



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN NATURAL
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA
PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA
PRODUCCIÓN DE CERVEZA ALE ARTESANAL**

AUTOR: GONZÁLEZ CHULIÁ, ALBERTO

TUTOR: SANTAMARINA SIURANA, MARÍA CRISTINA

Curso Académico: 2018-19

RESUMEN

En el presente trabajo se diseña un sistema pasivo de instalaciones, basado en iluminación natural, en las edificaciones de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

Contiene la justificación de la propuesta técnica, así como el estudio, análisis y determinación de sus limitaciones en la eficiencia energética de la planta.

Incluye la simulación de los sistemas de iluminación natural en los diferentes locales del sector productivo, así como la estimación, mediante software específico, de los niveles de iluminación en los planos de trabajo, coeficientes de uniformidad e índices de eficiencia energética de los diferentes locales.

Palabras clave: Eficiencia energética, iluminación natural.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

ABSTRACT

In the present work a passive system of facilities is designed, based on natural lighting, in the buildings an industrial plant dedicated to the production of handmade ALE beer.

It contains the justification for the technical proposal as well as the study, analysis and determination of its limitations in the energy efficiency of the plant.

It includes the simulation of natural lighting systems in the different areas of the productive sector, as well as the estimation, through specific software, of the levels of illumination in the work planes, uniformity coefficients and energy efficiency indices of the different premises.

Key words: Energy efficiency, Natural lighting

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

PRÓLOGO

La elección del trabajo final de grado siempre ha sido una decisión importante y difícil. Para ello quería buscar un trabajo que me motivara y despertara el máximo interés posible.

Dado que el siguiente paso una vez finalizado el grado estaba claro y no haber posibilidad de hacer un trabajo relacionado con eso, durante el segundo cuatrimestre al cursar la asignatura “construcción y arquitectura industrial” se despertó un gran interés por esta rama, que pese a quedar algo lejos de lo visto en el transcurso del grado, sigue siendo una rama ingenieril y que siempre me ha gustado.

Una vez finalizado el trabajo, me siento muy satisfecho con la elección y los resultados obtenidos. En la duración del proyecto he aprendido a manejar programas de diseño que, o bien eran nuevos para mi o que llevaba tiempo sin utilizar, así como familiarizarme con diferentes normativas.

Por último, quisiera agradecer a mi tutora M^a Cristina Santamarina Siurana el apoyo y dedicación constante durante el transcurso de la asignatura y del proyecto.

También agradecer a mi familia, pareja y amigos estar ahí en todo momento, ya que sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
2. CERVEZA ARTESANAL	9
2.1. Cervezas Ale	10
3. SECTOR CERVECERO EN ESPAÑA	11
4. PLANTA DE CERVEZA ALE ARTESANAL	13
4.1. Descripción de la instalación	14
4.2. Proceso productivo y distribución en planta	16
5. ILUMINACION	18
5.1. Tipos de iluminación	18
5.1.1. Iluminación natural	19
5.2. Hipótesis y parámetros seleccionados	21
5.3. Método analítico	22
5.3.1. Iluminación media interior	23
5.3.2. Nivel de iluminación exterior	23
5.3.3. Factor de ventanas	23
5.3.4. Parámetros restantes	24
5.4. Requisitos	25
5.4.1. Iluminación interior media	25
5.4.2. Uniformidad	26
5.4.3. Evitar deslumbramientos	27
5.5. Propuestas de iluminación y simulaciones	28
5.5.1. Propuesta 1	29
5.5.2. Propuesta 2	31
5.5.3. Propuesta 3	33
5.5.4. Propuesta 4	35
5.5.5. Propuesta 5	37
5.6. Propuesta óptima seleccionada	39
5.6.1. Análisis de los requisitos de iluminación	39

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

5.6.2. Aspecto de la planta industrial	42
5.7. Iluminación artificial	44
5.8. Eficiencia energética	46
6. ANÁLISIS ECONÓMICO	49
6.1. Presupuesto con iluminación natural 100%.....	49
6.2. Balance económico	51
6.2.1. Iluminación 100% artificial	51
6.2.2. Sistema de iluminación mixta	56
6.3. Análisis económico	68
6.3.1. Rentabilidad del proyecto	69
7. CONCLUSIONES.....	72
8. BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXO 1. PRESUPUESTO	75
ANEXO 2. LUMINARIAS	83
ANEXO 3. PLANOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Grados de reflexión de las superficies de la nave	21
Tabla 2: Características de las aberturas	22
Tabla 3: Superficies e iluminación requerida	23
Tabla 4: Escenas de luz a representar	29
Tabla 5: Características de los lucernarios de la primera propuesta	29
Tabla 6: Resumen de los resultados de la primera propuesta	30
Tabla 7: Resultados zonales de la propuesta 1	31
Tabla 8: Características de los lucernarios de la segunda propuesta.....	31
Tabla 9: Resumen de los resultados de la segunda propuesta	32
Tabla 10: Resultados zonales de la propuesta 2	33
Tabla 11: Características de los lucernarios de la tercera propuesta.....	33
Tabla 12: Características de las ventanas de la tercera propuesta	33
Tabla 13: Resumen de los resultados de la tercera propuesta	35
Tabla 14: Resultados zonales de la propuesta 3	35
Tabla 15: Características de los lucernarios de la cuarta propuesta	36
Tabla 16: Resumen de los resultados de la cuarta propuesta	37
Tabla 17: Resultados zonales de la propuesta 4	37
Tabla 18: Características de los lucernarios de la quinta propuesta.....	37
Tabla 19: Resumen de los resultados de la quinta propuesta	38
Tabla 20: Resultados zonales de la propuesta 5	39
Tabla 21: Valores de la iluminación en las condiciones más desfavorables.....	40
Tabla 22: Valores de la iluminación en verano.....	40
Tabla 23: Valores de uniformidad de la propuesta 1	40
Tabla 24: Valores de uniformidad de la propuesta seleccionada	41
Tabla 25: Iluminación media el 21 de diciembre a las 9:00 a.m.	45
Tabla 26: Iluminación media el 21 de diciembre a las 10:00 a.m.	45
Tabla 27: Iluminación media el 21 de diciembre a las 11:00 a.m.	45
Tabla 28: Resultados luminotécnicos con iluminación 100% artificial.....	46
Tabla 29: Eficiencia energética de los diferentes escenarios.....	47
Tabla 30: Presupuesto de instalación de lucernarios con iluminación 100% natural	50

Tabla 31: Presupuesto de mantenimiento de lucernarios con iluminación 100% natural..	50
Tabla 32: Presupuesto total para un sistema de iluminación 100% natural	51
Tabla 33: Potencia requerida por la planta	51
Tabla 34: Precios de cada periodo para la tarifa 3.1A	52
Tabla 35: Horas trabajadas en cada periodo según la tarifa 3.1A.....	53
Tabla 36: Término de potencia con un sistema de iluminación artificial 100%.....	54
Tabla 37: Término de energía para un sistema de iluminación artificial 100%	54
Tabla 38: Gasto energético para un sistema de iluminación natural 100%	55
Tabla 39: Presupuesto de instalación de luminarias con iluminación artificial 100%.....	56
Tabla 40: Presupuesto del sistema de iluminación artificial 100%	56
Tabla 41: Luminarias instaladas en cada sistema de iluminación mixta.	57
Tabla 42: Potencia de las luminarias en cada sistema de iluminación mixta.	58
Tabla 43: Término de potencia para un sistema 30% artificial-70% natural	59
Tabla 44: Término de energía para un sistema 30% artificial-70% natural	59
Tabla 45: Gasto energético total para un sistema 30% artificial-70% natural.....	59
Tabla 46: Cuadro de mediciones para un sistema 30% artificial-70% natural.....	60
Tabla 47: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 30% artificial-70% natural	60
Tabla 48: Presupuesto de instalación de luminarias con 30% artificial-70% natural.....	60
Tabla 49: Presupuesto final para un sistema 30% artificial-70% natural	61
Tabla 50: Término de potencia para un sistema 20% artificial-80% natural	61
Tabla 51: Término de energía para un sistema 20% artificial-80% natural	61
Tabla 52: Gasto energético total para un sistema 20% artificial-80% natural.....	62
Tabla 53: Cuadro de mediciones para un sistema 20% artificial-80% natural.....	62
Tabla 54: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 20% artificial-80% natural	62
Tabla 55: Presupuesto de instalación de luminarias con 20% artificial-80% natural.....	63
Tabla 56: Presupuesto final para un sistema 20% artificial-80% natural	63
Tabla 57: Término de potencia para un sistema 10% artificial-90% natural	63
Tabla 58: Término de energía para un sistema 10% artificial-90% natural	64
Tabla 59: Gasto energético total para un sistema 10% artificial-90% natural.....	64
Tabla 60: Cuadro de mediciones para un sistema 10% artificial-90% natural.....	65
Tabla 61: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 10% artificial-90% natural	65
Tabla 62: Presupuesto de instalación de luminarias con 10% artificial-90% natural.....	65

Tabla 63: Presupuesto final para un sistema 10% artificial-90% natural	66
Tabla 64: Gasto energético total para un sistema 30% artificial-70% natural.....	66
Tabla 65: Presupuesto final para un sistema 30% artificial-70% natural	66
Tabla 66: Gasto energético total para un sistema 20% artificial-80% natural.....	67
Tabla 67: Presupuesto final para un sistema 20% artificial-80% natural	67
Tabla 68: Gasto energético total para un sistema 10% artificial-90% natural.....	67
Tabla 69: Presupuesto final para un sistema 10% artificial-90% natural	67
Tabla 70: Ahorro en los gastos totales variando el término de potencia	68
Tabla 71: Ahorro en los gastos totales manteniendo fijo el término de potencia	68
Tabla 72: Sistemas seleccionados manteniendo fijo el término de potencia.....	70
Tabla 73: Valores del VAN y TIR.....	70
Tabla 74: Valores del VAN y TIR.....	71
Tabla 75: Cuadro de precios descompuestos para la instalación de lucernarios	77
Tabla 76: Cuadro de mediciones para la instalación de lucernarios	78
Tabla 77: Cuadro de presupuestos parciales para la instalación de lucernarios	78
Tabla 78: Presupuesto final para la instalación de lucernarios.....	79
Tabla 79: Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de lucernarios.....	79
Tabla 80: Cuadro de mediciones del mantenimiento de lucernarios	79
Tabla 81: Presupuesto parcial del mantenimiento de lucernarios	80
Tabla 82: Presupuesto final del mantenimiento de lucernarios	80
Tabla 83: Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias	80
Tabla 84: Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial.....	81
Tabla 85: Presupuesto parcial luminarias con iluminación 100% artificial.....	81
Tabla 86: Presupuesto final luminarias con iluminación 100% artificial	81

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferencias en el color de una cerveza tipo Ale y Lager	10
Figura 2: Evolución del consumo de cerveza en España	12
Figura 3: Producción de cada grupo cervecero en España	12
Figura 4: Zona de operaciones	15
Figura 5: Embotelladora isobárica	15
Figura 6: Laboratorio para los controles de calidad	16
Figura 7: Fábrica de cerveza artesanal con iluminación natural	16
Figura 8: Diagrama de bloques del proceso productivo	17
Figura 9: Distribución en planta de cada zona de trabajo	17
Figura 10: Distribución en planta del proceso productivo.....	18
Figura 11: Diferentes tipos de radiación a través de la bóveda celeste	19
Figura 12: Diferentes sistemas de iluminación natural	20
Figura 13: Ángulos de las aberturas.....	24
Figura 14: Distribución de las diferentes zonas para analizar la iluminación media	25
Figura 15: Requerimientos de iluminación en cada zona de la planta	26
Figura 16: Gama de grises de una simulación mediante DIALux.	26
Figura 17: Superficies de cálculo y superficies de trabajo	27
Figura 18: Superficie de cálculo de las escaleras.....	27
Figura 19: Situaciones donde pueden producirse deslumbramientos molestos.....	28
Figura 20: Criterio seleccionado para calificar los valores obtenidos	29
Figura 21: Distribución de los lucernarios de la propuesta 1.....	30
Figura 22: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 1	30
Figura 23: Distribución de los lucernarios de la propuesta 2.....	32
Figura 24: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 2	32
Figura 25: Distribución de los lucernarios de la propuesta 3.....	34
Figura 26: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 3	34
Figura 27: Distribución de los lucernarios de la propuesta 4.....	36
Figura 28: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 4	36
Figura 29: Distribución de los lucernarios de la propuesta 5.....	38
Figura 30: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 5	38

