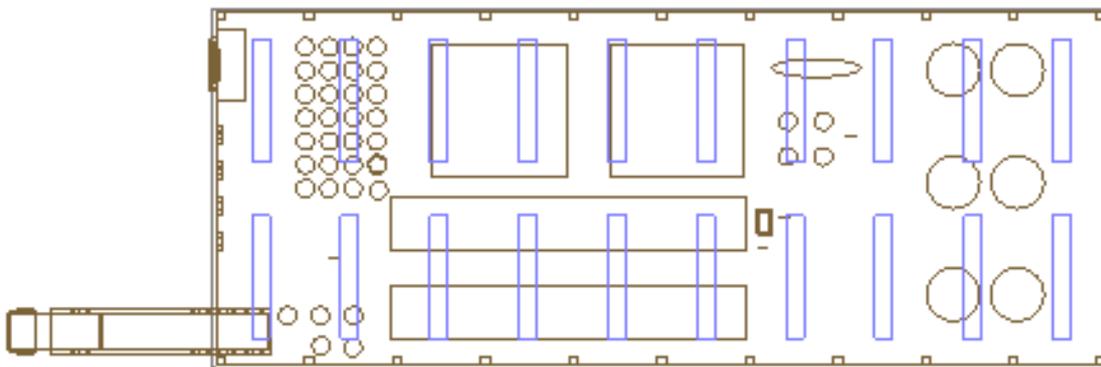


Ilustración 13. Propuesta 1, vista en planta. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

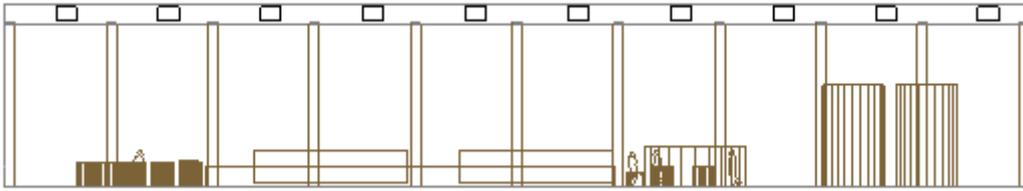


Ilustración 14. Propuesta 1, vista perfil. Fuente: DIALux

A continuación, se muestra una representación en 3D de la apariencia de la cubierta de la nave una vez han sido instalados los lucernarios.



Ilustración 15. Propuesta 1, vista 3D. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.1.1. Isolíneas de la *Propuesta 1*

Los resultados de la *Propuesta 1* son la representación más similar del método analítico calculado, aunque añadiendo una mayor superficie de lucernarios. Los resultados de esta propuesta se mostrarán en forma de isolíneas donde se puede observar la incidencia lumínica en función del área.

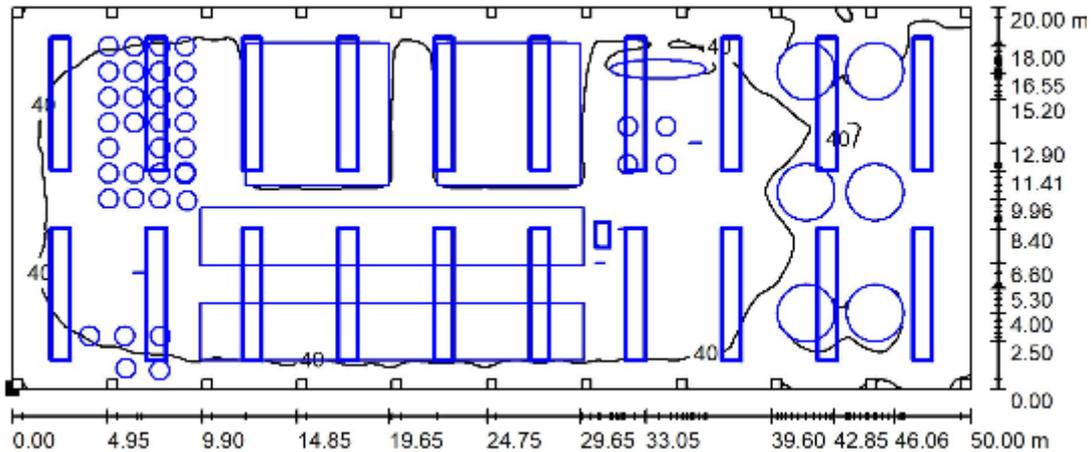


Ilustración 16. Isolíneas de la *Propuesta 1* el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00

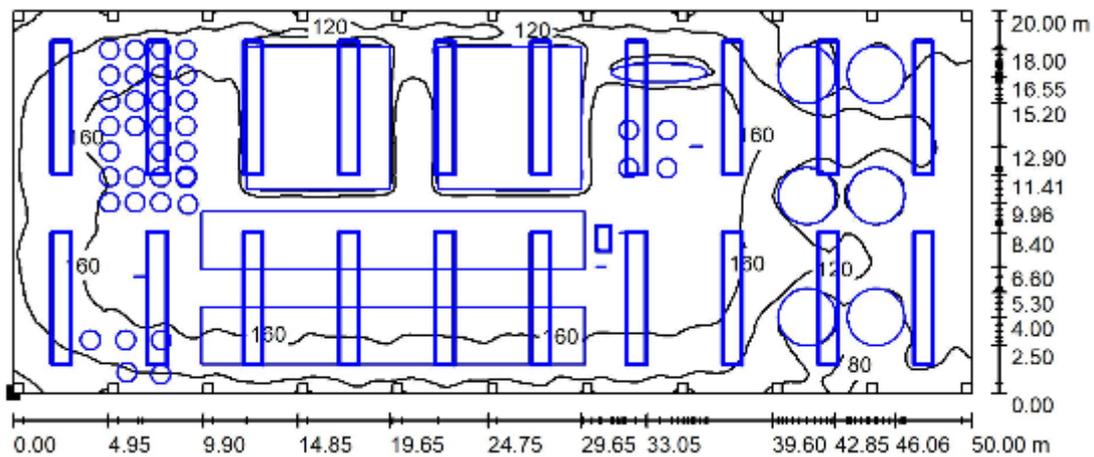


Ilustración 17 Isolíneas de la *Propuesta 1* el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

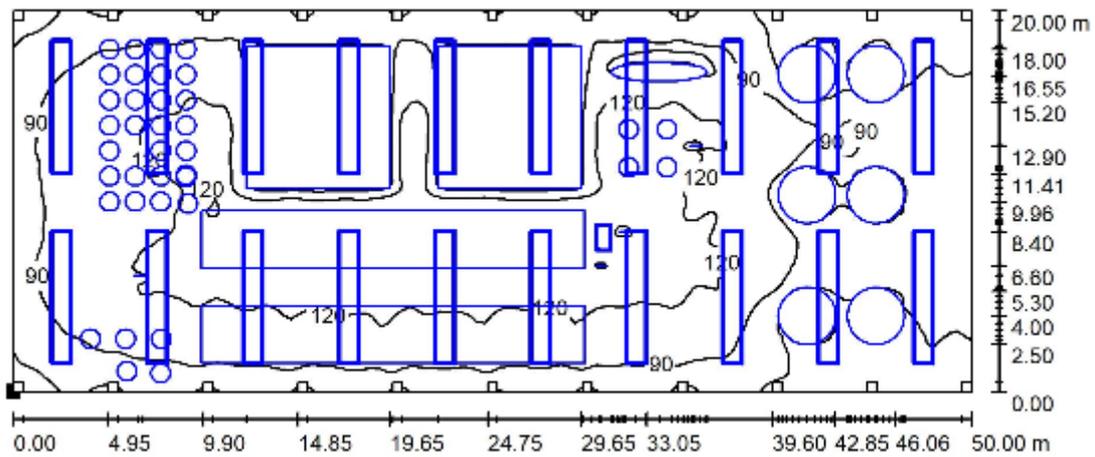


Ilustración 18. Isolíneas de la Propuesta 1 el 15 de abril del 2020 a las 09:00.

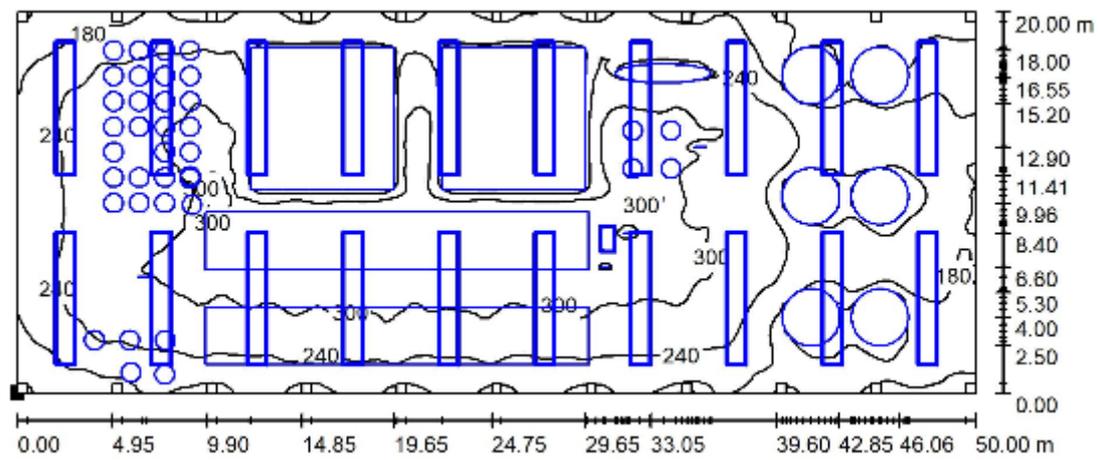


Ilustración 19. Isolíneas de la Propuesta 1 el 15 de abril del 2020 a las 12:00

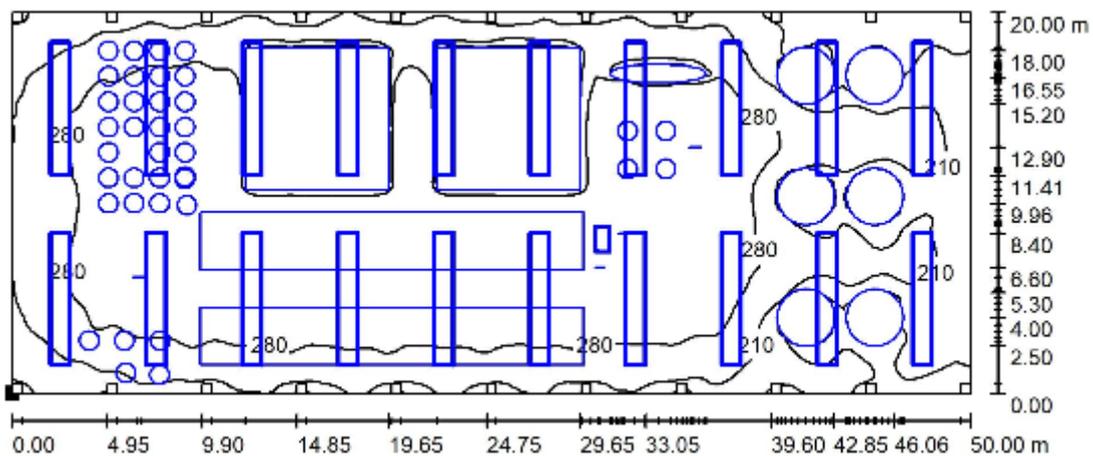


Ilustración 20. Isolíneas de la Propuesta 1 el 24 de junio del 2020 a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.1.2. Resultados de la Propuesta 1

Una vez presentadas las isólineas, puede recogerse los distintos valores de los parámetros de control mediante la siguiente tabla:

Tabla 10. Resultados Propuesta 1

Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
10 de diciembre del 2020	09:00	43	7.2	58	0.167	0.124	2891
	12:00	143	24	193	0.167	0.124	9632
15 de abril del 2020	09:00	98	16	133	0.167	0.124	6616
	12:00	243	41	328	0.167	0.124	16362
24 de junio del 2020	12:00	263	44	356	0.167	0.124	17787

A continuación, se va a realizar la media de los valores en función de la zona para garantizar el cumplimiento de los mínimos establecidos por la UNE 12464.1. De esta forma se distinguirán 3 zonas:

Tabla 11. Resultados por zonas de la Propuesta 1

Áreas	UNE (lux)	Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
Procesado	200	10/12	09:00	53	42	58	0.778	0.717	2891
			12:00	178	139	193	0.778	0.717	9632
		15/04	09:00	122	95	133	0.778	0.717	6616
			12:00	303	235	328	0.778	0.717	16362
		24/07	12:00	329	256	357	0.778	0.717	17787
Envasado	300	10/12	09:00	54	44	58	0.826	0.769	2891
			12:00	179	148	192	0.826	0.769	9632
		15/04	09:00	123	102	132	0.826	0.769	6616
			12:00	305	251	327	0.826	0.769	16362
		24/07	12:00	331	273	355	0.826	0.769	17787
Almacén y zonas de paso	100	10/12	09:00	47	33	55	0.705	0.607	2891
			12:00	156	110	182	0.705	0.607	9632
		15/04	09:00	107	76	125	0.705	0.607	6616
			12:00	266	187	308	0.705	0.607	16362
		24/07	12:00	289	204	335	0.705	0.607	17787

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

8.3.2. Propuesta 2

La propuesta 2 es una ampliación de la propuesta 1 donde se ha aumentado la superficie de los lucernarios para presentar mayor iluminación media, así como para mejorar la uniformidad de la nave.

De esta forma, debido a que la nave consta con 11 pórticos, se instalarán 10 lucernarios por cubierta de la nave, de forma que contará con un total de 20 lucernarios. La superficie total propuesta es de 240 m^2 , por lo que cada lucernario tendrá 12 m^2 .