Figura 31: Pequeño deslumbramiento producido en la pared este.....	41
Figura 32: Vista frontal de la planta en diciembre	42
Figura 33: Vista lateral de la planta en invierno.....	42
Figura 34: Vista frontal de la planta en verano	43
Figura 35: Vista lateral de la planta en verano.....	43
Figura 36: Escala de colores falsos utilizada.....	44
Figura 37: Colores falsos de la planta en invierno.....	44
Figura 38: Colores falsos de la planta en verano.....	44
Figura 39: Disponibilidad de luz natural en una jornada laboral	48
Figura 40: Horarios de cada periodo de la tarifa 3.1A.....	52
Figura 41: Ahorro de cada término en el sistema 90% natural-10% artificial	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Método analítico	22
Ecuación 2: Iluminación interior media	23
Ecuación 3: Factor de ventanas	24
Ecuación 4: Eficiencia energética.....	46
Ecuación 5: Término de potencia	53
Ecuación 6: Término de energía	54
Ecuación 7: Impuesto de electricidad	55
Ecuación 8: Valor actual neto	69
Ecuación 9: Tasa interna de rentabilidad.....	70

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Mediante este proyecto se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Conocer el proceso de elaboración de la cerveza artesanal ALE y elaborar diferentes propuestas del sistema de iluminación natural en función, tanto la superficie como de la posición y número de aberturas, empleando los conocimientos adquiridos en la asignatura de construcción y arquitectura industrial.
- Realizar las simulaciones mediante el software DIALux, estudiando los resultados para obtener la propuesta óptima.
- Analizar la eficiencia energética de la propuesta seleccionada, combinando para ello iluminación natural e iluminación artificial en diferentes proporciones.
- Elaborar un presupuesto para evaluar la viabilidad del proyecto, obteniendo aquel sistema de iluminación mixta que permita un mayor ahorro económico.
- Obtener en caso de que sea viable, la amortización de la inversión realizada.

2. CERVEZA ARTESANAL

Según el Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta, “la cerveza es un alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado a partir de materias primas naturales”. La cerveza es, junto al vino, es la única bebida alcohólica que se considera alimento.

Por lo que respecta a la fabricación de cerveza artesanal, esta se realiza mediante un proceso que se desarrolla íntegramente en la misma instalación y en el que el factor humano predomina sobre el factor mecánico, bajo la dirección de un maestro cervecero o artesano. Indiscutiblemente, cualquier elaboración de cerveza necesita una maquinaria básica y procesos automatizados.

Para la elaboración de cerveza artesanal se utilizan en todo momento ingredientes naturales evitando tanto conservantes, como colorantes y estabilizantes, sustancias que están habitualmente presentes en las cervezas industriales. Con todo esto, se obtiene un producto final único y destacable frente a los otros, donde debe cumplirse en todo momento la legislación vigente.

Existen dos grandes grupos de cerveza en función del tipo de la levadura que se utiliza en el proceso de fermentación, las cervezas tipo Lager y tipo Ale.

A su vez, se obtienen diferentes variedades de estos dos grandes grupos variando la cantidad y el tipo de lúpulo y malta.

2.1. Cervezas Ale

Las cervezas tipo Ale son aquellas que en las que se realiza una fermentación alta, es decir, se trata de cervezas que incorporan levaduras que tienen a desplazarse hacia la superficie del fermentador. Este proceso suele realizarse a una temperatura que ronda los 20°C durante periodos de tiempo cortos, entre una y dos semanas, generando aromas más afrutados y de malta.

A diferencia de las cervezas tipo lager, donde se produce una fermentación baja, las levaduras de alta fermentación no tienen la capacidad de fermentar todos los azúcares contenidos en el mosto, produciéndose una cerveza final con una dulzura muy sutil. En general, se trata de cervezas elaboradas con bastante cantidad de lúpulo y un elevado contenido alcohólico. Suele ser una cerveza robusta y compleja con un color que va desde rubio hasta cobrizo y rojizo. Esto puede variar en base a la cantidad añadida de lúpulo y malta.

Este tipo es muy popular en el Reino Unido, USA y Australia.



Figura 1: Diferencias en el color de una cerveza tipo Ale y Lager

2.2. Ingredientes necesarios

Para la elaboración de cerveza se utilizan 4 ingredientes básicos: malta, lúpulo, levadura y agua. Los productores artesanales no suelen aceptar ningún ingrediente extra. En cambio, durante el proceso de cocción a veces suelen emplearse algunos ingredientes para dar aromas distinguidos a la cerveza o diferenciarla de una manera muy especial.

Los ingredientes utilizados tienen los siguientes objetivos y características:

- Malta

Materia prima obtenida mediante el proceso de malteado de los granos de cebada, que consiste en el remojo de la cebada y posterior germinación y tostado. La malta se designa con la denominación del cereal de procedencia

- Lúpulo

Es el ingrediente encargado de proporcionar amargor a la cerveza. También tiene el objetivo de equilibrar la dulzura obtenida con los azúcares de la malta durante el proceso de macerado. A su vez, le proporciona sabores, aromas y resinas, encargadas de la retención de espuma y antisépticos que retrasan su proceso de degradación.

- Levadura

Son microorganismos del género *Saccharomyces* que se encargan, durante la fermentación principal, de transformar el azúcar del mosto en alcohol. Distinguimos entre:

- Levaduras de alta fermentación a una temperatura de 15-25°C para la cerveza tipo Ale.
- Levaduras de baja fermentación a una temperatura de 5-10°C para la cerveza tipo Lager.

- Agua

La cerveza se compone principalmente de agua, alrededor de un 90%, por lo que la calidad del agua es un factor muy determinante para la obtención de una buena cerveza. El agua tiene que estar libre de microorganismos, de materia orgánica, sin exceso de sales, sin olor y sin sabor.

3. SECTOR CERVECERO EN ESPAÑA

Cerveceros de España es la entidad que representa prácticamente la totalidad de producción de cerveza. Esta asociación está integrada en la FIAB (Federación Española de industrias de la alimentación y bebidas). A su vez el sector cervecero participa en Ecodirio, una asociación que promueve y gestiona el reciclado de los envases de vidrio en todo el país. Los datos que van a mostrarse han sido obtenidos tanto de Cerveceros de España como del ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Consumo de cerveza

El consumo de cerveza en España ha ido aumentando progresivamente desde el año 2012 hasta alcanzar en el año 2017 la cifra de casi 40 millones de hectolitros. Como puede observarse en la figura 2, la hostelería representa la mayor parte del consumo de cerveza

en España, presentándose también un aumento significativo en el consumo de cerveza en los hogares.

Por tanto, uno de los factores principales que influye en esta tendencia ascendente es el turismo, donde España asciende al segundo lugar en número de llegadas, solo por detrás de Francia, alcanzando la cifra de 82 millones de turistas extranjeros en el año 2017.

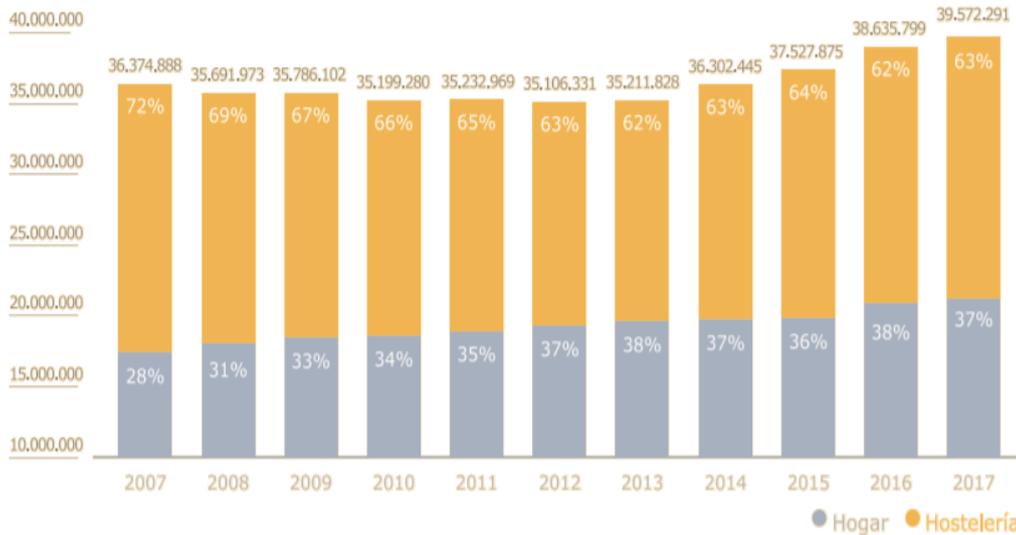


Figura 2: Evolución del consumo de cerveza en España

- Producción y venta de cerveza

La producción de cerveza en España en el año 2017 ha ascendido hasta un total de 37,6 millones de hectolitros elaborados, situándose por detrás de Alemania, Reino unido y Polonia.

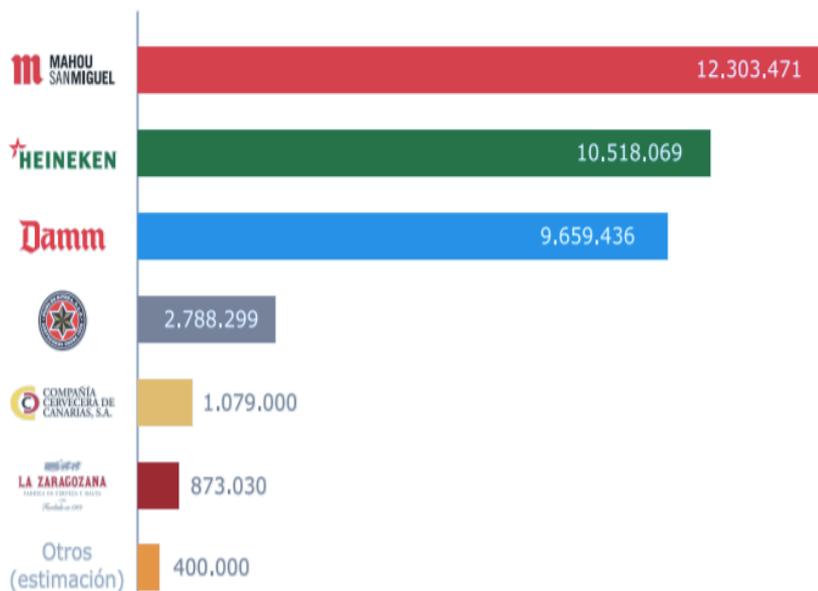


Figura 3: Producción de cada grupo cervecero en España

En la figura 3 puede verse el desglose de la producción de cerveza entre las distintas principales cerveceras del país, donde los hectolitros producidos de cerveza artesanal ocupa un porcentaje muy pequeño en comparación a grandes cerveceras como Mahou, San miguel, Heineken o Damm.

Pese a ello, las cervezas artesanales empiezan a tener un papel muy importante ya que esto contribuye a la innovación y desarrollo de nuevas variedades distinguidas de otras en cuanto a sabor o aroma. Prueba de ello es que el número de cerveceras inscritas fué de 521 en el año 2017, contribuyendo al dinamismo del sector y al incremento de la cultura cervecera en España.

A su vez, España es líder a nivel europeo en producción y consumo de cerveza sin alcohol. El consumo de este tipo de cerveza representa un 14,7 % del total de litros consumidos.

- Importancia del reciclado

En relación al firme compromiso que tiene el sector cervecero con la protección del medio ambiente, los envases más utilizados son los de vidrio, representando el 40% del total de cervezas comercializadas. Este tipo de envases son los que mejor tasa de retorno por reciclado y reutilización logran.

- Aportación de la cerveza a la economía nacional

El sector cervecero es un referente dentro del panorama agroalimentario en España debido a su contribución a la economía siendo la cerveza la bebida alcohólica con mayor impacto a través de la recaudación de impuestos y generación de empleo, creando en el año 2017 más de 344.000 puestos de trabajo.

El valor de la cerveza en el mercado alcanza los 15.000 millones de euros y supone un 1,3% del PIB. Además, el sector cervecero genera 7.000 millones de euros en valor añadido a la economía de nuestro país.

4. PLANTA DE CERVEZA ALE ARTESANAL

La planta escogida para la realización del análisis y simulación de la iluminación es una nave industrial que realiza cerveza ale artesanal. Se encuentra en funcionamiento de lunes a viernes, excepto días festivos, de 9:00 h a 17:00 h y sábados de 9:00 h a 14:00h realizando un total de 45 horas semanales. Produce una cerveza calipso pale ale con sabor especial, la cual luce un color rubio, amargor intermedio, con aroma frutal y que posee 4,5 grados de alcohol.

4.1. Descripción de la instalación

Se trata de una nave con una superficie de 600 m² (30m x 20m), con una luz de 20 metros resuelta mediante pórticos a dos aguas. La nave está compuesta por 2 pórticos de fachada y 5 pórticos interiores, siendo la altura de cornisa 8 metros y la inclinación de la cubierta de 7°.

A continuación, se exponen las distintas zonas de las que consta la instalación.

- Almacén de materias primas y producto terminado

En esta zona se almacenan todas las materias primas necesarias para la realización de la cerveza artesanal formadas por el lúpulo, la malta y la levadura, así como todos los botellines y cajas de producto terminado listo para ser transportado a su destino final.

- Zona de carga y descarga y expedición

Se trata de una zona destinada al embalaje de los pedidos ya preparados. Resulta fundamental disponer de esta zona para independizar la preparación de pedidos de la carga en el camión, de lo contrario no se podrá efectuar la preparación de los pedidos. A su vez esta zona es necesaria para la recepción de las diferentes materias primas empleadas en el proceso. Si no se dispusiera de esta zona, habría una falta de organización, lo que conllevaría a la pérdida de tiempo y recursos.

- Zona de operaciones

En esta parte de la planta se realizan todas las operaciones previas a la fermentación.

En primer lugar, se realiza la molienda de la malta y el calentamiento del agua hasta la temperatura de 70°C para realizar el proceso conocido como braceado o macerado. Los litros de agua necesarios dependen de la cantidad de malta a utilizar (por cada kg de malta se necesitan 3 litros de agua).

Este proceso consiste en convertir el almidón en azúcares fermentables. El grado de alcohol final de la cerveza depende de la densidad de los azúcares en este mosto. Se realiza durante 60 min hasta alcanzar la temperatura de 77°C. Si la temperatura es menor de 62°C transcurridos 20 minutos se aplica calor hasta alcanzar una temperatura de 67°C donde se aplica calor y se sigue removiendo hasta que se alcanza la temperatura deseada. Con este proceso se obtiene el mosto.

El siguiente proceso es la aspersion y recirculado del mosto, que consiste en separar el mosto de la parte insoluble de la malta, que se denomina bagazo. Se realiza mediante filtración, clarificando el mosto producido en varias etapas hasta el agotamiento total del bagazo y la obtención de la densidad deseada. El grado de alcohol final de la cerveza depende de la densidad de los azúcares en este mosto.

A continuación, se procede a examinar tanto la densidad como la cantidad. Si la densidad es la adecuada se sigue con el proceso de cocción, que consiste en añadir el lúpulo y llevar a ebullición la mezcla durante 55 minutos. Una vez se realiza cocción se deja reposar 10 minutos y se deja enfriar en un proceso a contracorriente hasta la temperatura de 25°C.



Figura 4: Zona de operaciones

- Fermentación

La fermentación se realiza para convertir el azúcar del mosto en etanol y dióxido de carbono a la vez que se desarrollan otros aromas de la cerveza. En este caso, se realiza la fermentación durante 14 días a una temperatura de alrededor de 20°C en depósitos aislados térmicamente, para que la temperatura del exterior no afecte al proceso. Una vez concluida la fermentación se lleva a cabo la maduración en el mismo depósito donde se ha realizado la fermentación.

- Envasado

Aquí se realiza el embotellado y taponado de la cerveza obtenida después de la fermentación. Una vez obtenemos los botellines se llevan al almacén de producto terminado o directamente para realizar las degustaciones.



Figura 5: Embotelladora isobárica

- Oficinas y control de calidad

Aquí se realizan todas las gestiones relacionadas con la distribución, proceso, proveedores, así como los controles de calidad tanto de la materia prima como de los productos intermedios y finales.



Figura 6: Laboratorio para los controles de calidad

Una vez explicado el proceso productivo, se muestra una imagen de una planta de fabricación de cerveza artesanal que emplea un sistema de iluminación natural, la cual se toma como referencia para la realización del diseño de la planta.



Figura 7: Fábrica de cerveza artesanal con iluminación natural

4.2. Proceso productivo y distribución en planta

En primer lugar, se va a exponer el diagrama de bloques del proceso productivo, en el cual se representa con los respectivos controles de calidad, temperaturas y tiempos necesarios en cada proceso.

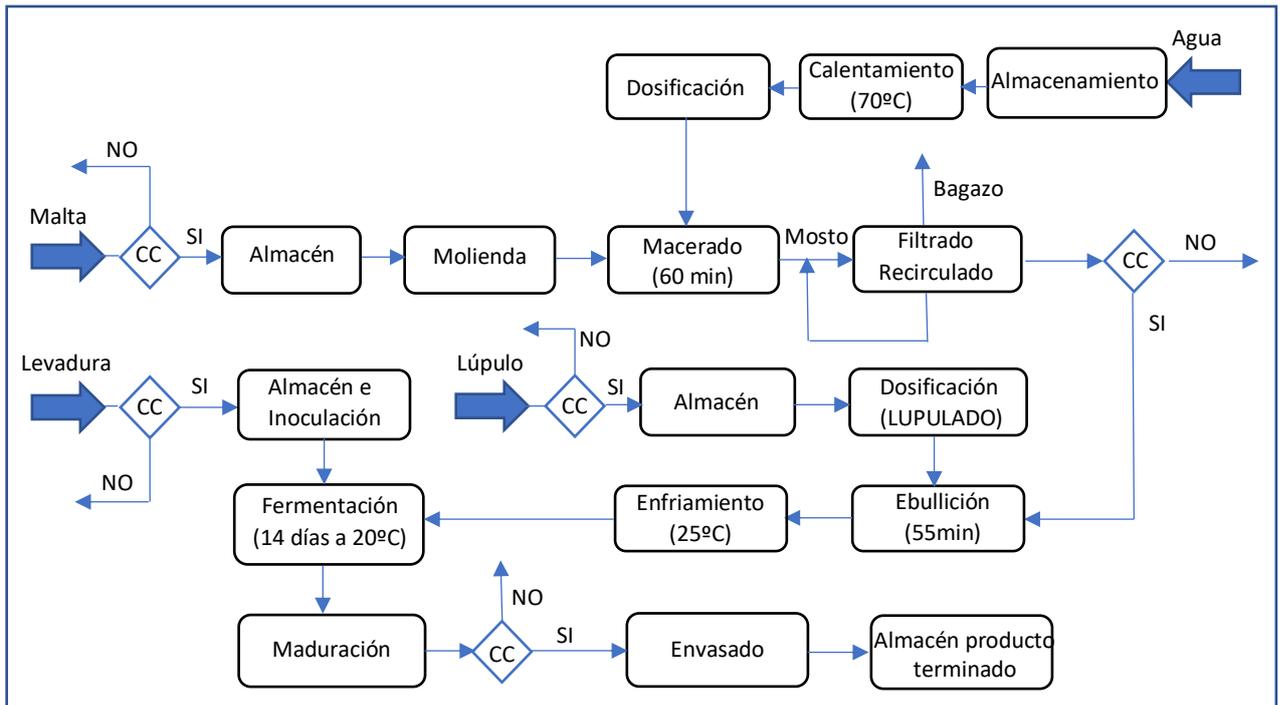


Figura 8: Diagrama de bloques del proceso productivo

A continuación, se representan los distintos equipos y zonas esquematizadas mediante la distribución en planta de la instalación.

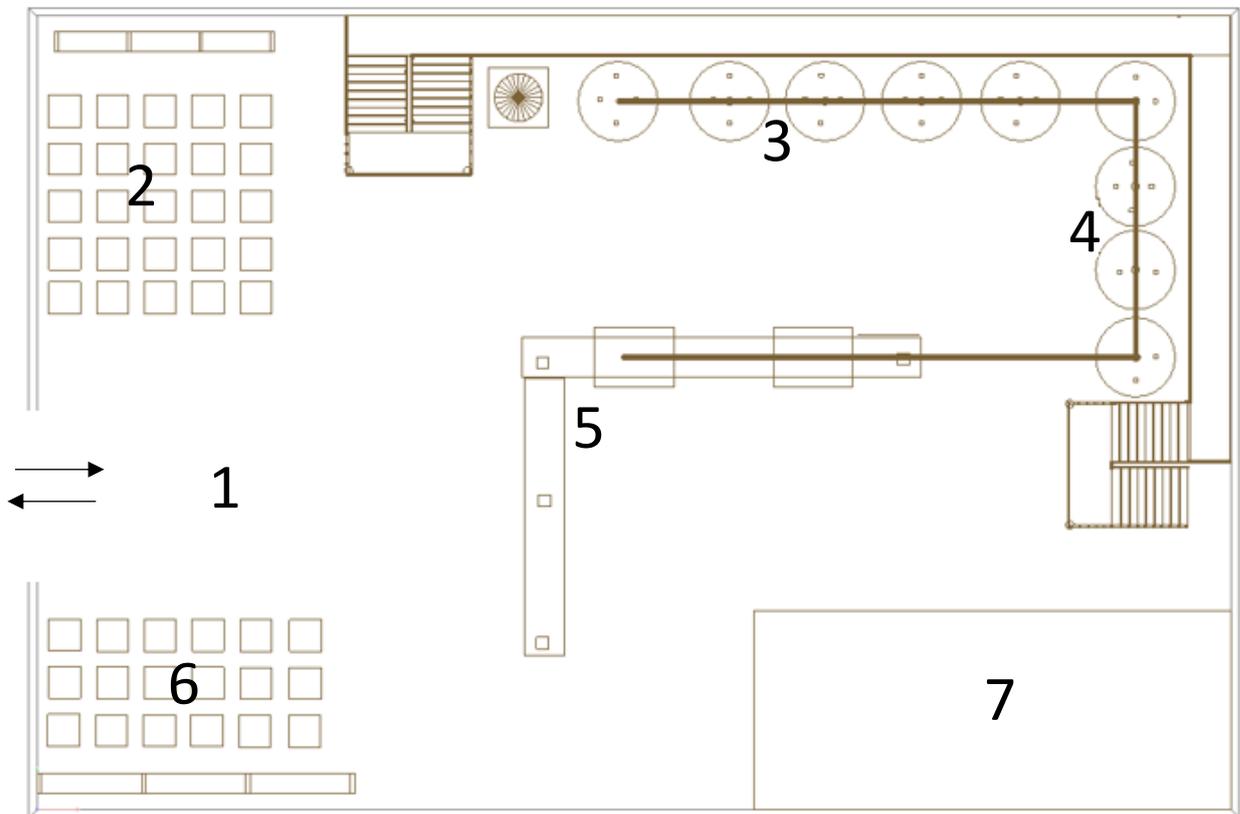


Figura 9: Distribución en planta de cada zona de trabajo

COMPONENTES DEL SISTEMA PRODUCTIVO			
1	Carga y descarga / expedición	5	Envasado
2	Almacén materia prima	6	Almacén producto terminado
3	Zona de operaciones	7	Oficinas/control de calidad
4	Fermentación		

Figura 10: Distribución en planta del proceso productivo

5. ILUMINACION

La iluminación en los puestos de trabajo debe proporcionar a los operarios unas condiciones de visibilidad adecuadas para llevar a cabo sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud. El confort visual se obtiene cuando se dispone de una buena visión y rápida diferenciación de la maquinaria o elemento de trabajo con una mínima fatiga visual, disminuyendo el cansancio tanto físico como psicológico.

A su vez, cada actividad precisa de unos niveles de iluminación, en función de diferentes aspectos como el tamaño del objeto, la distancia entre el objeto y el ojo del trabajador o el tiempo empleado en la observación.

En septiembre de 2002 se acepta la redacción de la norma UNE 12464-1 relativa a la “iluminación de los lugares de trabajo en interior” donde se recomienda el cumplimiento tanto del confort visual como del rendimiento de colores. Esta nueva norma implica la retirada de todas aquellas normas nacionales que pudieran entrar en conflicto con esta.