Tabla 12. Propuesta 2

Propuesta 2	
Tipo de abertura	Lucernario
Área total de abertura	240 m^2
Número de lucernarios	20
Área por lucernario	12 m^2

Mediante una representación de la vista en planta y perfil donde puede observarse la distribución de los lucernarios, coloreados en azul, que se encuentran totalmente alineados entre los pórticos, cuentan con una separación de 5 metros entre cada uno de ellos y un desfase de 2.5 metros respecto al pórtico de fachada.

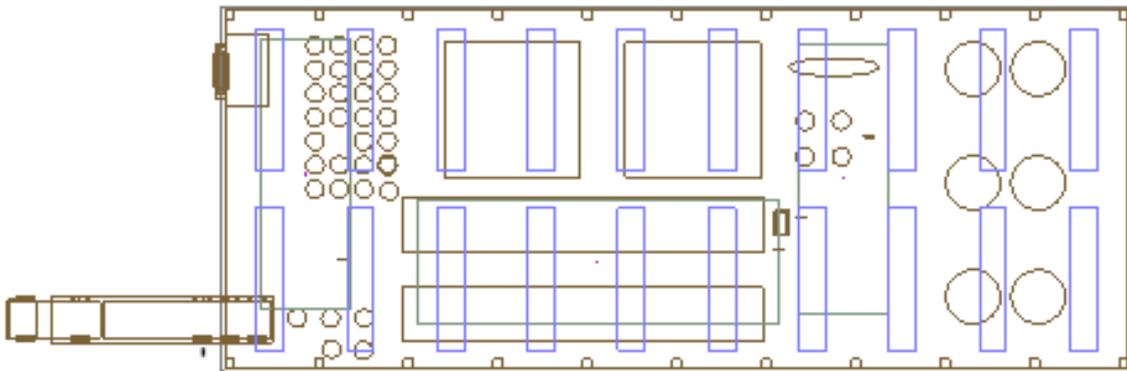


Ilustración 21. Propuesta 2, vista en planta. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

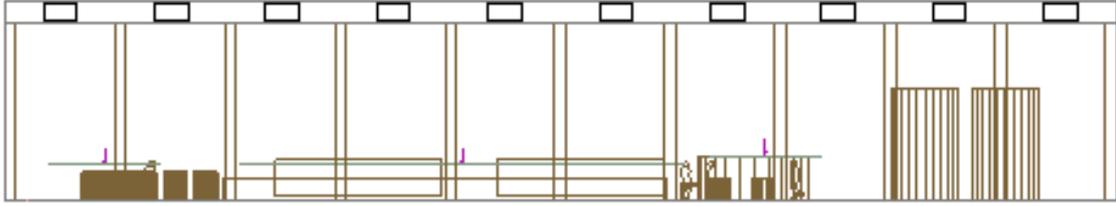


Ilustración 22. Propuesta 2, vista perfil. Fuente: DIALux

A continuación, se muestra una representación en 3D de la apariencia de la cubierta de la nave una vez han sido instalados los lucernarios.



Ilustración 23. Propuesta 3, vista 3D. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.2.1. Isolíneas de la *Propuesta 2*

Los resultados de esta propuesta se mostrarán en forma de isolíneas donde se puede observar la incidencia lumínica en función del área de trabajo de la nave.

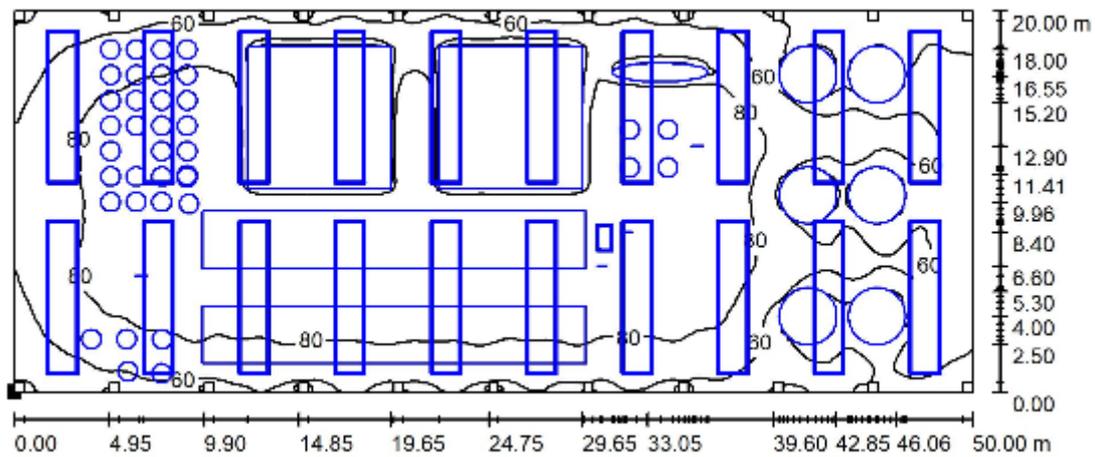


Ilustración 24. Isolíneas de la *Propuesta 2* el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00

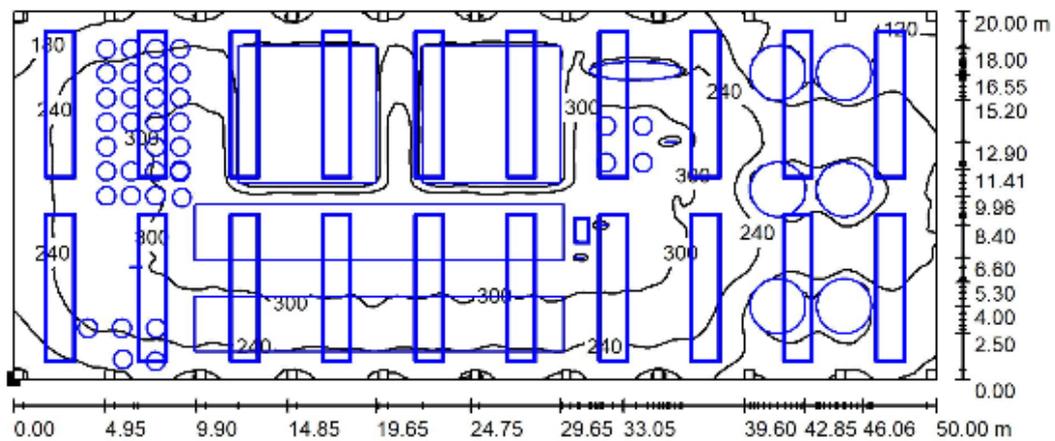


Ilustración 25. Isolíneas de la *Propuesta 2* el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

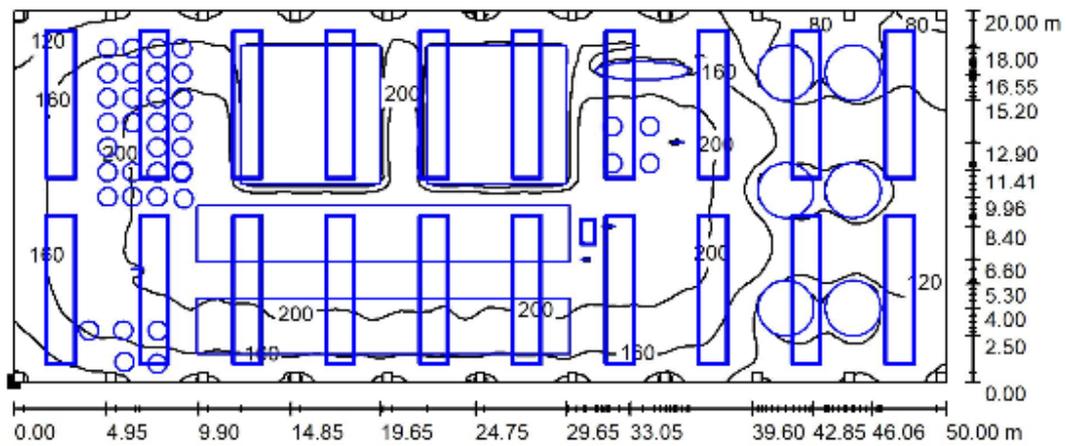


Ilustración 26. Isolíneas de la Propuesta 2 el 15 de abril de 2020 a las 09:00

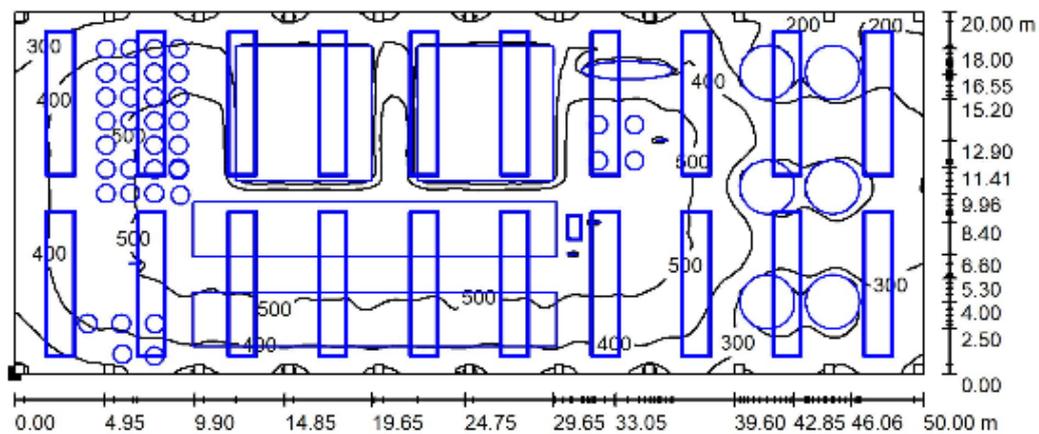


Ilustración 27. Isolíneas de la Propuesta 2 el 15 de abril a las 12:00

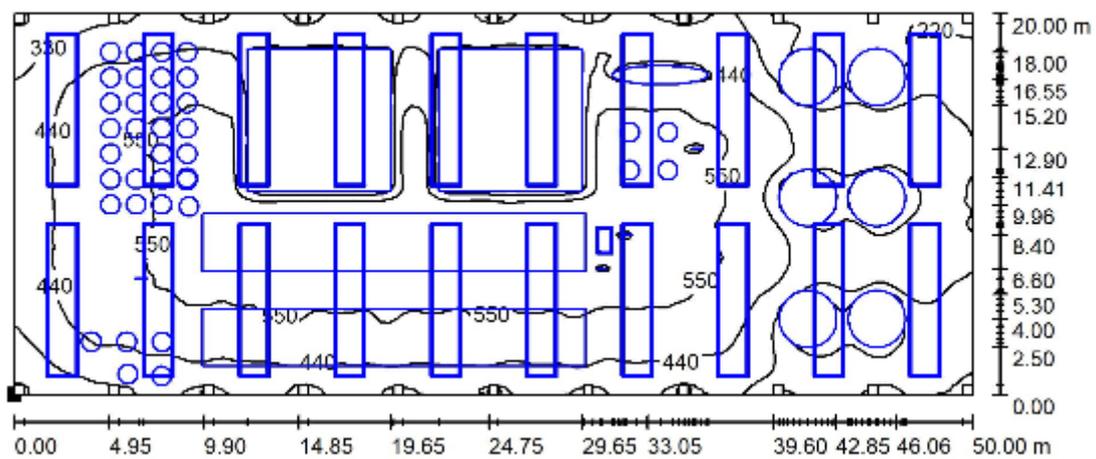


Ilustración 28. Isolíneas de la Propuesta 2 el 24 de junio a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.2.2. Resultados de la Propuesta 2

Una vez presentadas las isólineas, puede recogerse los distintos valores de los parámetros de control mediante la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados Propuesta 2

Fecha	Hora	E_m (lx)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	E_a (lx)
10 de diciembre del 2020	09:00	74	16	99	0.216	0.161	2891
	12:00	246	53	329	0.216	0.161	9632
15 de abril del 2020	09:00	169	36	226	0.216	0.161	6616
	12:00	417	90	559	0.216	0.161	16362
24 de junio del 2020	12:00	454	98	608	0.216	0.161	17787

A continuación, en la tabla 17, se va a realizar la media de los valores en función de la zona para garantizar el cumplimiento de los mínimos establecidos por la UNE 12464.1. De esta forma se distinguirán 3 zonas:

Tabla 14. Resultados por zonas de la Propuesta 2

Áreas	UNE (lux)	Fecha	Hora	E_m (lx)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	E_a (lx)
Procesado	200	10/12	09:00	91	71	99	0.781	0.723	2891
			12:00	304	238	329	0.781	0.723	9632
		15/04	09:00	209	163	226	0.781	0.723	6616
			12:00	517	404	559	0.781	0.723	16362
		24/07	12:00	562	439	607	0.781	0.723	17787
		Envasado	300	10/12	09:00	92	76	98	0.827
12:00	306				253	327	0.827	0.775	9632
15/04	09:00			210	174	224	0.827	0.775	6616
	12:00			520	430	555	0.827	0.775	16362
24/07	12:00			565	467	603	0.827	0.775	17787
Almacén y zonas de paso	100			10/12	09:00	80	56	90	0.698
		12:00	266		186	301	0.698	0.618	9632
		15/04	09:00	183	128	207	0.698	0.618	6616
			12:00	453	316	512	0.698	0.618	16362
		24/07	12:00	492	344	556	0.698	0.618	17787

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

8.3.3. Propuesta 3

La propuesta 3 cuenta con la misma superficie de lucernarios que la propuesta 1, sin embargo, en esta se han añadido ventanales laterales en la zona céntrica de la nave con el fin de aumentar la iluminación media en la zona de envasado y procesado.

De esta forma, debido a que la nave consta con 11 pórticos, se instalarán 10 lucernarios por cubierta de la nave, de forma que contará con un total de 20 lucernarios. La superficie total propuesta es de 200 m^2 , por lo que cada lucernario tendrá 10 m^2 . Además, se consta con una superficie total de 24 m^2 dividida en 8 ventanales situados entre los pórticos centrales de la nave.

Tabla 15. Propuesta 3

Propuesta 3	
Tipo de abertura	Lucernario
Área total de aberturas	224 m^2
Área total de lucernarios	200 m^2
Número de lucernarios	20
Área por lucernario	10 m^2
Área total de ventanales	24 m^2
Número de ventanales	8
Área por ventanal	3 m^2

Mediante una representación de la vista en planta y perfil donde puede observarse la distribución de los ventanales y lucernarios, coloreados en azul, que se encuentran totalmente alineados entre los pórticos, cuentan con una separación de 5 metros entre cada uno de ellos.

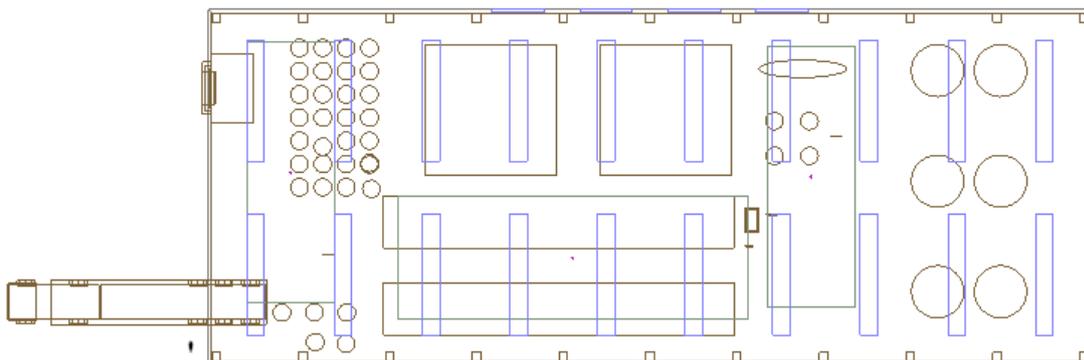


Ilustración 29. Propuesta 3, vista en planta. Fuente: DIALux.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

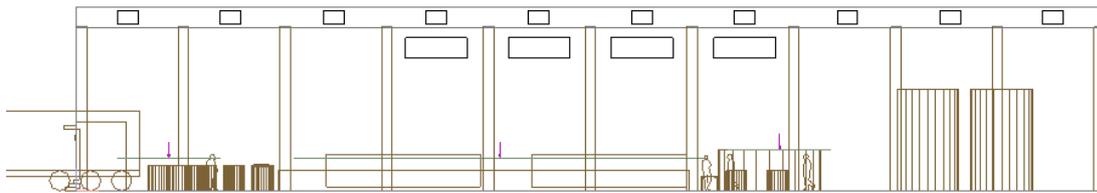


Ilustración 30. Propuesta 3, vista perfil. Fuente: DIALux



Ilustración 31. Propuesta 3, vista 3D. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.3.1. Isolíneas de la *Propuesta 3*

A continuación, se presentan las isolíneas de la Propuesta 3 mediante las cuales se distinguen las distintas áreas existentes en la nave en función de la los luxes que recibe el plano de operación situado, encontrándose este a 1,6 metros.

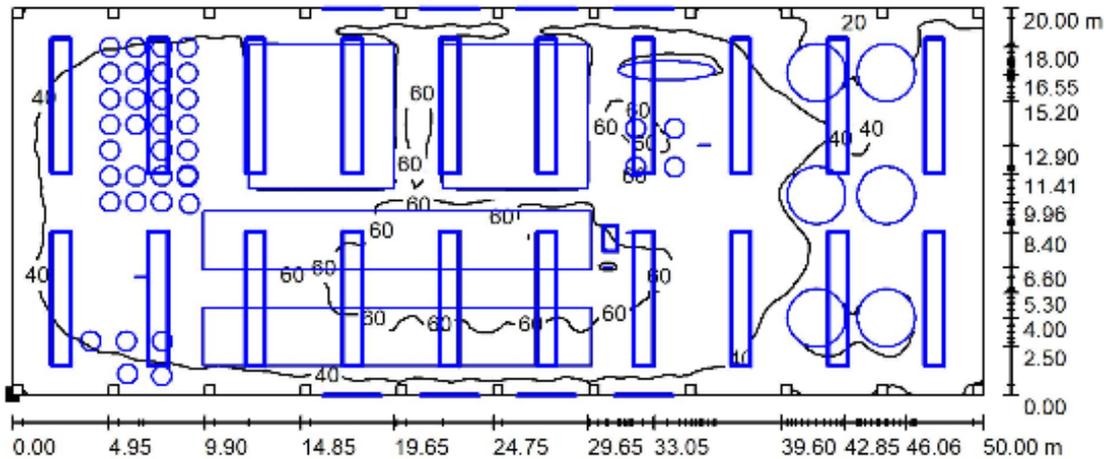


Ilustración 32.. Isolíneas de la Propuesta 3 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00

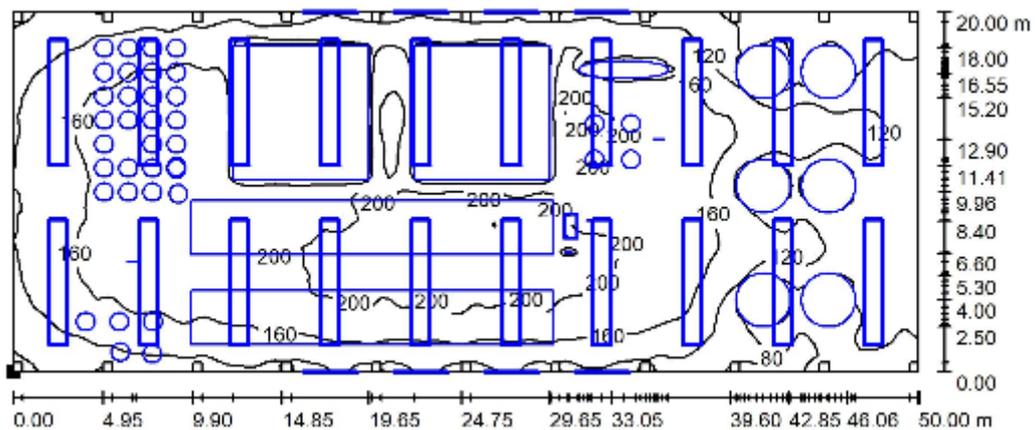


Ilustración 33. Isolíneas de la Propuesta 3 el 10 de diciembre a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

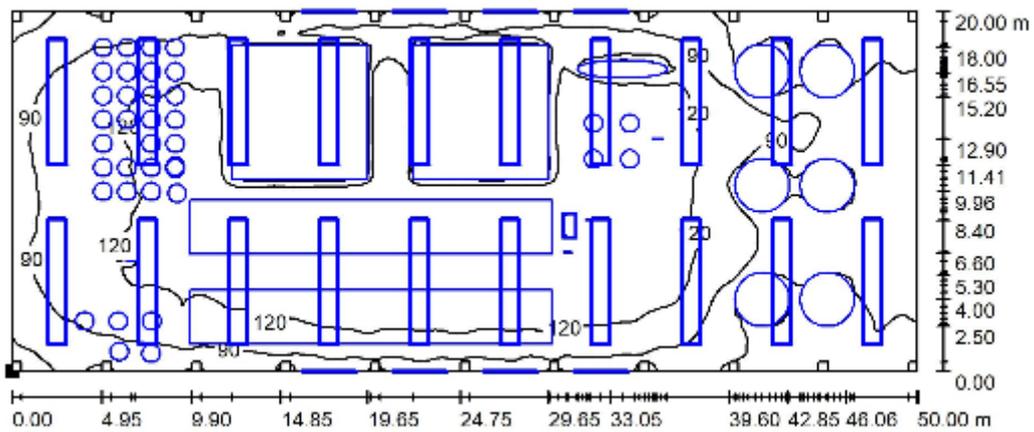


Ilustración 34. Isolíneas de la Propuesta 3 el 15 de abril a las 09:00

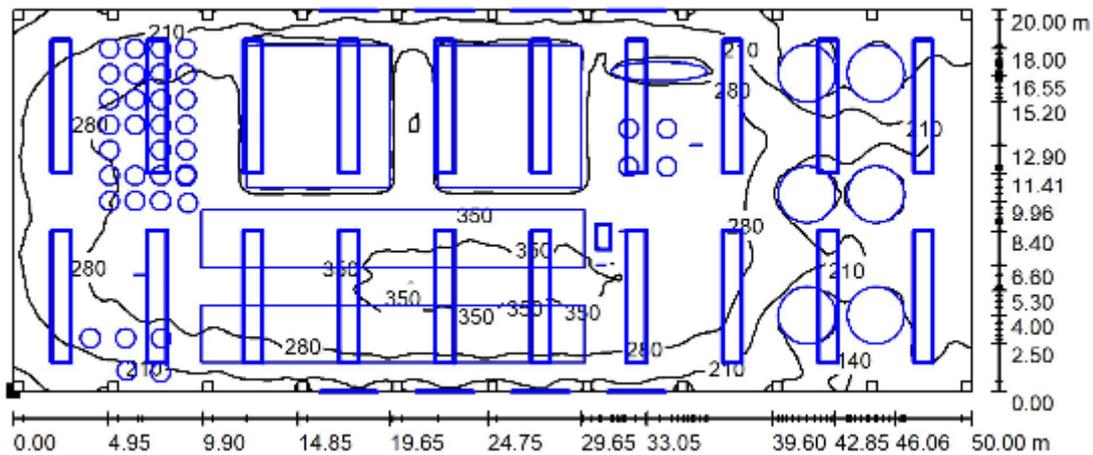


Ilustración 35. Isolíneas de la Propuesta 3 el 15 de abril a las 12:00

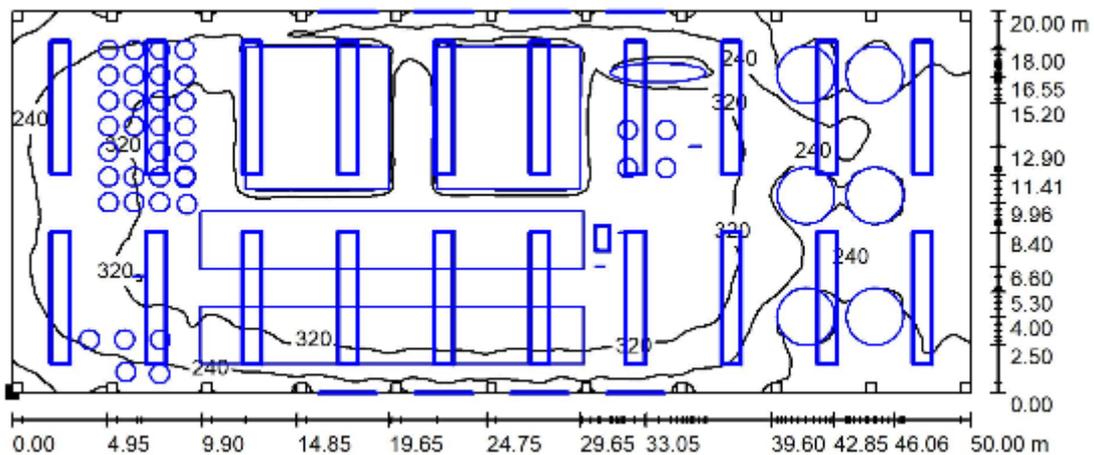


Ilustración 36. Isolíneas de la Propuesta 3 el 24 de junio a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.3.3.2. Resultados de la Propuesta 3

Una vez presentadas las isólinas, puede recogerse los distintos valores de los parámetros de control mediante la siguiente tabla:

Tabla 16. Resultados de la Propuesta 3

Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
10 de diciembre del 2020	09:00	46	7.33	65	0.16	0.122	2891
	12:00	152	24	217	0.16	0.112	9632
15 de abril del 2020	09:00	105	17	149	0.16	0.112	6616
	12:00	259	41	369	0.16	0.112	16362
24 de junio del 2020	12:00	281	45	401	0.16	0.112	17787

A continuación, se va a realizar la media de los valores en función de la zona para garantizar el cumplimiento de los mínimos establecidos por la UNE 12464.1. De esta forma se distinguirán 3 zonas:

Tabla 17. Resultados por zonas de la Propuesta 2

Áreas	UNE (lux)	Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
Procesado	200	10/12	09:00	60	46	66	0.768	0.701	2891
			12:00	194	149	212	0.768	0.702	9632
		15/04	09:00	133	102	146	0.768	0.702	6616
			12:00	330	253	361	0.768	0.702	16362
		24/07	12:00	358	275	392	0.768	0.702	17787
Envasado	300	10/12	09:00	60	46	66	0.768	0.701	2891
			12:00	200	153	219	0.768	0.701	9632
		15/04	09:00	137	105	150	0.768	0.701	6616
			12:00	339	260	371	0.768	0.701	16362
		24/07	12:00	369	283	404	0.768	0.701	17787
Almacén y zonas de paso	100	10/12	09:00	48	34	56	0.716	0.614	2891
			12:00	159	114	185	0.716	0.614	9632
		15/04	09:00	109	78	127	0.716	0.614	6616
			12:00	270	193	314	0.716	0.614	16362
		24/07	12:00	293	210	342	0.716	0.614	17787

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.4. Presentación y análisis de los resultados

El análisis de los resultados pasa por la comparativa con los parámetros de control mencionados con anterioridad en el punto 6.3.3, por ese motivo, se valorará los resultados obtenidos respecto al marco que establecen dichos factores, observándose si en alguno de los casos los valores obtenidos son superiores o inferiores a los límites establecidos.