La iluminación se puede definir como la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su extensión y se mide en luxes (lúmenes/m²)

5.1. Tipos de iluminación

Existen dos tipos básicos de iluminación:

- Iluminación natural: Es la iluminación procedente de la luz diurna.
- Iluminación artificial: Es aquella suministrada por fuentes luminosas artificiales.
- Iluminación mixta: Es la combinación de iluminación natural y artificial en diferentes proporciones

A su vez en función de cómo se reparte la iluminación podemos tener tanto iluminación general si la luz es repartida uniformemente por toda la superficie de trabajo la nave como

iluminación localizada cuando hay carencias de iluminación en ciertas zonas al aplicar iluminación general.

5.1.1. Iluminación natural

La iluminación natural es aquella que se obtiene a través de la luz diurna y presenta ciertas ventajas frente a la iluminación artificial. Entre estas ventajas encontramos una mejor diferenciación de los colores y definición de estos a la perfección, un mayor ahorro económico y energético y que produce una menor fatiga visual.

La luz diurna que es capaz de entrar en un local mediante las diferentes aberturas realizadas tiene diferentes orígenes:

- Radiación directa

La radiación directa es aquella que proviene directamente de la bóveda celeste. La luz directa varía a lo largo del año debido por una parte al movimiento de translación de la tierra que provoca un cambio en la posición del sol respecto a la nave industrial. Esto hace que la luz incida con ángulos diferentes en función de la época del año y, por otra parte, al movimiento de rotación de la tierra, lo que provoca la sucesión del día y la noche, variando la iluminación a lo largo del día.

- Radiación difusa

La luz difusa es aquella que se produce al atravesar obstáculos o edificios situados en el exterior

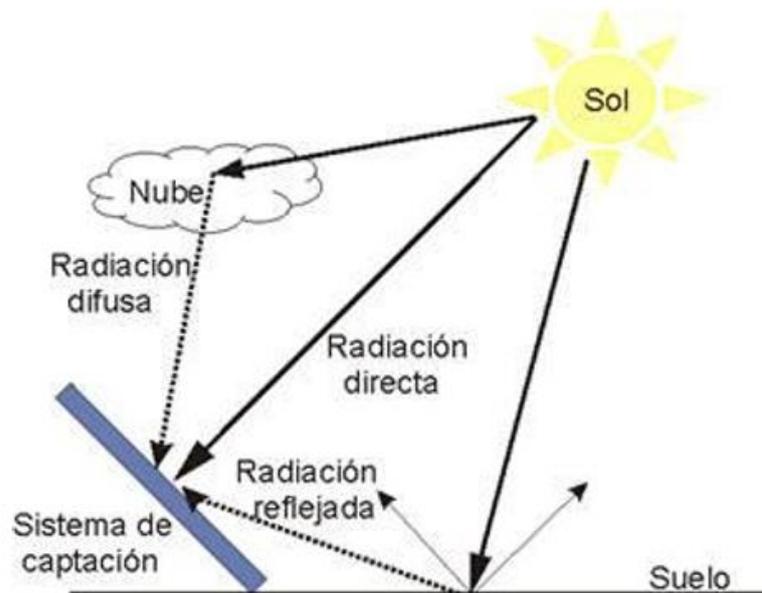


Figura 11: Diferentes tipos de radiación a través de la bóveda celeste

Los diferentes tipos de iluminación natural se pueden clasificar en cinco tipos principales, los cuales se muestran en la siguiente imagen:

Ventanales laterales



Lucernarios tendidos
(ventanales en
cubierta)



Dientes de sierra



Linternas



Atrios



Figura 12: Diferentes sistemas de iluminación natural

En este caso, se va a diseñar el sistema de iluminación de la nave industrial mediante el uso de lucernarios y ventanales laterales, ya sea solos o combinando ambos.

En conclusión, siempre que sea posible los puestos de trabajo dispondrán de un sistema de iluminación natural. Estos sistemas presentan limitaciones cuando los procesos productivos requieren niveles de iluminación elevados y gran uniformidad en la distribución.

Por tanto, en caso de un defecto de iluminación es preciso incorporar el uso combinado junto con iluminación artificial preferentemente general, y en caso de necesitar mayor iluminación en alguna zona específica, será necesaria la incorporación de iluminación artificial localizada.

5.2. Hipótesis y parámetros seleccionados

En primer lugar, se realizan las hipótesis necesarias para obtener las condiciones más próximas a la realidad y así poder tener un valor aproximado de la superficie de ventanales laterales o lucernarios a utilizar y que sirva de referencia para empezar a realizar los cálculos y simulaciones.

- Características de la nave

Se introducen diferentes parámetros en el programa DIALUX para poder realizar las simulaciones lo más ajustadas a la realidad posible.

Se introducen en primer lugar las dimensiones del local a iluminar:

- Longitud: 30 metros
- Anchura: 20 metros
- Altura: 8 metros

En este caso las simulaciones se van a realizar suponiendo que la cubierta es totalmente plana, aunque realmente tenemos una ligera pendiente de 7 grados y con una orientación de 0º hacia el norte.

En segundo lugar, se introduce el factor de degradación de la nave, el cual consideramos con un valor de 0,8.

A continuación, introducimos el grado de reflexión de suelo, techo y paredes, que depende del material utilizado para realizar dichas superficies. En nuestro caso, la losa de la solera es de hormigón, mientras que las paredes y el techo se realizan de acero.

Tabla 1: Grados de reflexión de las superficies de la nave

Paredes	Techo	Suelo
70%	66%	27%

En este caso la losa de la solera es de hormigón, mientras que las paredes y el techo se realizan de acero.

El último parámetro a añadir es la altura del plano de luz, es decir, donde van a medirse la iluminación resultante. En este caso se elige una altura de 0,85 m correspondiente a la altura donde una persona realiza las tareas.

- Características de los lucernarios

Tanto los lucernarios como las ventanas están realizados de policarbonato celular, material con el que se obtienen unos lucernarios que permiten que la luz no incida directamente, consiguiendo una iluminación más generalizada y uniforme en toda la nave, uno de los

aspectos claves a analizar posteriormente. Con esto se consiguen bajos grados de transmisión y transparencia.

El factor de contaminación corresponde a una zona industrial de alta contaminación.

Las características y parámetros seleccionados para los lucernarios se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2: Características de las aberturas

Grado de transmisión	Factor de división con travesaños	Factor de contaminación	Grado de reflexión	Grado de transparencia
45%	0,9	0,5	10%	45%

5.3. Método analítico

Existen diferentes métodos aproximados con el objetivo de determinar la superficie necesaria de ventanales y/o lucernarios necesaria para alcanzar cierto nivel de iluminación interior en el plano de trabajo seleccionado. Uno de ellos es el método analítico.

Para ello utilizamos la siguiente expresión:

$$E_{int} = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

- E_{int} hace referencia a la iluminación media obtenida a la altura del plano de luz o de trabajo.
- E_a corresponde al nivel de iluminación exterior horizontal.
- f es el factor de ventanas
- f' es el factor característico de reducción ventana
- η es rendimiento del recinto.
- S_v es la superficie de los ventanales o lucernarios.
- S_s es la superficie de suelo del recinto a iluminar sin compartimentar.

5.3.1. Iluminación media interior

Vamos a obtener en primer lugar la iluminación media requerida en la nave en función de la iluminación necesaria en cada zona de trabajo y su superficie según la siguiente expresión:

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i \times S_i}{\sum S_i} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- E_i : iluminación requerida para la zona estudiada
- S_i : Superficie ocupada por la zona estudiada

Para obtener la iluminación requerida en cada zona consultamos la normativa europea de iluminación interior UNE 12464 y obtenemos los siguientes datos:

Tabla 3: Superficies e iluminación requerida

ACTIVIDAD	ILUMINACIÓN MEDIA REQUERIDA (LUX)	SUPERFICIE (M ²)
Almacenamiento	200	101
Zonas de operaciones	200	91
fermentación	150	50
Zona expedición	300	56
Envasado	300	43
Pasillos y otras zonas	100	199

Con todo esto, procedemos al cálculo siguiendo la ecuación (2) obteniéndose una iluminación media interior de 176,85 lux.

5.3.2. Nivel de iluminación exterior

El nivel de iluminación exterior depende de la zona geográfica donde se encuentra ubicada la nave industrial, es decir, de su latitud.

Pese a ello, el método analítico fija un nivel de iluminación exterior horizontal mínimo, correspondiente a 3000 lux, para realizar el diseño en las condiciones más desfavorables posibles, asegurándose que, si cumple en estas condiciones va a cumplir en cualquier otras.

5.3.3. Factor de ventanas

El factor de ventanas (f) es un parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana en función de su disposición en la edificación. Se determina a través de la expresión:

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad \text{Ecuación (3)}$$

El ángulo alfa varía en función del tipo de ventana a utilizar como puede apreciarse en la siguiente imagen:

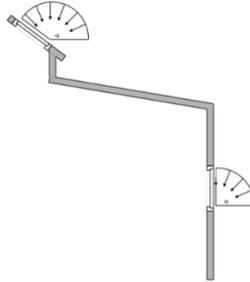


Figura 13: Ángulos de las aberturas

- Lucernarios

El factor de ventanas en los lucernarios depende del grado de inclinación de la cubierta. En nuestro caso la pendiente de la cubierta es de 7 grados, por tanto, utilizando la ecuación (3) tenemos que:

$$f = \frac{180-7}{180} = 0,96$$

- Ventanas

El factor de ventanas en este caso es el mismo ya que el ángulo que forman siempre es de 90°. Según la ecuación (3) obtenemos el siguiente valor:

$$f = \frac{90}{180} = 0.5$$

5.3.4. Parámetros restantes

El factor característico de reducción ventana-muro es un parámetro que mide la posible reducción del paso de la radiación solar teniendo en cuenta el grosor del cerramiento de fachada. En el caso de las naves industriales se considera que este parámetro vale 1.

Por otra parte, el rendimiento del recinto se basa en el hecho de que solamente una parte de la iluminación que entra por la ventana cae sobre el plano de trabajo. El resto incide sobre otras superficies que, a su vez, reflejan, en cierta medida sobre el plano de trabajo. En recintos rectangulares se suelen tomar valores en torno al 40-50%. En este caso, se ha tomado un valor de 0,4.

- Cálculo de la superficie

Una vez se han obtenido todos los valores requeridos, ya se puede calcular la superficie aproximada necesaria de lucernarios o de ventanas, para poder realizar las simulaciones utilizando para ello la ecuación (1)

$$S_{\text{lucernarios}} = \frac{176,85 \cdot 540}{3000 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 0,4} = 82,9 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventanas}} = \frac{176,85 \cdot 540}{3000 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,4} = 159,17 \text{ m}^2$$

5.4. Requisitos

La iluminación de la nave y, por tanto, de los puestos de trabajo, debe cumplir una serie de requisitos para adaptar las condiciones de visibilidad de las operaciones que se realizan en cada zona para que los trabajadores desarrollen las actividades sin riesgo para su seguridad y salud y, a su vez, optimizar las condiciones de dichos puestos con el objetivo de evitar posibles fatigas visuales y desgaste físico por parte de los operarios. Dichos requisitos son los siguientes:

5.4.1. Iluminación interior media

La iluminación interior debe alcanzar el valor requerido calculado anteriormente para asegurar una correcta visibilidad de los puestos de trabajo.

Como cada zona requiere unos niveles de iluminación, se ha configurado la planta mediante diferentes superficies de cálculo y de trabajo, dividiéndola en 4 zonas y así poder obtener unos resultados más realistas.