A continuación, se muestra de forma estructurada los límites de referencia que deben superarse para una iluminación efectiva y homogénea:

Tabla 18. Valores límite de los parámetros de control

E_m			E_{max}	E_{min}/E_m	Deslumbramientos
Procesado	Envasado	Almacén y zonas de paso			
>200	>300	>150	<2000	>0.3	No

En este punto ya puede realizarse una comparativa de las propuestas estudiadas a diferentes horas del día, en distintos días del año. Así bien, podremos descartar las propuestas que no cumplan los requerimientos mínimos, escogiendo la óptima de las tres.

Cabe destacar que de la iluminación el día 10 de diciembre a las 09:00 se esperan los resultados menos efectivos en cuanto a iluminación media, mientras que el 24 de junio a las 12:00 se esperan los resultados más elevados, estudiando en este caso la posibilidad de sobrepasar el límite de radiación lumínica establecido en 2000 lux. Por este motivo, el análisis se realizará de las fechas mencionadas, entendiéndose que, si los parámetros resultan válidos en dichas condiciones extremas, también lo serán en las fechas intermedias entre estas.

8.4.1. Análisis de valores

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos indicando cuales de ellos son insuficientes para satisfacer los valores mínimos necesarios. Mediante la siguiente tabla se indica:

Tabla 19. Leyenda para tablas de análisis

Significado	Tono
Valor no válido	
Valor ligeramente inferior al límite	
Valor ligeramente superior al límite	

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.4.1.1. Análisis Propuesta 1

Tabla 20. Análisis Propuesta 1

PROPUESTA 1		Procesado			Envasado			Almacén y zonas de paso		
Fecha	Hora	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}
10/12	09:00	53	0.778	58	54	0.826	58	47	0.705	55
10/12	12:00	178	0.778	193	179	0.826	192	156	0.705	182
24/08	12:00	329	0.778	357	331	0.826	335	289	0.705	335

En la *Tabla 20*, puede observarse que los resultados de la propuesta 1 no son válidos en todos los casos. Si bien en ningún caso existirá un deslumbramiento excesivo en los meses de verano, sí que habrá un déficit de iluminación durante los meses más oscuros de invierno.

Por ese motivo se han planteado dos simulaciones el mes de diciembre, intentando así observar el progreso de mejora lumínica a medida que van pasando las horas. Pese a ello, los resultados a las 12:00 del mediodía resultan insuficientes en el área de procesado y envasado, resultando ligeramente superior al límite en la zona de almacén y de paso.

8.4.1.2. Análisis Propuesta 2

Tabla 21. Análisis Propuesta 2

PROPUESTA 2		Procesado			Envasado			Almacén y zonas de paso		
Fecha	Hora	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}
10/12	09:00	91	0.781	99	92	0.827	98	80	0.698	90
10/12	12:00	304	0.781	329	306	0.827	327	266	0.698	301
24/08	12:00	562	0.781	607	565	0.827	603	492	0.698	556

En la *Tabla 21* se observa una mejoría de la *Propuesta 1*, dado que la superficie de lucernarios se ha aumentado considerablemente, aumentando así la iluminación media y la iluminación máxima en todas las simulaciones.

De esta forma, se han logrado satisfacer los requerimientos lumínicos el mes de diciembre a las 12:00 lo que resulta en una gran mejora respecto a la propuesta anterior. Sin embargo, la iluminación el mes de diciembre en las primeras horas de la mañana seguirá siendo insuficiente.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.4.1.3. Análisis Propuesta 3

Tabla 22. Análisis Propuesta 3

PROPUESTA 3		Procesado			Envasado			Almacén y zonas de paso		
Fecha	Hora	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}
10/12	09:00	60	0.768	66	60	0.827	66	48	0.614	56
10/12	12:00	194	0.781	212	200	0.827	219	159	0.698	185
24/08	12:00	358	0.781	392	369	0.827	404	293	0.698	342

En la *Tabla 22* se muestra una modificación de la *Propuesta 1*, esto se debe a que se han añadido ventanales laterales para aumentar la iluminación sobre la zona central de la nave donde se encuentra el área de envasado y de procesado.

A pesar de dichas modificaciones, la mejora en los valores ha resultado ser mínima y prácticamente inapreciable, de forma que el rendimiento que ofrecen los ventanales laterales respecto a los lucernarios puede considerarse mucho menor.

Además, deberá realizarse un estudio de deslumbramientos, de forma que se garantice que la altura de los ventanales no resulte dañina para los trabajadores que se encuentren orientados hacia estos.

Ecuación 12. Distancia de deslumbramiento de la Propuesta 3

$$b = \frac{6.5 - 1.6}{\tan(30)} = 8.5 \text{ m}$$

$$8.5 \text{ m} < 10 \text{ m}$$

Por tanto, como se explica en el punto 7.2, existirá una zona de posibles deslumbramientos, concretamente el área expuesta a deslumbramientos será de 60 m^2 situada en la zona central de la nave industrial.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.4.2. Conclusiones de las propuestas

La propuesta 1 no ha sido capaz de lograr las expectativas propuestas a pesar de ser la más similar al método analítico calculado. Esta propuesta constaba con una superficie ligeramente superior a la obtenida por el método analítico DIN 5034, sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, este método no tiene en cuenta el material del que están formados los ventanales. Por este motivo, al tratarse de policarbonato y no vidrio transparente, el rendimiento es cercano a la mitad.

La propuesta 3 ha resultado en valores muy similares a la propuesta 1 pese a haber instalado ventanales laterales que otorgan una mayor aportación lumínica del exterior. Por tanto, puede concluirse que el rendimiento lumínico en relación con la superficie de la abertura y la iluminación aportada es mucho inferior en los ventanales que, en lucernarios, añadiendo además el problema de zonas de posibles deslumbramientos que pueden generar los ventanales.

Finalmente, la propuesta 2 es la que mejores valores ha proporcionado, obteniendo valores muy similares a los mínimos calculados por la UNE 12464.1. Cabe destacar que la superficie de aberturas en este caso es prácticamente el doble que la obtenida en la propuesta 1, pues encontramos una superficie de $240 m^2$ frente a una superficie de $140 m^2$. Por tanto, se corrobora que el método analítico DIN 5034 no ha tenido en cuenta el material del que se encuentran hechos los ventanales, así bien, la superficie de lucernarios necesario para satisfacer los requerimientos debe ser mayor.

Pese a todo ello, la propuesta 2 no ha sido capaz de lidiar con las condiciones más extremas de oscuridad, que se encuentran en este caso el día 10/12 a las 09:00, por lo que deberá instalarse una mejora para lograr suplir dicha carencia. Sin embargo, la superficie de lucernarios es suficiente a las 12:00 como para satisfacer las necesidades lumínicas de la planta, por lo que la mejora deberá ser ligera para satisfacer el pequeño periodo de tiempo en el que la iluminación natural es insuficiente.

8.5. Exposición y desarrollo de la propuesta seleccionada

Observando las conclusiones del punto 8.4.2, se entiende que la forma más eficiente de aumentar la iluminación media de las distintas áreas de trabajo es elevando la superficie de lucernarios en cubierta.

Por este motivo, se rechaza la opción de añadir ventanales en la nave, evitando así zonas de posibles deslumbramientos y aprovechando de forma más eficiente el espacio. Esto se debe a que no existirán zonas expuestas con un ángulo inferior a 30° desde la zona más baja del ventanal, así como podrán pasarse tuberías de agua, vapor y cables de electricidad sin tener que contemplar limitaciones en las paredes.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

8.5.1. Ampliación de la *Propuesta 2*

Así bien, se opta por instalar lucernarios de cubierta cuyas medidas son de 10m de largo, por 1,5m de ancho, de forma que se ha ampliado 2m a lo largo los lucernarios de la propuesta 2.

Se pretende evitar las zonas más oscuras que se generan en las proximidades de las paredes de la nave industrial, así como potenciar la luminosidad en el centro de la planta donde se encuentran los equipos de procesamiento y envasado.

Tabla 23. Ampliación de la propuesta 3

Propuesta 2 (Ampliación)	
Tipo de abertura	Lucernario
Área total de abertura	300 m ²
Número de lucernarios	20
Área por lucernario	15 m ²

Mediante una representación de la vista en planta y perfil donde puede observarse la distribución de los lucernarios que se encuentran totalmente alineados entre los pórticos, cuentan con una separación de 5 metros entre cada uno de ellos y un desfase de 2.5 metros respecto al pórtico de fachada.

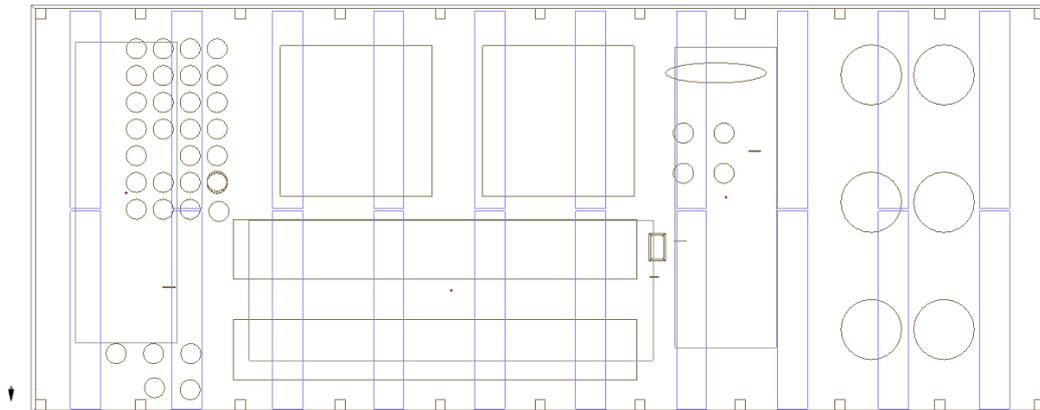


Ilustración 37. Ampliación Propuesta 2, Vista en planta. Fuente: DIALux

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

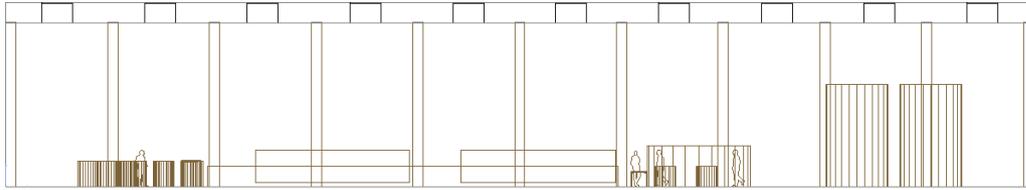


Ilustración 38. Ampliación Propuesta 2, Vista de perfil. Fuente: DIALux



Ilustración 39. Ampliación Propuesta 2, vista 3D I. Fuente: DIALUX



Ilustración 40. Ampliación Propuesta 2, vista 3D II. Fuente: DIALux

De esta forma, tras la simulación se puede observar que gráficamente ya pueden apreciarse los cambios lumínicos en las paredes de la nave industrial, así como una mayor homogeneidad de tonos en los equipos y superficies, lo que derivará en una mejora en la uniformidad.

8.5.2. Isolíneas de la ampliación de la *Propuesta 2*

A continuación, se presentan las isólinas de la *Ampliación de la Propuesta 2* mediante las cuales se distinguen las distintas áreas existentes en la nave en función de la los luxes que recibe el plano de operación situado, encontrándose este a 1,6 metros.

A diferencia del estudio de las propuestas anteriores, en este caso va a realizarse el análisis únicamente del día 10 de diciembre y 24 de junio. De esta forma se observará a partir de qué hora la iluminación natural será suficiente para abastecer los requerimientos de la nave industrial en invierno, y con la segunda fecha, garantizar no sobrepasar los límites establecidos para evitar deslumbramientos en verano.

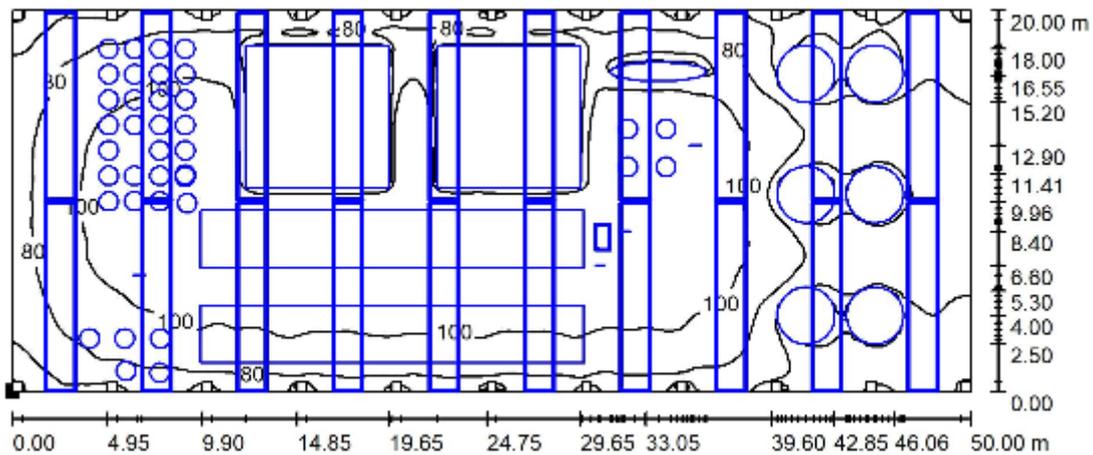


Ilustración 41. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 09:00

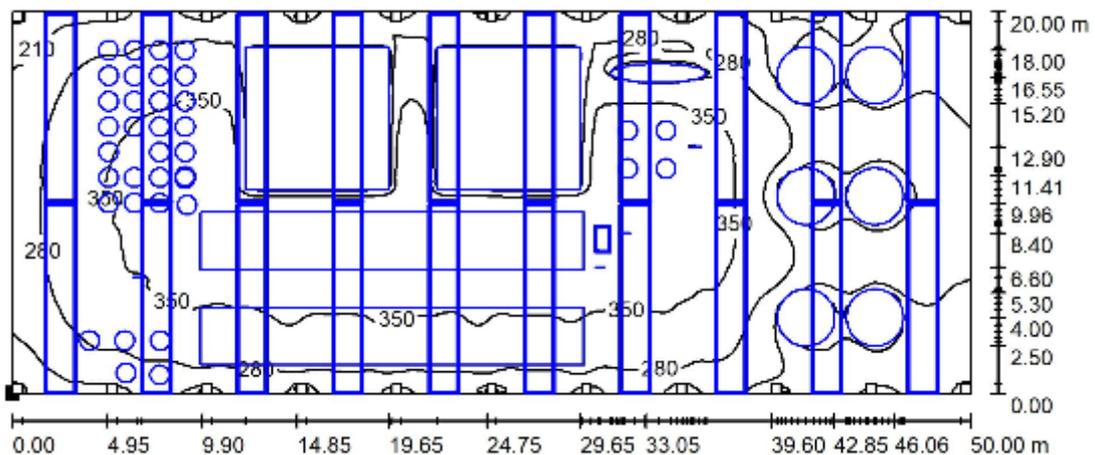


Ilustración 42. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

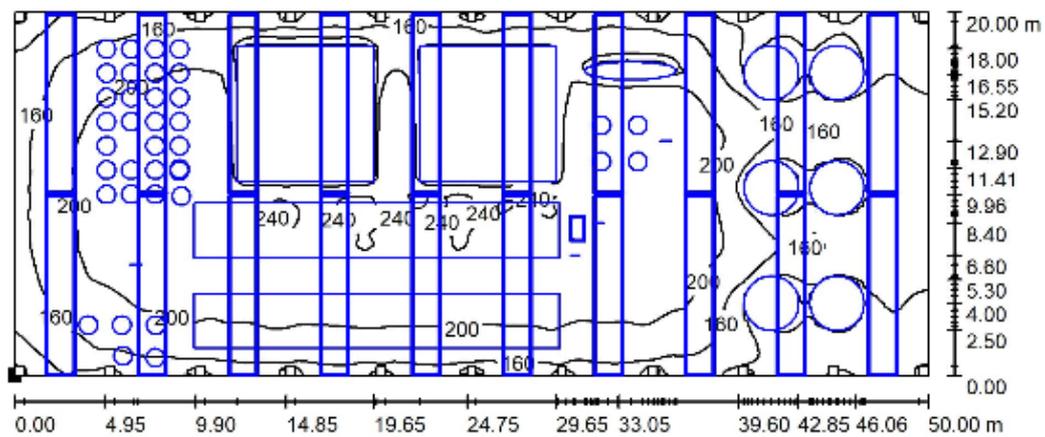


Ilustración 43. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 10 de diciembre de 2020 a las 10:00

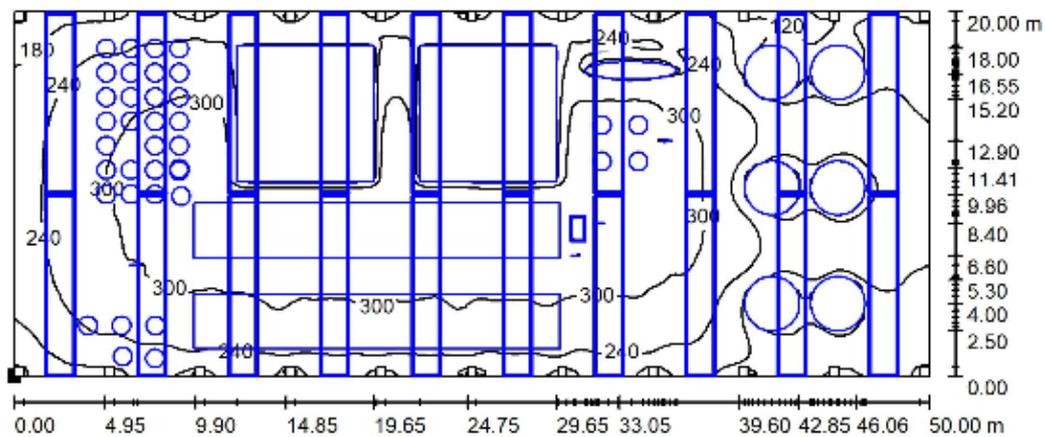


Ilustración 44. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 15 de abril de 2020 a las 12:00

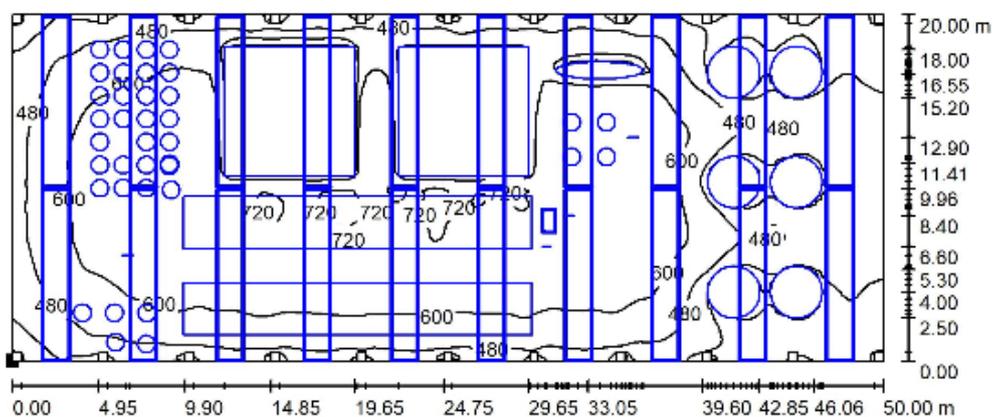


Ilustración 45.. Isolíneas de la Ampliación Propuesta 2 el 24 de junio de 2020 a las 12:00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.5.3. Resultados de la Ampliación de la Propuesta 2

Una vez presentadas las isólinas, puede recogerse los distintos valores de los parámetros de control mediante la siguiente tabla:

Tabla 24. Resultados de la Ampliación de la Propuesta 2

Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
10 de diciembre del 2020	09:00	93	23	121	0.262	0.195	2891
	10:00	184	48	247	0.262	0.195	5927
	11:00	255	67	343	0.262	0.195	8227
	12:00	299	78	402	0.262	0.195	9632
24 de junio del 2020	12:00	551	145	742	0.262	0.195	17787

A continuación, se va a realizar la media de los valores en función de la zona para garantizar el cumplimiento de los mínimos establecidos por la UNE 12464.1. De esta forma se distinguirán 3 zonas:

Tabla 25. Resultados por zonas de la Propuesta 2

Áreas	UNE (lux)	Fecha	Hora	$E_m (lx)$	$E_{min} (lx)$	$E_{max} (lx)$	$\frac{E_{min}}{E_m}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	$E_a (lx)$
Procesado	200	10/12	09:00	110	88	118	0.794	0.740	2891
			10:00	226	180	243	0.794	0.740	5927
			11:00	314	249	337	0.794	0.740	8227
			12:00	368	292	395	0.794	0.740	9632
		24/07	12:00	679	539	729	0.794	0.740	17787
Envasado	300	10/12	09:00	111	93	121	0.840	0.771	2891
			10:00	227	191	247	0.840	0.771	5927
			11:00	315	265	343	0.840	0.771	8227
			12:00	369	310	402	0.840	0.771	9632
		24/07	12:00	681	572	742	0.840	0.771	17787
Almacén y zonas de paso	100	10/12	09:00	97	65	111	0.670	0.583	2891
			10:00	198	133	228	0.670	0.583	5927
			11:00	275	184	316	0.670	0.583	8227
			12:00	332	216	370	0.670	0.583	9632
		24/07	12:00	595	399	684	0.670	0.583	17787

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

8.5.4. Presentación de los resultados obtenidos en la *Ampliación de la Propuesta 2*

En este punto, van a tratarse los resultados obtenidos en la propuesta definitiva, de esta forma se analizará la viabilidad del proyecto en base a la validez de los resultados. En este caso, se va a evaluar la iluminación media, la uniformidad y la iluminación máxima en distintas fechas y horas. Los valores simulados y obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 26. Análisis de la *Ampliación de la Propuesta 2*

Ampliación de la Propuesta 2		Procesado			Envasado			Almacén y zonas de paso		
Fecha	Hora	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}	E_m	E_m/E_{min}	E_{max}
10/12	09:00	110	0.794	118	111	0.840	121	97	0.670	111
10/12	10:00	226	0.794	243	227	0.840	247	198	0.670	228
10/12	11:00	314	0.794	337	315	0.840	343	275	0.670	316
10/12	12:00	368	0.794	395	369	0.840	402	332	0.670	370
24/08	12:00	679	0.794	729	681	0.840	742	595	0.670	684

Primeramente, debe destacarse que la iluminación máxima no ha resultado un impedimento en ninguna de las propuestas realizadas debido a que los lucernarios y ventanales no son de vidrio transparente, sino de policarbonato transparente, de forma que la eficiencia de transmisión lumínica es la mitad, obteniendo así valores bajos de iluminación máxima y evitando las zonas de posibles deslumbramientos.

Seguidamente, debe tenerse en cuenta la uniformidad, sobre la que se han obtenido valores muy superiores al mínimo en todas las áreas de la nave. Pese a ello, si se analiza la uniformidad general, que tiene en cuenta un abanico de puntos mucho más amplio, el valor de la uniformidad no resultaría válido, dado que se obtiene un valor de 0.262 que se encuentra por debajo del límite establecido en 0.3.

Pese a todo ello, la uniformidad es excelente cuando se estudia la nave por zonas, llegando a alcanzar valores incluso 0,84 en la zona céntrica de la nave que corresponde a la zona de envasado, por lo que se considera que este parámetro se encuentra por encima del mínimo establecido.

Finalmente, debe evaluarse la iluminación media según la norma europea sobre la iluminación para interiores dado que es el parámetro fundamental del análisis y del que depende la viabilidad para poder realizar la labor del operario con seguridad.

Así bien, pueden observarse marcados en rojo los valores que no cumplen los límites establecidos, que además corresponden a las fechas menos luminosas en el horario más desfavorable posible. En este punto debe concluirse que ni en las propuestas anteriores, ni en la mejora realizada a la *Propuesta 2* se ha logrado superar el valor de 121 luxes de máxima, por lo que resulta improductivo seguir añadiendo ventanales y lucernarios pues la luminosidad exterior es insuficiente para satisfacer los requerimientos.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Por otra parte, el día 10 de diciembre a partir de las 10:00, se obtienen valores válidos en 2 de las 3 zonas en las que se encuentra dividida la nave, y a las 11:00 los valores superan los mínimos establecidos por la UNE, por lo que los operarios podrán trabajar con generosa luminosidad.

Por ese motivo, se concluye que la iluminación natural es suficiente en la mayoría de los casos para satisfacer los valores requeridos, si bien deberá estudiarse la posibilidad de añadir una instalación de iluminación artificial auxiliar que sirviese de apoyo en los meses más oscuros a las horas más tempranas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

9. Iluminación artificial

En este punto se va a tratar de valorar la eficiencia energética en función de porcentaje de iluminación artificial utilizada en la planta industrial. En base a ello, podrá valorarse posteriormente el ahorro que supondría sustituir la iluminación artificial por una mixta, y en qué porcentaje podrían repartirse las partes.

En este caso se va a realizar el cálculo del VEEI con luminarias instaladas en la planta industrial, con un total de 30 unidades, pertenecientes a la marca PHILIPS, concretamente el modelo *Leuchten GentleSpace* que desarrollan una potencia de 267W.

Además, estas luminarias se encuentran descolgadas 1 metro desde el punto de instalación, por tanto, debido a que se cuelgan de las deltas situadas a una altura de 8,8 metros, las luminarias caerán a una altura de 7,8 metros en su punto más alto.

9.1. Eficiencia energética

El código técnico de edificación establece un procedimiento para verificar que los equipos de iluminación artificial instalados en la planta son energéticamente eficientes, por ello, será necesario comprobar la eficiencia del sistema de iluminación artificial esto se puede comprobar en el punto 7.2.1, donde se justifican los parámetros de la siguiente fórmula:

Ecuación 13. Cálculo del VEEI

$$V = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Por ello, analizando los componentes de la ecuación del punto 6.2.1, puede observarse que el caso ideal será aquel cuyo VEEII sea 0, siendo en ese punto la eficiencia lumínica artificial máxima.

Además, debe destacarse que las simulaciones realizadas se han calculado para un cielo despejado, sin condiciones meteorológicas demasiado desfavorables, por lo que en días concretos los valores de iluminación media por medio natural podrían ser muy inferiores a los obtenidos mediante la simulación.

Por ese motivo, van a plantearse una serie de alternativas de forma que se valore el porcentaje de iluminación artificial que será vital en la planta para suplir las necesidades de la planta, aun teniendo un sistema de iluminación natural muy potente y optimizado.

Así bien, se van a plantear tres hipótesis diferentes que permitirán valorar tanto el ahorro obtenido, como el punto de equilibrio donde se maximiza la eficiencia lumínica y se minimizan los costes.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

9.1.1. Caso 1: Iluminación artificial al 100%

Aplicando la ecuación que nos proporciona el valor del VEEI en función de la superficie disponible, la iluminación media y la potencia suministrada, 267W por luminaria, que a su vez depende del número de luminarias existentes, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 27. VEEI Iluminación Artificial 100%

Superficie total de la nave (m)	E_m (lux)	VEEI $(\frac{W}{m^2} lux)$
1000	159.875	5.01

9.1.2. Caso 2: Iluminación artificial al 30%

Aplicando la ecuación que nos proporciona el valor del VEEI en función de la potencia suministrada, que será un 30% de la potencia del caso 1, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 28. VEEI Iluminación Artificial 10%

Superficie total de la nave (m)	E_m (lux)	VEEI $(\frac{W}{m^2} lux)$
1000	159.875	1.5

9.1.3. Caso 2: Iluminación artificial al 10%

Aplicando la ecuación que nos proporciona el valor del VEEI en función de la potencia suministrada, que será un 10% de la potencia del caso 1, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 29. VEEI Iluminación Artificial 35%

Superficie total de la nave (m)	E_m (lux)	VEEI $(\frac{W}{m^2} lux)$
1000	159.875	0.5

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

El observa que cuanto menor sea la potencia suministrada cumpliendo los valores de iluminación media, menor será el VEEI. De esta forma, un sistema energéticamente eficiente dispondrá un VEEI cercano a 0.