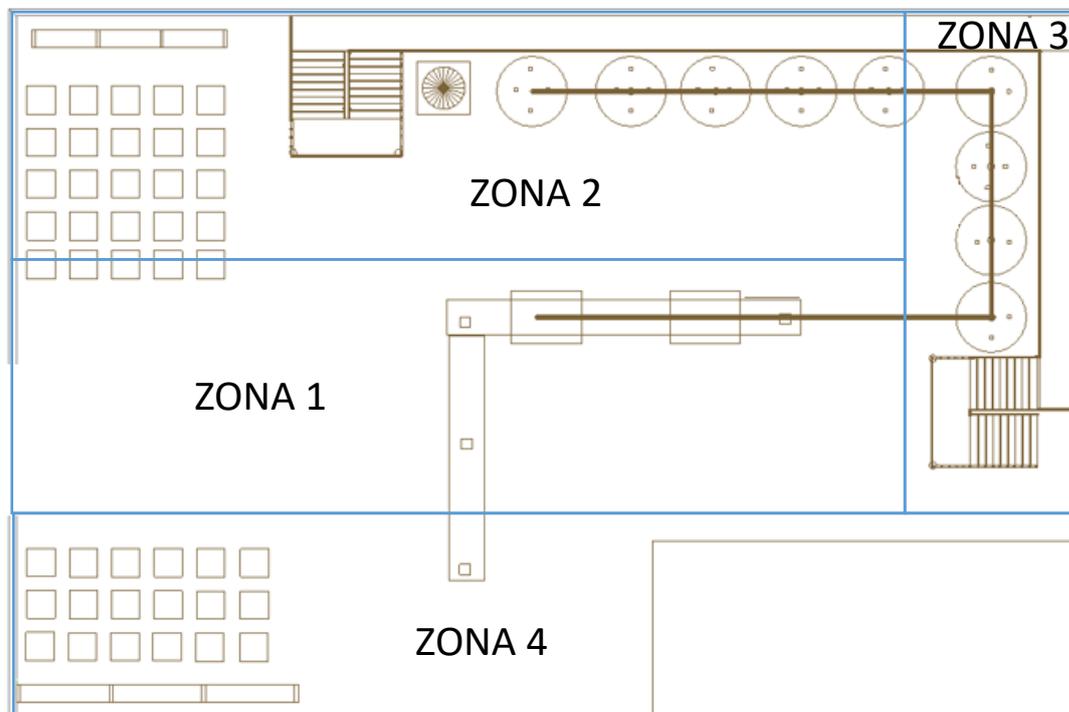


Figura 14: Distribución de las diferentes zonas para analizar la iluminación media

ZONA	ACTIVIDAD	ILUMINACIÓN MEDIA REQUERIDA (LUX)
1	Expedición y envasado	300
2	Almacenamiento, zona de operaciones y pasillos	200
3	Fermentación	150
4	Almacenamiento y pasillos	200

Figura 15: Requerimientos de iluminación en cada zona de la planta

5.4.2. Uniformidad

La distribución de los niveles de iluminación debe ser lo más uniforme posible para evitar posibles sombras, deslumbramientos o contrastes en la iluminación que dificulten las tareas de los trabajadores, poniendo en riesgo su seguridad y salud. Para valorar la uniformidad de la planta se relaciona la iluminación máxima y la mínima (E_{min}/E_{max}), así como la iluminación mínima y media (E_{min}/E_m), con el objetivo de obtener un valor lo más próximo posible a la unidad.

En este caso, la planta dispone de diferentes depósitos y una pasarela para controlar las operaciones y los diferentes parámetros. Esto supone un problema ya que, como la iluminación esta medida a una altura de 85 cm correspondiente al plano de trabajo, esto implica valores muy bajos de luminosidad en la zona posterior de los depósitos y bajo la pasarela y escaleras de acceso, disminuyendo drásticamente los valores de uniformidad.

Esto se puede observar en la siguiente imagen que representa la gama de grises de una de las propuestas analizadas posteriormente.

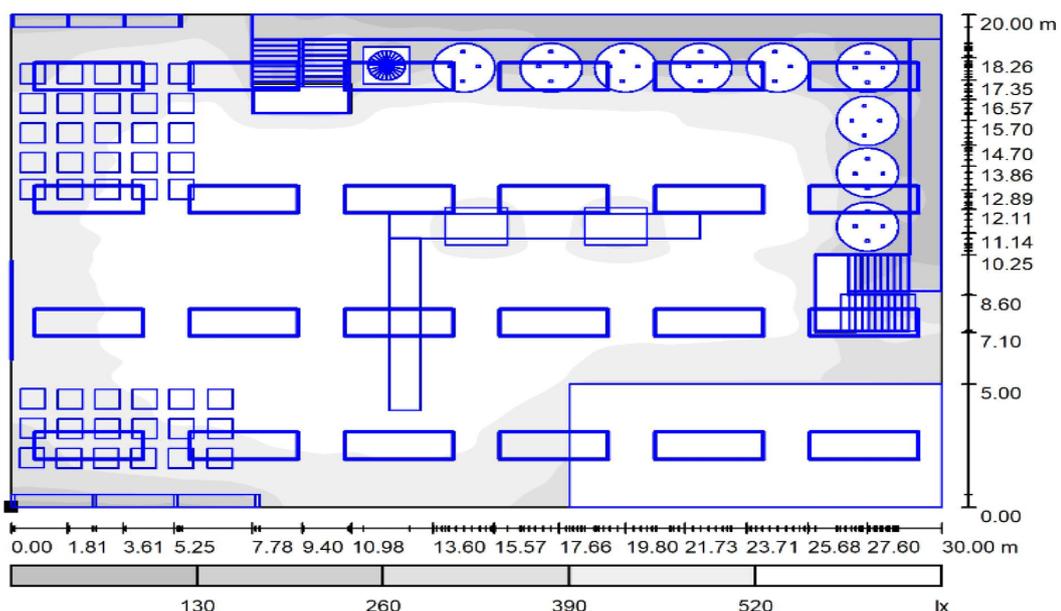


Figura 16: Gama de grises de una simulación mediante DIALux.

Como puede observarse, en la zona mencionada se presentan problemas de iluminación a la altura del plano de trabajo.

Para solucionar estos problemas, se han creado diferentes superficies de cálculo en las diferentes escaleras y pasarelas, a la altura correspondiente donde van a efectuar las tareas los operarios. Esto se muestra en las siguientes imágenes.

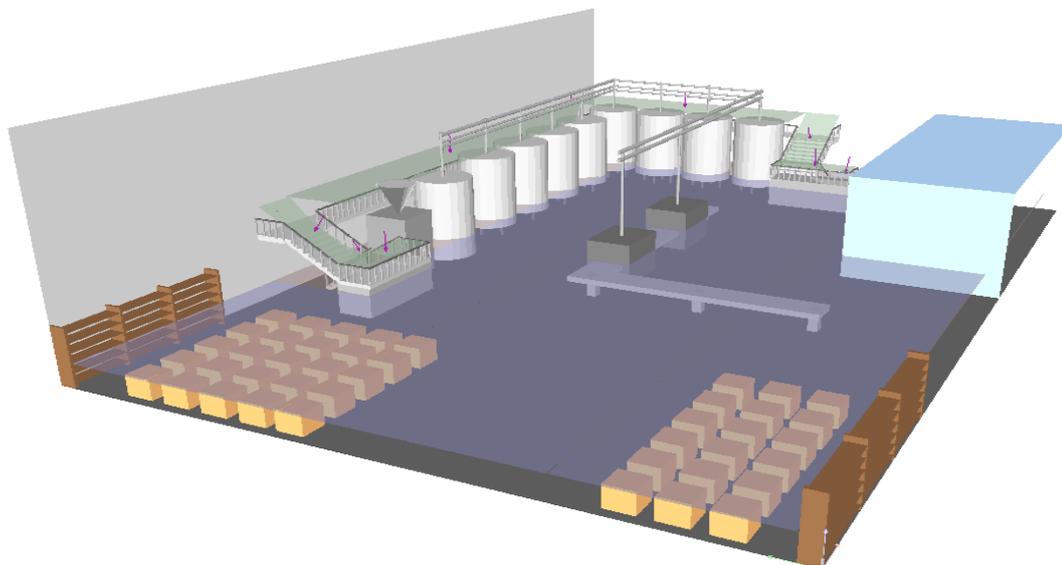


Figura 17: Superficies de cálculo y superficies de trabajo

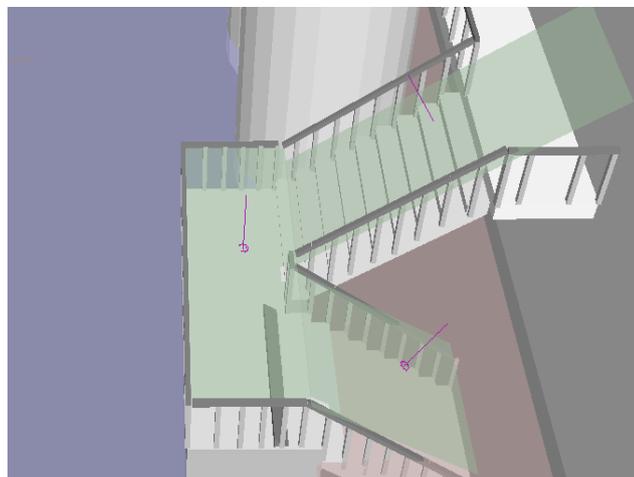


Figura 18: Superficie de cálculo de las escaleras

5.4.3. Evitar deslumbramientos

Los deslumbramientos se producen cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la del ambiente, provocando dificultades para realizar las tareas correspondientes y suponiendo un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.

Existen dos tipos de deslumbramientos:

- Deslumbramiento directo cuando la fuente de luz incide directamente al observador.
- Deslumbramiento indirecto cuando se produce un reflejo en algún objeto o componente de la nave industrial.

Generalmente estos deslumbramientos suelen producirse con la presencia de ventanales laterales, ya que el ángulo de incidencia de la luz es mucho mejor que con lucernarios.

Cabe decir que no existe un método unificado para comprobar los deslumbramientos. Por tanto, en general se acepta que no existe riesgo de deslumbramiento con un ángulo de incidencia de la luz de más de 30°.

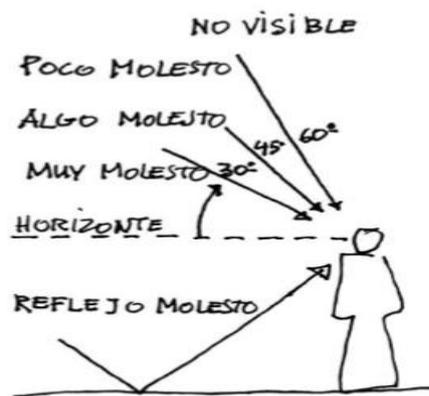


Figura 19: Situaciones donde pueden producirse deslumbramientos molestos

Por otra parte, el policarbonato celular utilizado para la construcción de los lucernarios atenúa mucho la luz ya que posee un grado de transmisión del 45%. Pese a ello, se va a intentar evitar la incorporación de ventanales laterales que, sumado a la presencia de la pasarela de trabajo, podría crear problemas de deslumbramientos.

5.5. Propuestas de iluminación y simulaciones

Una vez se han obtenido los datos anteriores y teniendo en cuenta los requisitos a cumplir se procede a realizar las simulaciones de las diferentes propuestas sugeridas en dos escenarios de luz diurna diferentes. En primer lugar, se realizará una simulación en las condiciones más desfavorables posibles, es decir, de menos luz, y a continuación en las más favorables y, por tanto, de más luz.

Cabe decir que, en las condiciones más desfavorables correspondientes al 21 de diciembre a las 9:00 pm la iluminación no llega a los mínimos requeridos, por tanto, las condiciones más desfavorables van a ser simuladas a las 12:00 pm, donde los mínimos realizando un diseño óptimo ya se alcanzan.

Las escenas de luz simuladas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4: Escenas de luz a representar

Escena de luz 1	21 de diciembre 12:00 pm
Escena de luz 2	23 de junio 14:00 pm

Los resultados se expresan en Lux y una vez obtenidos valoraremos la intensidad luminosa media obtenida en los diferentes escenarios, así como la uniformidad y la posibilidad de deslumbramientos, sabiendo que, si esto se cumple en las condiciones más desfavorables, lo hará seguro en las más favorables, siempre y cuando no se exceda del límite u, obtengamos un valor muy superior a lo requerido en la planta.

Para ello se van a estudiar 4 propuestas mediante un sistema de iluminación cenital, es decir, mediante lucernarios ubicados en la cubierta de la nave, y una propuesta combinando iluminación cenital y ventanas donde, se van a exponer en primer lugar, los resultados genéricos en el plano útil de trabajo, y a continuación los resultados por zonas y utilizando las superficies de trabajo y de cálculo creadas que se han mencionado anteriormente.