En ambos casos de iluminación mixta el VEEI es mucho menor al VEEI inicial respetivo a un sistema de iluminación totalmente artificial, de esta forma, queda justificada la eficiencia, así como el ahorro energético del proyecto planteado.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

10. Consumo energético de la planta

10.1. Elementos y equipos de la planta

Para comprender en mayor medida la instalación, deben entenderse cada uno de los elementos presentes en esta, dado que existen multitud de equipos auxiliares a los que se han mencionado en el apartado anterior que resultan de vital importancia para el funcionamiento de la planta.

- **Carretillas elevadoras**

La planta se encuentra equipada con carretillas elevadoras, concretamente dos unidades, una con la capacidad de elevar y transportar ICB y pallets, y otra con la capacidad de sujetar y voltear bidones. Por tanto, y debido a que la planta se encuentra en un espacio confinado donde no pueden generarse emisiones de gases, las carretillas deben ser eléctricas, aportando un consumo energético que deberá tenerse en cuenta en el balance global de potencia consumida por la planta.

- **Caldera de vapor**

La planta consta con una caldera de vapor que calienta un tanque nodriza a partir del cual se distribuye el agua caliente a los distintos intercambiadores de calor de la planta. Además, esta caldera actúa mediante su vapor como un intercambiador directo en los aerotermos, donde se produce un intercambio de calor entre el vapor y el aire del ambiente.

Si bien la caldera de vapor genera calor mediante el consumo de combustible, la chispa que enciende el combustible pulverizado por los inyectores está formada por un arco eléctrico que se da entre dos puntos con una gran diferencia de potencial, por tanto, la caldera también requerirá de aportación eléctrica, teniendo en cuenta la potencia requerida por la nave

- **Caldera de agua caliente**

Además, se ha instalado una caldera de agua caliente que trabaja de forma cíclica intercambiando calor mediante un intercambiador de calor con el agua del tanque nodriza de forma que pueda trabajar de forma complementaria a la caldera de vapor y durante la ausencia de personal en la nave.

Esto se debe a que la caldera de vapor debe rearmarse cada dos horas por motivos de seguridad, por lo que, en los periodos diarios de inactividad en la fábrica la caldera de agua caliente puede seguir trabajando y de esta forma, conservar la temperatura alcanzada.

- **Motores con reductores y agitadores**

Todos los depósitos constarán con motores equipados con reductores para mover los agitadores, estos motores requerirán de alimentación eléctrica para satisfacer la potencia requerida de forma que también deberá tenerse en cuenta en la evaluación de potencia requerida por la nave.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

- **Bombas**

Si bien las bombas actúan por medio de un motor eléctrico, se ha decidido introducirlo en un módulo distinto debido a que su funcionalidad es totalmente distinta, así como el consumo del motor de una bomba de impulsión de producto es mucho menor que el de un motor que actúa un agitador.

Las bombas de impulsión son bombas helicoidales debido que la miel es un producto de elevada viscosidad por lo que las bombas centrífugas no funcionan correctamente cuando el producto se encuentra a temperatura ambiente.

- **Iluminación artificial**

La iluminación artificial se tratará más adelante mediante un estudio económico de la cantidad de luminarias que deberán instalarse en función de los resultados obtenidos mediante iluminación natural. No obstante, se sabe que estas se instalarán en las jácenas de los pórticos repartidas de forma simétrica a lo largo de estos.

- **Envasado del producto**

La línea de envasado de producto acabado debe tenerse en cuenta debido a que las envasadoras constan con multitud de elementos eléctricos como bien la cinta transportadora, la etiquetadora, la empaquetadora o la selladora.

10.2. Elementos y equipos de la planta

Finalmente, podemos evaluar globalmente la potencia consumida de forma que se entienda la necesidad de minimizar los gastos en iluminación artificial, pues como no se tiene una planta solar, es el único medio de disminuir el consumo eléctrico.

Tabla 30. Elementos auxiliares. Consumo eléctrico de la nave industrial.

Elemento / Equipo	Cantidad (Uds.)	Potencia por unidad (kWh)	Potencia total (kWh)
Carretillas elevadoras (Carga)	4	3.7	14.8
Caldera de vapor	1	10	10
Agitadores	7	2.5	17.5
Bombas	7	3	21
Luminarias	30	0.267	8
Pequeñas Envasadoras	2	0.5	1
Tomas de corriente	15	3	45
Tomas de corriente trifásica	15	10	150

Total (kW)	267.3 kWh
-------------------	------------------

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Debido a que la potencia requerida será como máximo 268.645 kW, se optará por la tarifa 3.1A. Esta tarifa es aquella que se les aplica a los usuarios cuyo consumo se encuentre entre 15 kW y 450kW hablando en términos de corriente de alta tensión.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11. Análisis Económico

En este punto va a realizarse un balance económico que marcará la diferencia entre la instalación de equipos de iluminación natural, ventanales y lucernarios, o equipos de iluminación artificial, luminarias, de forma que se obtendrá una conclusión de que sistema es más eficiente, es decir, cual resulta más económico para unos mismos resultados.

Cabe destacar que, mediante el estudio realizado en el punto 8, se concluye que será necesario la implantación de una instalación con iluminación mixta, por tanto, ahora se valorará el porcentaje de iluminación artificial que deberá añadirse para cumplir los requerimientos que marca la UNE.

11.1. Facturación eléctrica

La facturación eléctrica consta con tres parámetros sobre los cuales se genera el valor total de la factura, estos son el término de potencia, el término de energía y el coste fijo sobre el contador eléctrico que se encuentra instalado. Además, a dichos términos debe añadirse dos impuestos, el impuesto sobre la electricidad y el IVA.

Con todos estos parámetros, puede formularse la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Cálculo de la facturación

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

Los precios y franjas horarias que se les aplica a esta tarifa se encuentran clasificados en la siguiente tabla y hacen referencia a los precios regulados 2015 electricidad y gas publicados por Iberdrola.

Tabla 31. Tarifas BT 3.0A Fuente:

https://www.iberdrola.es/02sica/qc/prod/es_ES/hoqares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf

TARIFA 3.1A	Periodo 1 (Llano)	Periodo 2 (Punta)	Periodo 3 (Valle)
Termino de potencia (€/kW y año)	40,728885	24,437330	16,291555
Termino de energía (€/kWh)	0,018762	0,012575	0,004670

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Los periodos 1, 2 y 3, hacen referencia al llano, punta y valle, por tanto, deberá conocerse que rango mensual y horario alberga cada uno de estos periodos.

Tabla 32. Periodos Tarifas AT 3.1A Fuente:
https://www.iberdrola.es/02sica/qc/prod/es_ES/hoqares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf

Invierno			Verano		
Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
17-23	23-24 y 8-17	0-8	10-16	16-24 y 8-10	0-8

Teniendo en cuenta los periodos de aplicación de las distintas tarifas, debe realizarse un estudio de que periodos coinciden con el horario laboral de la empresa. Por tanto, debido a que la empresa en cuestión trabaja de 08.00 a 18:00 de lunes a viernes, los periodos de facturación, valle, llano o punta, en función del mes y la hora se encuentran recogidos a continuación.

Tabla 33. Periodo de facturación en función de las horas trabajadas.

	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
Enero	P1	22									
Febrero	P1	20									
Marzo	P1	23									
Abril	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	22
Mayo	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	23
Junio	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	22
Junio	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	22
Agosto	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	23
Septiembre	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	22
Octubre	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	22
Noviembre	P1	22									
Diciembre	P1	21									
											263

Por tanto, con estos datos puede dividirse el consumo en los periodos P1 y P2, que corresponden a llano y punta respectivamente, dado que en P3, valle, no se trabaja en ninguna fecha del año. En este punto, puede realizarse una tabla simplificada donde se vean el número de horas y días que corresponden a cada periodo, punta o llano, para posteriormente obtener el consumo medio.

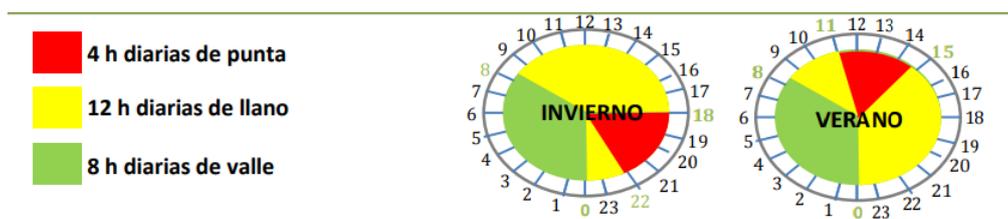


Ilustración 46. Periodos Tarifas AT 3.1A Fuente:
https://www.iberdrola.es/02sica/qc/prod/es_ES/hoqares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

- **Cálculo del término de potencia**

En el cálculo del término de potencia se aplicará la ecuación siguiente para obtener el valor constante que se fijará en la tarifa de la luz.

Ecuación 15. Término de potencia

$$T_p = \sum_i P_i \cdot P_T$$

Donde

- P_i : Precio de cada uno de los periodos
- P_T : Potencia total consumida

De esta forma, el cálculo del término de potencia se puede obtener de la siguiente manera, teniendo en cuenta las proporciones necesarias en función de la etapa horaria.

$$T_p = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{12} \cdot 267.3 \cdot 24,437330 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{12} \cdot 267.3 \cdot 40,728885 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{12} \cdot 267.3 \cdot 16,291555$$

$$T_p = 665.3319 \text{ €/mes}$$

- **Cálculo del término de energía**

En el cálculo del término de energía se aplicará la ecuación siguiente para obtener el valor variable que se fijará en la tarifa de la luz.

Ecuación 16. Término de energía

$$T_E = \sum_i h_i \cdot N_i \cdot P_i \cdot P_T$$

Donde

- P_T : Potencia total consumida
- P_i : Precio de cada uno de los periodos
- N_i : Número de días trabajados al mes
- h_i : Número de horas de cada periodo

En este caso, solo interesa valorar el consumo energético de las luminarias, debido a que los costes variables del resto de los equipos no aportan información válida en el análisis económico del objeto de estudio.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.1.1. Iluminación 100% Artificial

Número de luminarias	30
Consumo	0.267
Consumo total kWh	8

Tabla 34. Término variable 100% Artificial

Meses	Término Variable (€)
Enero	33,02
Febrero	30,02
Marzo	34,52
Abril	28,67
Mayo	29,97
Junio	28,67
Junio	28,67
Agosto	29,97
Septiembre	28,67
Octubre	33,02
Noviembre	33,02
Diciembre	31,52
TOTAL	369,72

Tabla 35. Coste total 100% Artificial

Meses	Término variable (€)	Impuesto Eléctrico (€)	Subtotal (€)	IVA (€)	Total (€)
Enero	33,02	35,70	734,06	154,15	888,21
Febrero	30,02	35,55	730,90	153,49	884,39
Marzo	34,52	35,78	735,64	154,48	890,12
Abril	28,67	35,48	729,48	153,19	882,67
Mayo	29,97	35,55	730,85	153,48	884,33
Junio	28,67	35,48	729,48	153,19	882,67
Junio	28,67	35,48	729,48	153,19	882,67
Agosto	29,97	35,55	730,85	153,48	884,33
Septiembre	28,67	35,48	729,48	153,19	882,67
Octubre	33,02	35,70	734,06	154,15	888,21
Noviembre	33,02	35,70	734,06	154,15	888,21
Diciembre	31,52	35,63	732,48	153,82	886,30
TOTAL	369,72	427,10	8780,81	1843,97	10624,78

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.1.2. Iluminación 30% Artificial

Número de luminarias	9
Consumo	0.267
Consumo total kWh	2.403

Tabla 36. Término variable 30% Artificial

Meses	Término Variable (€)
Enero	9,92
Febrero	9,02
Marzo	10,37
Abril	8,61
Mayo	9,00
Junio	8,61
Junio	8,61
Agosto	9,00
Septiembre	8,61
Octubre	9,92
Noviembre	9,92
Diciembre	9,47
TOTAL	9,92

Tabla 37. Coste total 30 % Artificial

Meses	Término variable (€)	Impuesto Eléctrico (€)	Subtotal (€)	IVA (€)	Total (€)
Enero	9,92	34,52	709,77	149,05	858,83
Febrero	9,02	34,48	708,83	148,85	857,68
Marzo	10,37	34,55	710,25	149,15	859,40
Abril	8,61	34,46	708,40	148,76	857,16
Mayo	9,00	34,48	708,81	148,85	857,66
Junio	8,61	34,46	708,40	148,76	857,16
Junio	8,61	34,46	708,40	148,76	857,16
Agosto	9,00	34,48	708,81	148,85	857,66
Septiembre	8,61	34,46	708,40	148,76	857,16
Octubre	9,92	34,52	709,77	149,05	858,83
Noviembre	9,92	34,52	709,77	149,05	858,83
Diciembre	9,47	34,50	709,30	148,95	858,25
TOTAL	111,06	413,87	8508,91	1786,87	10295,79

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.1.3. Iluminación 10% Artificial

Número de luminarias	3
Consumo	0.267
Consumo total kWh	0.801

Tabla 38. Término variable 10% Artificial

Meses	Término Variable (€)
Enero	3,31
Febrero	3,01
Marzo	3,46
Abril	2,87
Mayo	3,00
Junio	2,87
Junio	2,87
Agosto	3,00
Septiembre	2,87
Octubre	3,31
Noviembre	3,31
Diciembre	3,16
TOTAL	3,31

Tabla 39. Coste total 10% Artificial

Meses	Término variable (€)	Impuesto Eléctrico (€)	Subtotal (€)	IVA (€)	Total (€)
Enero	3,31	34,19	702,82	147,59	850,42
Febrero	3,01	34,17	702,51	147,53	850,03
Marzo	3,46	34,19	702,98	147,63	850,61
Abril	2,87	34,16	702,37	147,50	849,86
Mayo	3,00	34,17	702,50	147,53	850,03
Junio	2,87	34,16	702,37	147,50	849,86
Junio	2,87	34,16	702,37	147,50	849,86
Agosto	3,00	34,17	702,50	147,53	850,03
Septiembre	2,87	34,16	702,37	147,50	849,86
Octubre	3,31	34,19	702,82	147,59	850,42
Noviembre	3,31	34,19	702,82	147,59	850,42
Diciembre	3,16	34,18	702,67	147,56	850,23
TOTAL	37,02	410,09	8431,09	1770,53	10201,62

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.2. Balance económico

En este punto va a estudiarse la viabilidad del proyecto basado en la transformación de una planta cuya aportación lumínica es 100% artificial a un sistema mixto, valorando distintas propuestas de sistemas mixtos.

Primeramente, se deben tener en cuenta los gastos anuales en cada una de las hipótesis planteadas, en estas se tendrán en cuenta el gasto eléctrico y el gasto anual proporcional de la renovación de luminarias.

- **Iluminación 100% artificial**

Tabla 40. Balance económico anual 100% artificial

Gasto eléctrico anual respectivo a las luminarias	369,72€
Coste anual de renovación de luminarias	3.874,41 €
Gasto anual 100% iluminación artificial	4.244,13 €

- **Iluminación 30% artificial**

Tabla 41. Balance económico anual 30% artificial

Gasto eléctrico anual respectivo a las luminarias	111,06 €
Coste anual de renovación de luminarias	1.174,68 €
Gasto anual 30% iluminación artificial	1.285,74 €

- **Iluminación 10% artificial**

Tabla 42. Balance económico anual 10% artificial

Gasto eléctrico anual respectivo a las luminarias	37,02 €
Coste anual de renovación de luminarias	395,04 €
Gasto anual 30% iluminación artificial	432,06 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.3. Ahorro eléctrico

Tabla 43. Ahorro anual del gasto eléctrico

Gasto eléctrico	Gasto	Ahorro
100% artificial	369,72€	---
30% artificial	111,06 €	258,66 €
10% artificial	37,02 €	332.7 €

Tabla 44. Ahorro anual del gasto de renovación

Gasto anual de renovación de luminarias	Gasto	Ahorro
100% artificial	3874.41 €	---
30% artificial	1174.68 €	2.699,73 €
10% artificial	395.04 €	3.479,37 €

Tabla 45. Ahorro tota anual

Gasto anual total	Gasto	Ahorro
100% artificial	4.244,13 €	---
30% artificial	1.285,74 €	2.958,39 €
10% artificial	432.06 €	3.812.07 €

Finalmente, puede observarse un ahorro sustancial comparando ambos extremos, la iluminación 100% artificial frente a la 10% artificial, de esta forma, puede justificarse la inversión en el proyecto. Pese a ello, se procederá a un estudio de la rentabilidad del proyecto mediante el cálculo del valor actual neto y la tasa interna de retorno, conocidos como VAN y TIR.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

11.4. Rentabilidad del proyecto

En este punto se realizará un análisis de la rentabilidad del proyecto mediante el VAN y el TIR. Estos parámetros son indicadores de la rentabilidad del proyecto, así como del grado de rentabilidad que presenta.

- **VAN (Valor Actual Neto)**

En base a su definición, se puede decir que el VAN es el valor en el presente de los beneficios netos que genera el proyecto de estudio, de forma que estima el valor de los flujos de caja que origina la inversión realizada en el proyecto.

La ecuación que expresa analíticamente el VAN se muestra a continuación:

Ecuación 17. VAN

$$V = -I_c + \sum_{t=0}^T \frac{V}{(1+i)^t}$$

- I_c Inversión inicial
- T Horizonte temporal
- V Flujo de caja
- i Interés

Una vez se obtenga el valor del VAN para los distintos proyectos presentados, podrá evaluarse su rentabilidad de la siguiente forma:

$VAN > 0 \rightarrow$ Genera beneficios

$VAN = 0 \rightarrow$ No genera beneficios ni pérdidas

$VAN < 0 \rightarrow$ Genera pérdidas

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

- **TIR (Tasa Interna de Retorno)**

El TIR representa la rentabilidad que ofrece una inversión, es decir, el valor porcentual de beneficio o pérdida que genera las cantidades invertidas que siguen presentes en el proyecto. Este parámetro se encuentra totalmente relacionado con el VAN, pues el TIR es la tasa que iguala a tiempo inicial un VAN a cero, es decir, el valor límite a partir del cual un proyecto puede ser rentable o irrentable.

Si se analiza la ecuación del Valor Actual Neto, puede apreciarse que un dato vital es el horizonte temporal. Este parámetro indica el tiempo en el que la inversión va a ser útil, y, por tanto, debe estar justificando. Debido a que se trata de una nave industrial que es propiedad de una empresa solvente, puede establecerse un horizonte temporal de 25 años como mínimo, debido a que se considera el hipotético caso que las placas de policarbonato se encuentren muy deterioradas pasados dichos años.

Tabla 46. Análisis de la rentabilidad.

Iluminación mixta	Inversión inicial	Flujo de caja
30% artificial	27.533,74 €	2.958,39 €
10% artificial	27.533,74 €	3.812.07 €

Tabla 47. Cálculo del VAN

Iluminación mixta	VAN i=0,02	VAN i=0,04	VAN i=0,04	VAN i=0,08	VAN i=0,1
30% artificial	31.992,13 €	19.749,52 €	10.934,70 €	4.446,39 €	-432,09 €
10% artificial	49.169,06 €	33.393,69 €	22.035,24 €	13.674,65 €	7.388,43 €

Tabla 48. Cálculo del TIR

Iluminación mixta	Inversión inicial	Flujo de caja	TIR
30% artificial	27.533,74 €	2.958,39 €	10%
10% artificial	27.533,74 €	3.812.07 €	13%

Puede observarse que ambas opciones resultan suficientemente rentables, por lo que siempre que no deban abonarse intereses superiores a la tasa interna de retorno, del 10% en el caso de 30% artificial, ambos proyectos podrán llevarse a cabo generando beneficios a la compañía y justificando el cambio del sistema de iluminación artificial al sistema de iluminación mixto.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

12. Conclusiones

Respecto al diseño y distribución del sistema de iluminación natural:

- De las diferentes propuestas planteadas en cuanto a la distribución de las aberturas para generar espacios de iluminación natural, se ha seleccionado aquella que cuenta únicamente con lucernarios. De esta forma se evitan los deslumbramientos que generan los ventanales y puede utilizarse de forma más eficiente las superficies de la nave.
- Mediante la distribución de iluminación natural planteada, se cumplen casi en su totalidad los requerimientos del Código Técnico de Edificación, así como la normativa europea de iluminación para interiores, UNE-12464.1.
- Los valores de iluminación mínimos obtenidos únicamente son insuficientes durante las dos primeras horas del día más oscuro del año, de forma que mediante un mínimo aporte de iluminación artificial se cumplirían los requisitos lumínicos necesarios.
- Se ha optado por utilizar un sistema de iluminación mixto. De forma que la nave durante la mayor parte del año y con condiciones meteorológicas favorables podrá funcionar únicamente con iluminación natural. Aun así, dispondrá de un aporte extra de iluminación de origen artificial para aquellas ocasiones extraordinarias en las que se requiera.
- En ninguno de los casos se genera iluminación excesiva, establecida en 2000 luxes, por lo que no resultarán necesario apantallar superficies del local ni introducir barreras físicas para evitar deslumbramientos que pudiesen hacer peligrar la integridad física del operario.

Respecto a la eficiencia del sistema:

- El VEEI disminuye proporcionalmente a medida que aumenta el término respectivo a iluminación natural en el sistema de iluminación mixto, de forma que, en el sistema de iluminación mixto con un 10% artificial, se puede decir que el valor del VEEI, situado en 0,5, tiende a valores cercanos a cero.
- El análisis económico del proyecto justifica mediante el VAN la viabilidad del proyecto tanto en un sistema mixto de 10% como de 30% de iluminación artificial, siempre que la tasa interna de retorno no sea superior al del 13% y 10%, respetivamente.
- El sistema de iluminación mixto con un 10% artificial, ofrece la mayor rentabilidad económica y energética y cumple con suficiencia los requerimientos planteados por la UNE-126464.1, por lo que resulta la opción más conveniente.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesamiento de miel.

13. Bibliografía

- Información proporcionada por la empresa colaboradora Mediterránea Mellis S.L.
- *PoliformaT*. Asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial.
- *PoliformaT*. Asignatura de Proyectos en Ingeniería Química.

- Normativa europea de iluminación para interiores UNE 12464.1.
 - <https://www.saltoki.com/iluminacion/docs/03-UNE-12464.1.pdf>
- VEEI
 - <https://www.certicalia.com/blog/calculo-veei>
- Unidades de obra
 - <https://www.panelsandwich.com/blog/los-lucernarios-con-placas-de-policarbonato-ofrecen-mayor-resistencia-e-iluminacion-natural/>
- Portal de eficiencia energética
 - <https://ovacen.com/>
- Código Técnico de Edificación, CTE.
 - <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/marco-reglamentario.html>
- Tarifas Iberdrola
 - https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas_2015.pdf
- Instituto Valenciano de Edificación, IVE.
 - <https://www.five.es/>

Anexo 1: PRESUPUESTO

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

1. Presupuestos asociados a los lucernarios

El cálculo de los presupuestos asociados a los lucernarios se basa en la base de datos del IVE del año 2019 en Valencia.

Tabla 49. IVE 2019 Valencia

IVE 2019				
Preparación del hueco para el lucernario				
Código	Ud	Descripción	Resumen	Precio (€)
MMAR.2\$	h	Plataforma elevadora articulada	Alquiler de plataforma elevadora móvil de personal PEMP articulada Diesel, para una altura de trabajo de 12 m y una carga máxima en plataforma de 200 Kg, con un peso total de 4000 Kg, incluso manual de instrucciones y formación del operador, conforme UNE EN 280:2001.	133.9
MOOM.8a	h	Oficial 1ª metal		19.75
Colocación del perfil metálico				
PQLW.1a	m	Perfil al universal c/goma-tap.	Perfil de aluminio universal con goma universal y trapecio, para montaje de acristalamiento con placas de policarbonato o metacrilato	8.37
MOOC10a	H	Ayudante carpintería metálica		15.43
MMAR.2\$	h	Plataforma elevadora articulada	Alquiler de plataforma elevadora móvil de personal PEMP articulada Diesel...	133.9
MOOM.8a	h	Oficial 1ª metal		19.75
Acristalamiento de lucernarios de policarbonato				
MOOV.8a	h	Oficial 1ª vidrio		15.16
PFPL.2aak	m ²	PI PC celular inc 10mm	Placa de policarbonato celular incoloro con un espesor de 5 mm	19.74
PBUT12b	Ud	Tornillo inox	Tornillo inox autr6,5x70 acero inoxidable	0.44
MMAR.2\$	h	Plataforma elevadora articulada	Alquiler de plataforma elevadora móvil de personal PEMP articulada Diesel...	133.9
MMAR.1\$	h	Plataforma elevada de tijera	Alquiler de plataforma elevador móvil de personal PEMP de tijera diesel, para una altura de trabajo de de 12 m y una carga máxima en plataforma de 600 Kg, con un peso total de 4000 Kg, incluso manual de instrucciones y formación del operador, conforme UNE EN 280:2001.	82.40
Mantenimiento de los lucernarios de policarbonato				
MOOV.8a	h	Oficial 1ª vidrio		15.16

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

MMAR.2\$	h	Plataforma elevadora articulada	Alquiler de plataforma elevadora móvil de personal PEMP articulada Diesel...	133.9
----------	---	---------------------------------	--	-------

- **Preparación del hueco para el lucernario:** Tiene en cuenta los recortes necesarios a las planchas de la cubierta para la colocación de los perfiles metálicos que sujetarán las placas de policarbonato celular.
- **Colocación del perfil metálico:** Colocación del perfil metálico a los que quedarán ancladas las placas de policarbonato celular.
- **Acristalamiento de lucernarios de policarbonato:** Conlleva la instalación de las placas de policarbonato y su sujeción a los perfiles metálicos.
- **Mantenimiento de los lucernarios de policarbonato:** Revisión periódica cada 5 años para garantizar que los paneles se encuentran en buenas condiciones.

1.1. Cálculo de rendimientos de los lucernarios

- **Preparación del hueco para el lucernario**

Debido a que no existe actualmente unidad de obra referente a esta labor establecida en el IVE, se ha optado por utilizar los datos presentados por el contratista y facilitados por la empresa. Este establece que será necesario 15 minutos de oficial de 1ª de metal y de plataforma elevadora articulada, aunque esta se encuentra en desuso mientras el oficial esté realizando su labor.

Descripción	Rendimiento
Oficial 1ª metal	0.25
Plataforma elevadora	0.01

- **Colocación del perfil metálico**

Debido a que no existe actualmente unidad de obra referente a esta labor establecida en el IVE, se ha optado por utilizar los datos presentados por el contratista y facilitados por la empresa. Este establece que será necesario 15 minutos de oficial de 1ª de metal, de ayudante de carpintería y de plataforma elevadora articulada, aunque esta se encuentra en desuso mientras el oficial esté realizando su labor.