Para facilitar la comprensión de los resultados, se han sombreado los valores obtenidos con el siguiente criterio:

	Satisfactorio
	Regular
	Deficiente

Figura 20: Criterio seleccionado para calificar los valores obtenidos

5.5.1. Propuesta 1

En primer lugar, se propone una distribución mediante lucernarios discontinuos con las siguientes características:

Tabla 5: Características de los lucernarios de la primera propuesta

Número	Anchura (m)	longitud (m)	Superficie total (m ²)
24	1,1	3,5	92,4

Con esta primera distribución se pretende buscar una mayor uniformidad en todas las zonas. Este aspecto puede afectar negativamente a la iluminación media requerida en la zona 1, la que requiere mayor iluminación

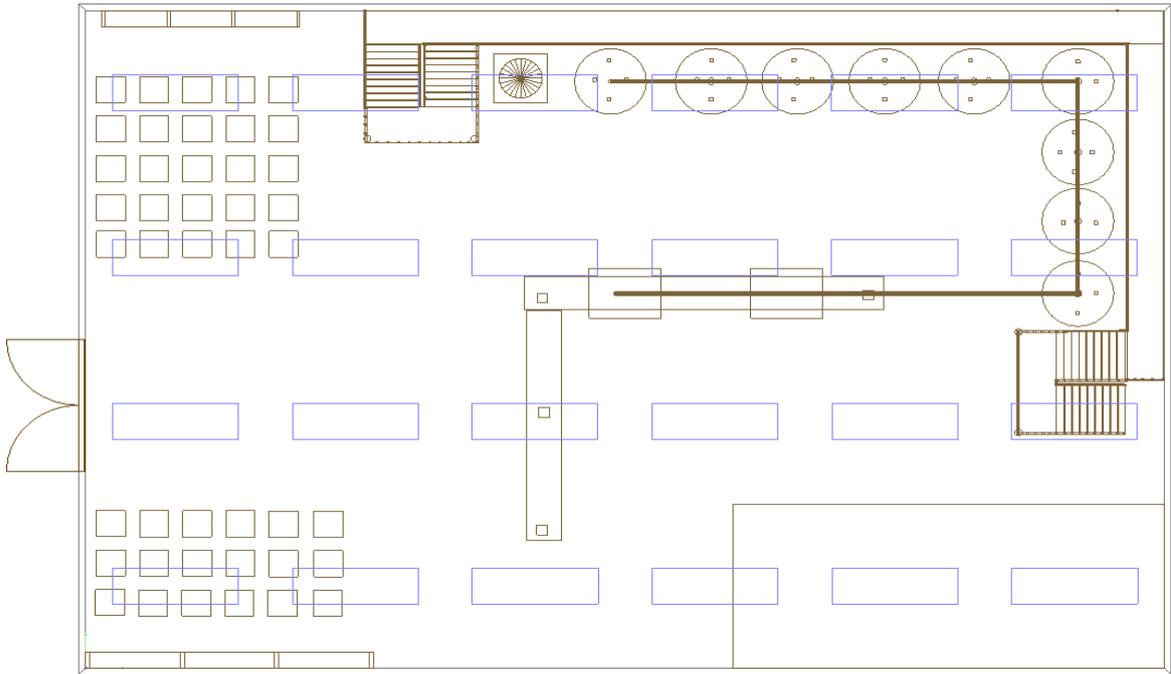


Figura 21: Distribución de los lucernarios de la propuesta 1



Figura 22: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 1

- Resultados

Los resultados obtenidos de la primera propuesta tras las simulaciones están resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 6: Resumen de los resultados de la primera propuesta

Fecha	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}
21 dic 12:00 pm	176,85	229	294	87
23 jun 14:00 pm		500	642	190

Tabla 7: Resultados zonales de la propuesta 1

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
21 dic 12:00 pm	1	300	261	294	192	0,736	0,653
	2	200	215	284	87	0,405	0,306
	3	150	216	280	93	0,43	0,332
	4	200	223	281	127	0,568	0,45
23 jun 14:00 pm	1	300	570	642	419	0,736	0,653
	2	200	470	621	190	0,405	0,306
	3	150	473	613	203	0,43	0,332
	4	200	487	615	277	0,568	0,45

- Análisis de los resultados

Una vez se han obtenido los resultados se comprueba en primer lugar que la iluminación media interior se cumple en todas las zonas salvo en la zona 1 en las condiciones de invierno, ya que esta zona requiere una mayor iluminación y al estar distribuidos todos los lucernarios homogéneamente, la primera zona requiere de mayor tiempo para alcanzar la iluminación deseada de 300 lux.

En verano, los valores tampoco se exceden mucho de los límites, permitiendo unas condiciones óptimas de trabajo.

Por otra parte, con esta propuesta todas las zonas presentan buenos valores de uniformidad, siendo el mínimo de un 40,5% en la zona 2 y llegando a alcanzar un máximo de 73,6% en la zona 1.

5.5.2. Propuesta 2

Con esta segunda distribución se pretende alcanzar antes la iluminación requerida en la zona 1, manteniendo los valores requeridos en el resto de las zonas e intentando mantener buenos valores de uniformidad.

Consiste en lucernarios discontinuos con las siguientes características:

Tabla 8: Características de los lucernarios de la segunda propuesta

Número	Anchura (m)	longitud (m)	Superficie total (m ²)
12	0,9	8,5	91,8

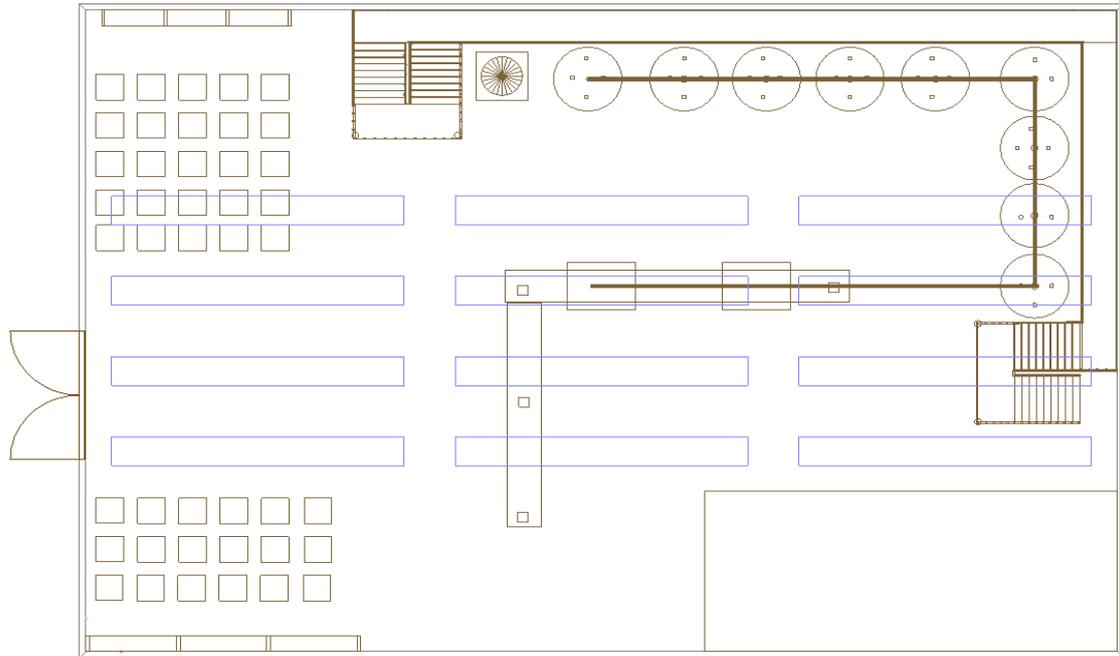


Figura 23: Distribución de los lucernarios de la propuesta 2

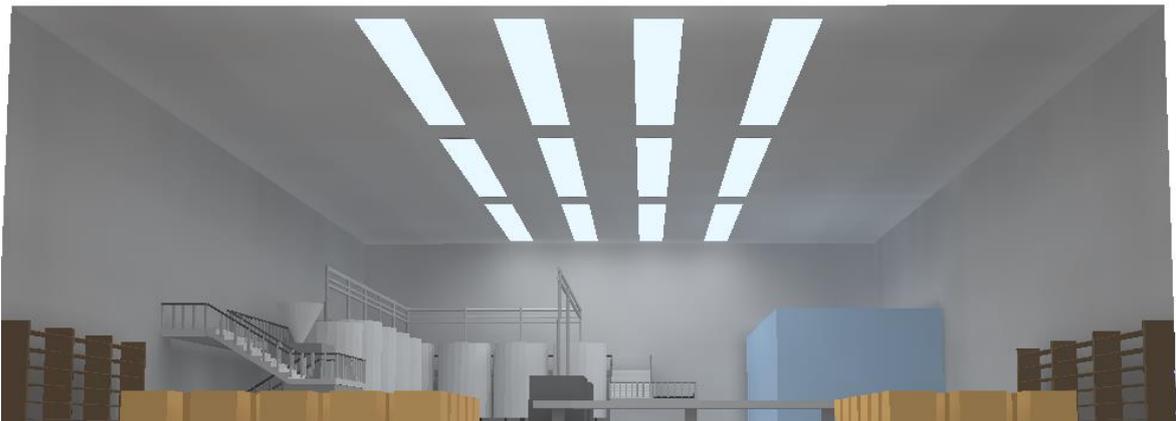


Figura 24: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 2

- Resultados

Los resultados obtenidos de la segunda propuesta tras las simulaciones están resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 9: Resumen de los resultados de la segunda propuesta

Fecha	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}
21 dic 12:00 pm	176,85	240	413	54
23 jun 14:00 pm		526	903	119

Tabla 10: Resultados zonales de la propuesta 2

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
21 dic 12:00 pm	1	300	343	401	213	0,621	0,532
	2	200	157	351	54	0,344	0,154
	3	150	252	413	66	0,262	0,159
	4	200	210	330	90	0,430	0,273
23 jun 14:00 pm	1	300	751	877	466	0,621	0,532
	2	200	343	767	119	0,347	0,155
	3	150	551	903	143	0,260	0,159
	4	200	459	722	197	0,430	0,273

- Análisis de los resultados

En esta segunda propuesta no se ha conseguido el objetivo propuesto.

Por una parte, si se ha alcanzado la iluminación media requerida en la zona 1 pero, por el contrario, la segunda zona no alcanza la iluminación media requerida.

Además, los valores de uniformidad han descendido bastante respecto a la anterior propuesta, ya que la zona 3 está por debajo del 30%.

5.5.3. Propuesta 3

Con esta propuesta se pretende analizar la incorporación de lucernarios continuos y de ventanas laterales que permitan una mayor iluminación en las zonas centrales, sin que se reduzca de manera muy drástica la uniformidad.

Consiste en 4 lucernarios continuos y 4 ventanales discontinuos con una superficie total de 106,4 m² con las siguientes características:

Tabla 11: Características de los lucernarios de la tercera propuesta

Número	Anchura (m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
4	0,8	25	80

Tabla 12: Características de las ventanas de la tercera propuesta

Número	Altura (m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
4	1,2	5,5	26,4

Con esta propuesta se pretende analizar la incorporación de lucernarios continuos y de ventanas laterales que permitan una mayor iluminación en las zonas centrales, sin que se reduzca de manera muy drástica la uniformidad.

Por otra parte, se va a analizar la posibilidad de deslumbramientos en ciertas zonas de la planta, ya que mediante ventanales laterales aumenta la posibilidad de que se produzca este fenómeno.

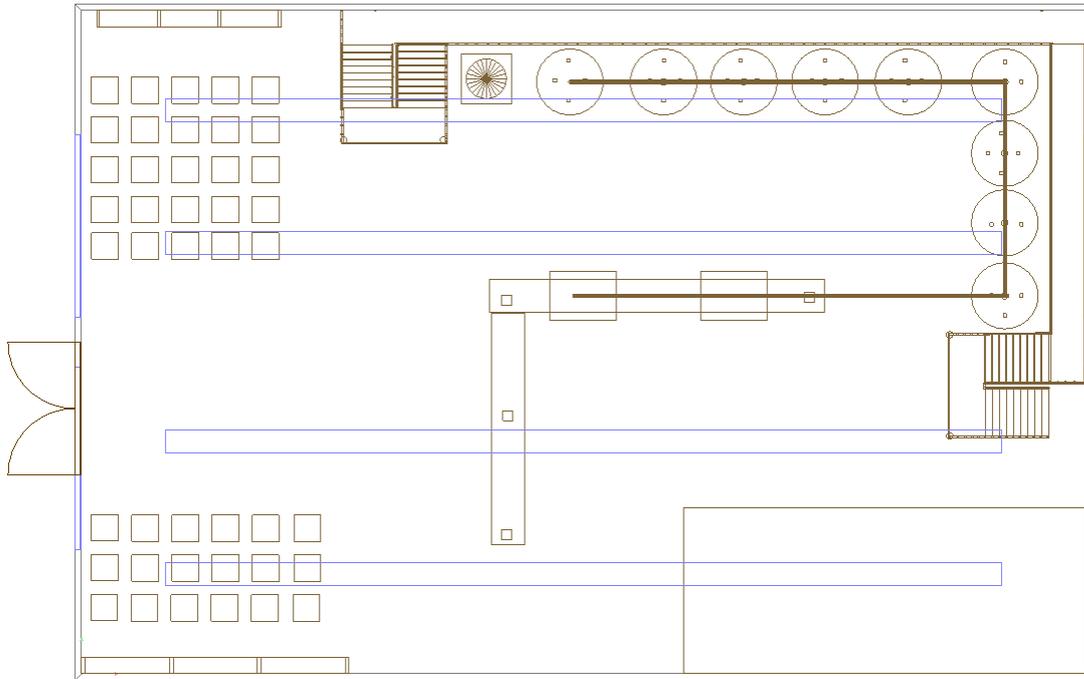


Figura 25: Distribución de los lucernarios de la propuesta 3

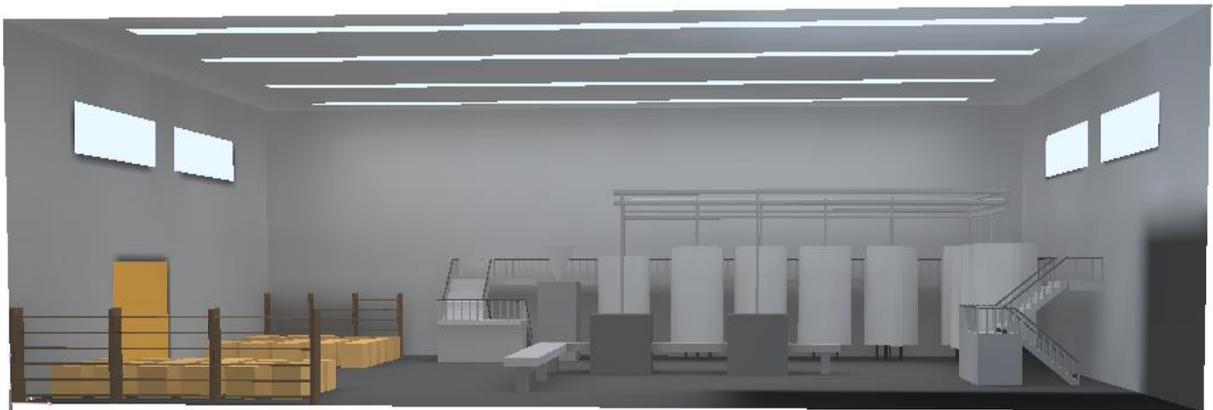


Figura 26: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 3

- Resultados

Los resultados obtenidos de la cuarta propuesta tras las simulaciones están resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 13: Resumen de los resultados de la tercera propuesta

Fecha	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}
21 dic 12:00 pm	176,85	209	300	94
23 jun 14:00 pm		459	656	205

Tabla 14: Resultados zonales de la propuesta 3

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
21 dic 12:00 pm	1	300	236	282	136	0,574	0,481
	2	200	214	300	95	0,444	0,317
	3	150	175	254	96	0,549	0,38
	4	200	213	278	94	0,441	0,338
23 jun 14:00 pm	1	300	516	616	297	0,576	0,482
	2	200	469	656	208	0,443	0,317
	3	150	384	556	210	0,547	0,378
	4	200	465	608	205	0,441	0,337

- Análisis de los resultados

En esta tercera propuesta no se consiguen los objetivos propuestos, ya que existe una iluminación deficiente en la zona 1 en las condiciones de invierno, muy por debajo de lo esperado, pese a que la uniformidad es muy buena en todas las zonas.

Además, se necesita emplear mayor superficie de lucernarios y ventanas, por lo que la inversión necesaria para realizar la instalación del sistema de iluminación natural sería mucho más elevada, dificultando que dicha inversión sea rentable a largo plazo.

En segundo lugar, existe otro punto negativo, los deslumbramientos. Al instalar ventanas laterales, existe mucho mayor riesgo de deslumbramientos dificultando las tareas de los trabajadores y poniendo en riesgo su salud y seguridad, sobre todo en la zona de la pasarela por estar a mayor altura.

5.5.4. Propuesta 4

Con este cuarto modelo se pretende mejorar los puntos débiles de las dos primeras propuestas, ya que de nuevo se utilizan únicamente lucernarios.

Consiste en lucernarios discontinuos con las siguientes características:

Tabla 15: Características de los lucernarios de la cuarta propuesta

Número	Anchura (m)	Longitud (m)	Superficie total (m ²)
24	3	1,3	93,6

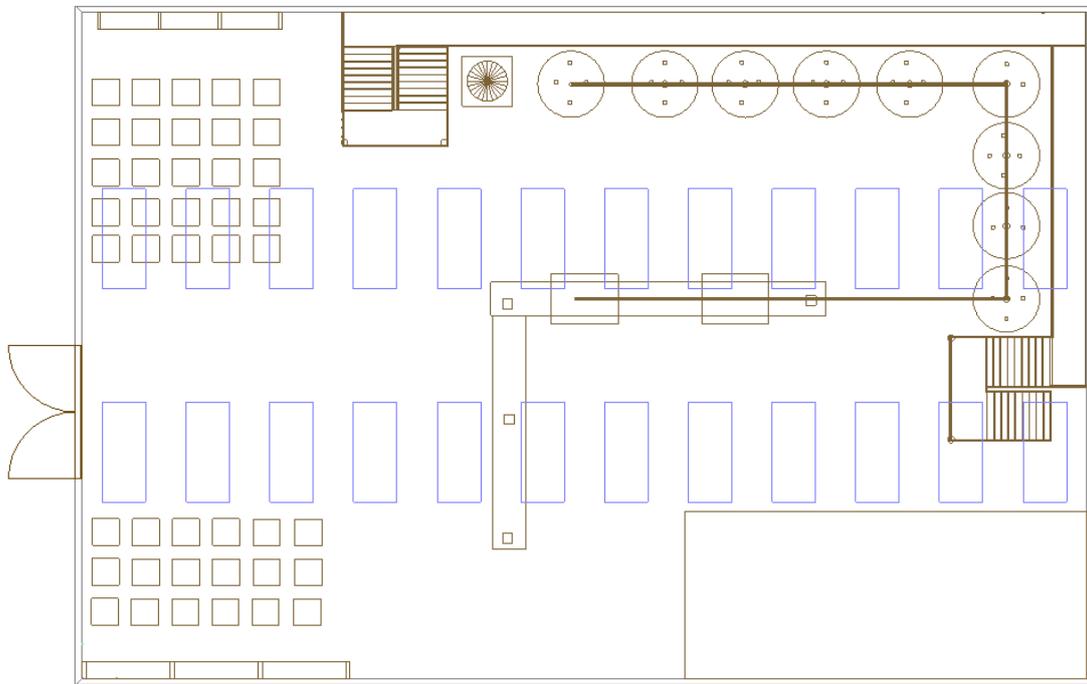


Figura 27: Distribución de los lucernarios de la propuesta 4



Figura 28: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 4

- Resultados

Los resultados obtenidos de la cuarta propuesta tras las simulaciones están resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 16: Resumen de los resultados de la cuarta propuesta

Fecha	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}
21 dic 12:00 pm	176,85	239	358	64
23 jun 14:00 pm		522	784	139

Tabla 17: Resultados zonales de la propuesta 4

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
21 dic 12:00 pm	1	300	321	358	220	0,686	0,615
	2	200	177	344	64	0,362	0,186
	3	150	231	345	82	0,354	0,237
	4	200	226	339	99	0,439	0,292
23 jun 14:00 pm	1	300	703	784	482	0,686	0,615
	2	200	386	752	139	0,361	0,185
	3	150	506	754	180	0,356	0,238
	4	200	494	742	217	0,439	0,292

- Análisis de los resultados

Con este modelo, aunque se consigue mejorar la uniformidad de la segunda propuesta, sigue habiendo una iluminación más baja de la requerida en la zona 2 en las condiciones más desfavorables, por lo que es necesario buscar una nueva propuesta que optimice mejor todos los valores.

5.5.5. Propuesta 5

Con este quinto modelo se pretende obtener una solución óptima que tenga una buena uniformidad y que cumpla los requisitos de iluminación media en todas las zonas en las condiciones más desfavorables, para así evitar la utilización temprana de iluminación artificial.

Consiste en lucernarios discontinuos con las siguientes características:

Tabla 18: Características de los lucernarios de la quinta propuesta

Número	Anchura (m)	Longitud (m)	Superficie total (m ²)
24	1,3	3	93,6

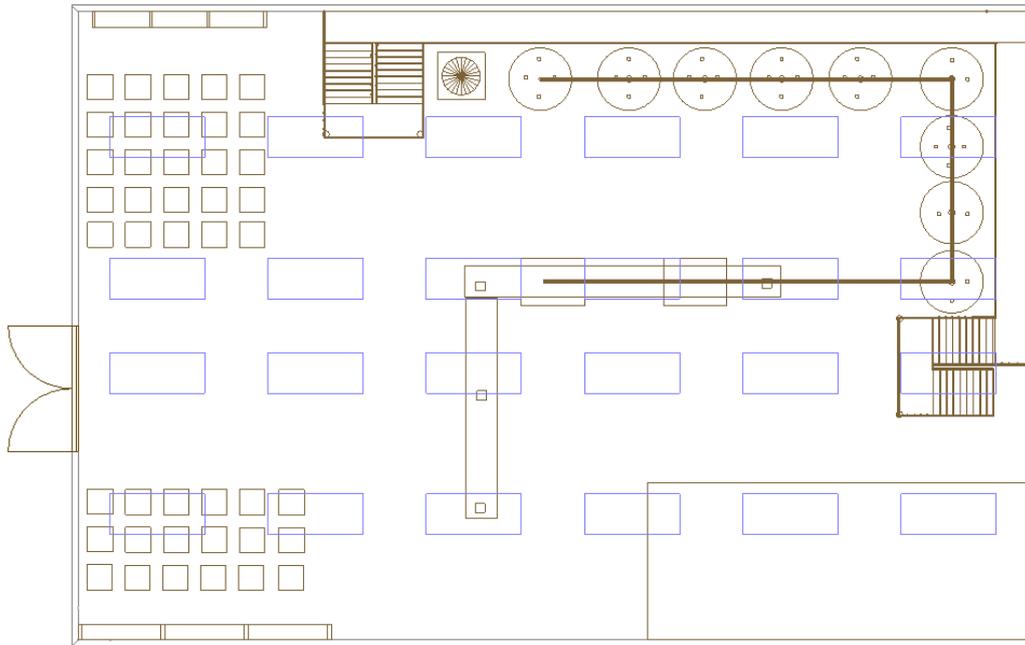


Figura 29: Distribución de los lucernarios de la propuesta 5

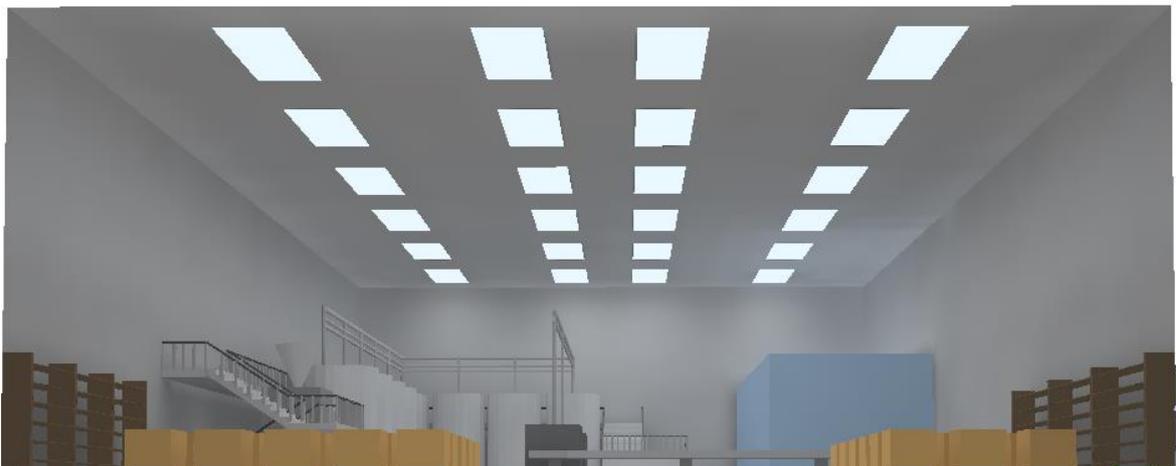


Figura 30: Aspecto de los lucernarios de la propuesta 5

- Resultados

Los resultados obtenidos de la cuarta propuesta tras las simulaciones están resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 19: Resumen de los resultados de la quinta propuesta

Fecha	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}
21 dic 12:00 pm	176,85	238	355	75
23 jun 14:00 pm		520	776	164

Tabla 20: Resultados zonales de la propuesta 5

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}	E_{min}	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
21 dic 12:00 pm	1	300	301	343	196	0,650	0,571
	2	200	195	313	75	0,385	0,240
	3	150	233	355	104	0,446	0,293
	4	200	221	300	113	0,512	0,377
23 jun 14:00 pm	1	300	659	750	428	0,650	0,571
	2	200	427	685	164	0,384	0,239
	3	150	511	776	227	0,445	0,293
	4	200	484	657	248	0,512	0,377

- Análisis de los resultados

En esta propuesta se han conseguido alcanzar todos los objetivos previamente establecidos, salvo una pequeña deficiencia en la iluminación media de la zona 2 en las condiciones de invierno, consiguiéndose también una uniformidad bastante buena ya que ninguna zona baja prácticamente del 40%.