Descripción	Rendimiento
Oficial 1ª metal	0.25
Ayudante carpintería metálica	0.25
Perfil al universal c/goma-tap.	1
Plataforma elevadora	0.01

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

- **Acristalamiento de lucernarios de policarbonato**

Debido a que existe una unidad de obra referente a esta labor establecida en el IVE, se han utilizado dichos rendimientos, sin embargo, se ha añadido el uso de plataformas elevadoras debido a que la cubierta no es accesible por otros medios.

En este caso se ha optado por utilizar dos tipos de plataforma, una de elevación articulada que utilizará el oficial para desplazarse de forma más ágil y segura, y otra de elevación de tijera, que permite levantar una carga mucho mayor y resulta óptima para cargas los paneles de policarbonato celular.

Los rendimientos de las plataformas son aquellos que equiparan el tiempo que utiliza el oficial 1ª de vidrio en instalar un metro cuadrado de panel de policarbonato, obteniendo los siguientes valores.

Descripción	Rendimiento
Panel de policarbonato	1.05
Oficial 1ª vidrio	0.583
Tornillo inox.	3.333
Plataforma elevadora art.	0.024
Plataforma elevadora tij.	0.024

- **Mantenimiento de los lucernarios de policarbonato**

Debido a que no existe actualmente unidad de obra referente a esta labor establecida en el IVE, se ha optado por utilizar los datos presentados por el contratista. Este establece que será necesario 10 minutos de oficial de 1ª de vidrio y de plataforma elevadora articulada, aunque esta se encuentra en desuso mientras el oficial esté realizando su labor.

Descripción	Rendimiento
Oficial 1ª metal	0.17
Plataforma elevadora	0.007

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

1.2. Presupuesto de los lucernarios

En este punto quiere estudiarse el importe asociado a la instalación del equipo necesario para implantar un sistema de iluminación natural. De esta forma, podrá calcularse la rentabilidad del proyecto, y compararse dicha inversión respecto al sistema de iluminación artificial mediante el cálculo del VAN y el TIR.

La propuesta escogida cuenta con 20 lucernarios con una medida de 10 metros de largo por 1,5 metros de ancho, con un área de 15 metros cuadrados por lucernarios, y, por tanto, un área total de 300 metros cuadrados

La instalación de los lucernarios conlleva un total de 3 unidades de obra asociadas que se encuentran desglosadas a continuación:

Tabla 50. Unidad de obra 1.01 lucernarios

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal (€)	Total (€)
1.01	m²	Recortes y preparación del hueco para el lucernario				
	hr	Oficial 1ª metal	0.25	19.75	4.93	
	día	Plataforma elevadora art.	0.01	133.9	1.34	
	%	Costes directos	0.02	6.27	0.125	
						6.4

Tabla 51. Unidad de obra 1.02 lucernarios

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal	Total (€)
1.02	m²	Instalación del perfil metálico de sujeción				
	ud	Perfil al universal c/goma-tap.	1	8.37	8.37	
	hr	Oficial 1ª metal	0.25	19.75	4.93	
	día	Plataforma elevadora art.	0.01	133.9	1.34	
	hr	Ayudante carpintería	0.25	15.43	3.857	
	%	Costes directos	0.02	18.49	0.37	
						18.867

Tabla 52. Unidad de obra 1.03 lucernarios

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal (€)	Total (€)
1.03	m²	Acrilamiento de lucernarios de policarbonato				
	ud	Panel de policarbonato	1.05	19.74	20.727	
	hr	Oficial 1ª vidrio	0.583	15.16	8.838	
	día	Plataforma elevadora art.	0.024	133.9	3.2136	
	Día	Plataforma elevadora tij.	0.024	82.40	1.98	
	ud	Tornillo inox	3.333	0.44	1.466	
	%	Costes directos	0.02	36.22	0.7244	
						36.94

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

A continuación, se muestra una tabla con las mediciones necesaria en cada una de las unidades de obra creadas. En este caso, debido a que se trata de la instalación de un sistema de iluminación natural en una cubierta de una nave industrial, la superficie será siempre la misma, que es la que corresponde al área de lucernarios instalados.

Tabla 53. Mediciones

U.O.	UD	Descripción	N.º	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
1.01	m^2	Recortes y preparación del hueco para el lucernario					300	300
	m^2	Lucernarios	20	1.5	10	300		
1.02	m^2	Instalación del perfil metálico de sujeción					300	300
	m^2	Lucernarios	20	1.5	10	300		
1.03	m^2	Acristalamiento de lucernarios de policarbonato					300	300
	m^2	Lucernarios	20	1.5	10	300		

Por tanto, una vez se conoce el coste de cada una de las unidades de obra, así como las mediciones, pueden obtenerse presupuestos parciales sobre los que se obtiene el presupuesto de ejecución material, también conocido como PEM.

U.O.	Descripción	Subtotal	Total
1.01	Recortes y preparación del hueco para el lucernario	1920	
1.02	Instalación del perfil metálico de sujeción	5562.2	
1.03	Acristalamiento de lucernarios de policarbonato	11084.2	
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)			18.667 €

A continuación, debe añadirse al PEM el valor porcentual asociado a los gastos generales de la operación, que en este caso se consideran de un 15%, así como el beneficio industrial que obtiene el contratista, que se considera de un 6%. Imputando dichos gastos sobre la base, el PEM, se obtiene el Presupuesto de Ejecución por contrata, también conocido como PEC.

Finalmente, deberá implantarse el IVA, que en este caso es del 21%, sobre el valor del PEC, obteniendo así, el *Presupuesto Base de Licitación*.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Tabla 54. Presupuesto instalación lucernarios

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	18667.07 €
Gastos Generales (15%)	2800.06 €
PEM + Gastos Generales	21467.13 €
Beneficio industrial (6%)	1288.03 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	22755.16 €
IVA	4778.58 €
Presupuesto Base de Licitación	27533.74 €

1.3. Presupuesto del mantenimiento de los lucernarios

Una vez los lucernarios han sido instalados, debe tenerse en cuenta que estos llevan ciertos gastos asociados de mantenimiento. Por tanto, debe tenerse en cuenta que periódicamente deberá revisarse que no haya desperfectos, así como realizar una leve limpieza superficial.

Por este motivo, se establece un presupuesto de mantenimiento que se realizará cada 5 años, de forma que se obtienen las siguientes unidades de obra, mediciones y presupuestos.

Tabla 55. Unidad de obra 1.01 mantenimiento lucernarios

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal	TOTAL
1.01	m²	Mantenimiento de paneles de policarbonato				
	hr	Oficial 1ª vidrio	0.17	15.16	2.577	3.577
	día	Plataforma elevadora	0.007	133.9	0.9373	
	%	Costes directos	0.02	3.507	0.07	

Tabla 56. Mediciones 1.01 mantenimiento lucernarios

U.O.	UD	Descripción	N.º	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
1.01	m²	Mantenimiento de paneles de policarbonato					15	300
	m²	Lucernarios	20	1.5	10			

Por tanto, una vez se conoce el coste la unidad de obra, así como la medición, se puede obtener el presupuesto parcial sobre los que se obtiene el presupuesto de ejecución material, también conocido como PEM.

U.O.	Descripción	Subtotal	Total
1.01	Preparación del hueco para el lucernario	1073.19 €	
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)			1073.19 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

A continuación, para obtener el *Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)* deben añadirse los costes directos y el beneficio industrial. Finalmente, debe añadirse el IVA para obtener el *Presupuesto Base de Licitación*. Cabe destacar que el mantenimiento se realiza cada 5 años, por tanto, debe tenerse en cuenta la repercusión anual que tiene.

Tabla 57. Presupuesto mantenimiento lucernarios

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	1073.19 €
Gastos Generales (15%)	160.97 €
PEM + Gastos Generales	1234.16 €
Beneficio industrial (6%)	74.05 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	1308.21 €
IVA	274.72 €
Presupuesto Base de Licitación	1582.94 €
Presupuesto Total Anual	316.58 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

2. Sistema de iluminación artificial

Las luminarias tienen asociado un tiempo de vida útil a partir del cual se espera que pierda mucha eficiencia o dejen de funcionar. Por tanto, debe estimarse el coste de renovación y calcular cada cuanto será necesario renovarlas. Consultado la ficha técnica y el manual del fabricante, se observa que el rango en el que oscila la vida útil de las luminarias oscila entre las 15.000 y 25.000 horas, por lo que se tomará el valor más desfavorable, considerando que su vida útil es de 25.000 horas.

Mediante el software de DIALux Light, el cual realiza una simulación de las condiciones de en las que se encuentra la nave industrial, se determina que serán necesarias un total de 30 luminarias repartidos en los 1000 m^2 para alcanzar la iluminación media fijada en 159.87 lux.

En este punto es necesario calcular el tiempo que las luminarias estarán encendidas para valorar así el periodo de renovación de estas. Teniendo en cuenta que la empresa trabaja 10 horas cada día y se encuentra abierta 263 días al año, las luminarias trabajarán 2630 horas al año.

Vida útil luminarias	Horas trabajadas anualmente	Vida útil esperada en años
20.000 h	2630	9.5 años

Cabe destacar que del mismo modo que se ha realizado con los lucernarios, el cálculo de los presupuestos asociados a las luminarias se basa en la base de datos del IVE del año 2016 en Valencia.

Tabla 58. IVE 2019 Valencia

IVE 2019				
Instalación y renovación de luminarias				
Código	Ud	Descripción	Resumen	Precio (€)
MMAR.2\$	h	Plataforma elevadora articulada	Alquiler de plataforma elevadora móvil de personal PEMP articulada Diesel, para una altura de trabajo de 12 m y una carga máxima en plataforma de 200 Kg, con un peso total de 4000 Kg, incluso manual de instrucciones y formación del operador, conforme UNE EN 280:2001.	133.9
MOOM.8a	h	Oficial 1ª electricidad		19.75

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

2.1. Cálculo de rendimientos de las luminarias

- **Preparación del hueco para el lucernario**

Debido a que existe una unidad de obra referente a esta labor establecida en el IVE, se han utilizado dichos rendimientos, sin embargo, se ha añadido el uso de plataformas elevadoras debido a que la cubierta no es accesible por otros medios.

Descripción	Rendimiento
Oficial 1ª electricidad	0.2
Plataforma elevadora	0.833
Foco Led <i>Gentlespace</i> <i>Phillips</i>	1

2.2. Iluminación artificial

2.2.1. Iluminación 100% artificial

Tabla 59. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 100%

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal	TOTAL
1.01	<i>ud</i>	Renovación luminarias				831.80
	<i>ud</i>	Luminaria	1	700	700	
	<i>hr</i>	Oficial 1ª electricidad	0.2	19.75	3.95	
	<i>día</i>	Plataforma elevadora	0.833	133.9	111.54	
	%	Costes directos	0.02	815.49	16.31	

Tabla 60. Mediciones instalación luminarias 100%

U.O.	UD	Descripción	N.º	Ancho	Alto	Subtotal	Total
1.01	<i>ud</i>	Renovación luminarias					30
	<i>ud</i>	Luminaria	30			30	

U.O.	Descripción	Subtotal (€)	Total (€)
1.01	Renovación luminarias	24.954.00	24954.00

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

Tabla 61. Presupuesto instalación luminarias 100%

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	24954.00 €
Gastos Generales (15%)	3743.1 €
PEM + Gastos Generales	28697.1 €
Beneficio industrial (6%)	1721.826 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	30418.92 €
IVA (21%)	6387.974 €
Presupuesto Base de Licitación	36806.89 €
Presupuesto total anual	3874.41 €

2.2.2. Iluminación 30% artificial

Tabla 62. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 30%

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal	TOTAL
1.01	<i>ud</i>	Renovación luminarias				
	<i>ud</i>	Luminaria	1	700	700	831.80
	<i>hr</i>	Oficial 1ª electricidad	0.2	19.75	3.95	
	<i>día</i>	Plataforma elevadora	0.833	133.9	111.54	
	%	Costes directos	0.02	815.49	16.31	

Tabla 63. Mediciones instalación luminarias 30%

U.O.	UD	Descripción	N.º	Ancho	Alto	Subtotal	Total
1.01	<i>ud</i>	Renovación luminarias					9
	<i>ud</i>	Luminaria	9			9	
							9

U.O.	Descripción	Subtotal	Total
1.01	Renovación luminarias	9	9

Tabla 64. Presupuesto instalación luminarias 30%

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	7486.2 €
Gastos Generales (15%)	1122.93
PEM + Gastos Generales	8609.13
Beneficio industrial (6%)	516.54
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	9125.67 €
IVA	1916.39
Presupuesto Base de Licitación	11042.06 €
Presupuesto total anual	1174.68 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada al procesado de miel.

2.2.3. Iluminación 10% artificial

Tabla 65. Unidad de obra 1.01 instalación luminarias 10%

Unidad de obra	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio por unidad (€)	Subtotal	TOTAL
1.01	ud	Renovación luminarias				
	ud	Luminaria	1	700	700	831.80
	hr	Oficial 1ª electricidad	0.2	19.75	3.95	
	día	Plataforma elevadora	0.833	133.9	111.54	
	%	Costes directos	0.02	815.49	16.31	
						831.80

Tabla 66. Mediciones instalación luminarias 10%

U.O.	UD	Descripción	N.º	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
1.01	ud	Renovación luminarias						3
	ud	Luminaria	3					
							3	

U.O.	Descripción	Subtotal	Total
1.01	Renovación luminarias	2495.4	2495.4 €

Tabla 67. Presupuesto instalación luminarias 10%

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	2495.4 €
Gastos Generales (15%)	374.31 €
PEM + Gastos Generales	2869.71 €
Beneficio industrial (6%)	172.18 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	3068.89 €
IVA	644.47 €
Presupuesto Base de Licitación	3713.36 €
Presupuesto total anual	395.04 €