5.6. Propuesta óptima seleccionada

En el transcurso de las simulaciones se ha ido buscando alcanzar una propuesta óptima en función de los resultados que se han ido obteniendo. Una vez analizadas todas las propuestas, tanto la primera como la cuarta propuesta alcanzan resultados bastante satisfactorios.

Se ha optado por la quinta propuesta ya que se ha preferido una distribución de los lucernarios más centrada para alcanzar la iluminación deseada en cada zona de trabajo en las horas más tempranas, principalmente la zona de recepción de materia prima, expedición y envasado, la cual requiere una iluminación de 300 lux.

5.6.1. Análisis de los requisitos de iluminación

En este apartado, se van a analizar los requisitos necesarios para un correcto desarrollo de las actividades en la planta en la propuesta 5 seleccionada.

- Iluminación media requerida

Esta propuesta es la que ha conseguido obtener unos valores más satisfactorios según las necesidades de iluminación en las zonas más críticas en las horas con condiciones más

desfavorables (el 21 de diciembre a las 12:00 a.m.) y así poder prescindir el máximo tiempo posible de la utilización de iluminación artificial. Esto puede observarse en la tabla 17 en las zonas 1 y 2.

Tabla 21: Valores de la iluminación en las condiciones más desfavorables

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)
21 dic 12:00 pm	1	300	301
	2	200	195
	3	150	233
	4	200	221

Por otra parte, en las condiciones de mayor iluminación exterior, se obtienen valores por encima de los deseados, pero en ningún momento fuera de los límites, ya que no se sobrepasan los 800 lux.

En estos casos según la Norme UNE-EN 12464.1 la iluminación máxima establecida en el periodo de verano es de 2000 lux.

Tabla 22: Valores de la iluminación en verano

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)	E_{max}
23 jun 14:00 pm	1	300	659	750
	2	200	427	685
	3	150	511	776
	4	200	484	657

- Uniformidad

Con esta propuesta los valores de uniformidad son algo más bajos en comparación a la primera propuesta. Pese a ello, los valores obtenidos en la quinta propuesta siguen siendo buenos. A continuación, se muestra una comparación entre la propuesta con mejores valores de uniformidad y la propuesta seleccionada, para ver la baja diferencia existente.

Tabla 23: Valores de uniformidad de la propuesta 1

Zona	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
1	0,736	0,653
2	0,405	0,306
3	0,43	0,332
4	0,568	0,45

Tabla 24: Valores de uniformidad de la propuesta seleccionada

Zona	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
1	0,650	0,571
2	0,385	0,240
3	0,446	0,293
4	0,512	0,377

Como puede comprobarse, se consigue una buena uniformidad, sobre todo en la primera zona, alcanzando casi un 70%. Otro aspecto muy importante que considerar es que la relación entre la iluminación máxima y mínima en ningún momento baja de un 24% por lo que las condiciones de trabajo se consideran aptas para un buen desarrollo de sus actividades.

- Deslumbramientos

En la propuesta seleccionada, al no disponer de ventanales laterales, el riesgo de deslumbramiento disminuye drásticamente. Pese a ello, en la pasarela situada en la zona de fermentación puede producirse un pequeño deslumbramiento debido a la mayor altura de la pasarela.

Esto puede observarse en la figura 31 mediante la representación de colores falsos en verano a las 14h. Pese a ello el deslumbramiento sería muy ligero y bastaría con un correcto mantenimiento de los lucernarios para que el policarbonato celular siga manteniendo sus propiedades. Además, se trata de una zona con poca actividad, ya que tiene que únicamente tiene como función realizar alguna inspección visual de los depósitos y ajustar los parámetros que sean necesarios.

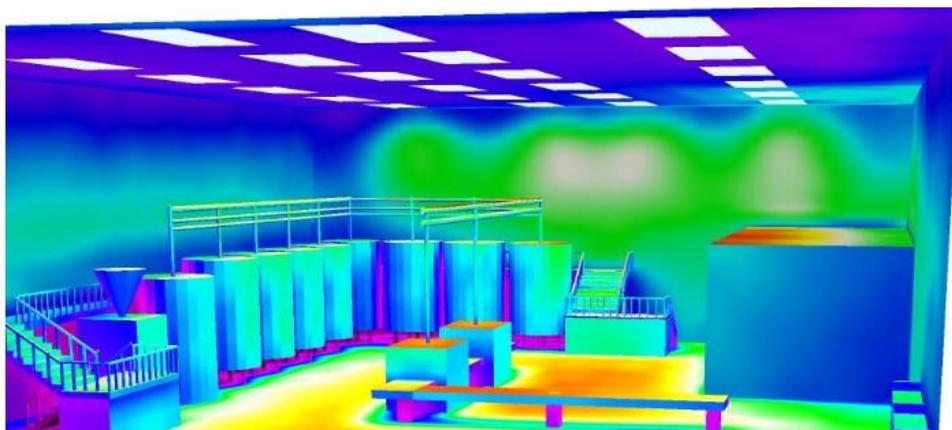


Figura 31: Pequeño deslumbramiento producido en la pared este

Pese a esto, sigue siendo la mejor opción respecto a las otras propuestas, ya que la primera propuesta presenta mayores problemas en este aspecto respecto a la propuesta seleccionada.

5.6.2. Aspecto de la planta industrial

En este apartado se muestra el aspecto que posee la planta de cerveza artesanal a las horas estudiadas, así como el aspecto mediante colores falsos, para comprobar la diferencia existente de iluminación entre las condiciones más desfavorables y las más favorables.

- 21 de diciembre a las 12:00 a.m.



Figura 32: Vista frontal de la planta en diciembre



Figura 33: Vista lateral de la planta en invierno

- 23 de junio a las 14:00 a.m.



Figura 34: Vista frontal de la planta en verano



Figura 35: Vista lateral de la planta en verano

Con la imagen de la planta mediante colores falsos se aprecia de forma mucho más clara la diferencia de iluminación en la fábrica de cerveza artesanal en los periodos más favorables y desfavorables:

	800.00	lx
	700.00	lx
	600.00	lx
	500.00	lx
	400.00	lx
	300.00	lx
	200.00	lx
	100.00	lx
	0.00	lx

Figura 36: Escala de colores falsos utilizada

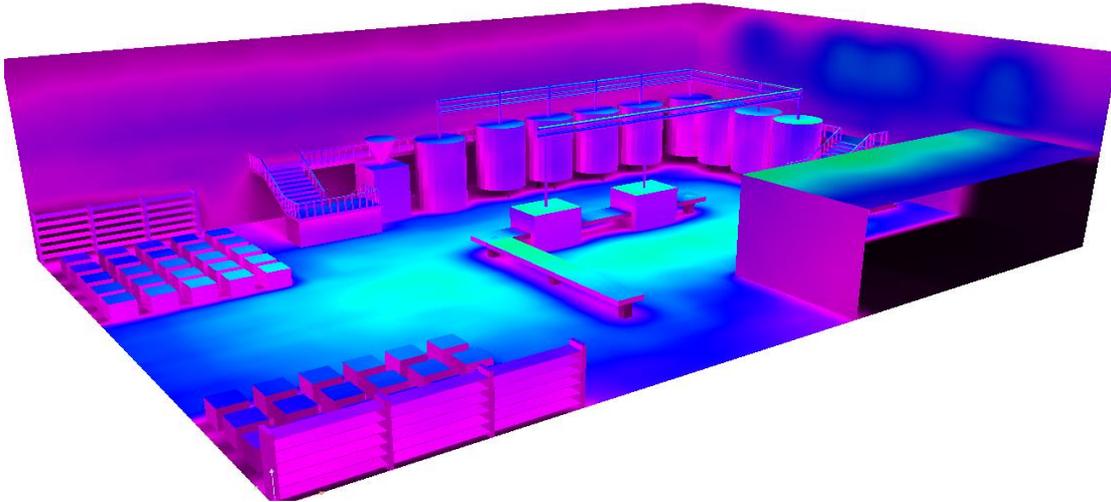


Figura 37: Colores falsos de la planta en invierno

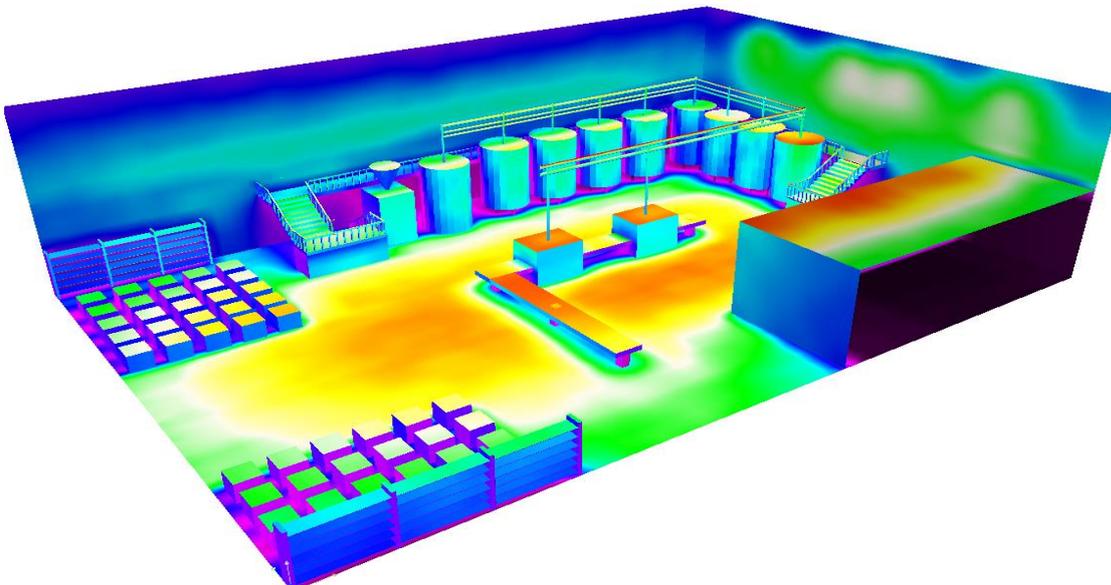


Figura 38: Colores falsos de la planta en verano

5.7. Iluminación artificial

La planta está en funcionamiento desde las 9:00 a.m. Por tanto, es necesario que se disponga de buenas condiciones de iluminación para poder realizar las actividades con la mayor precisión y sin riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores. Además, en ciertos momentos del año no es posible trabajar con iluminación natural debido a la escasa iluminación a horas centrales de la tarde.

A continuación, se van a mostrar los valores de iluminación a primeras horas de funcionamiento de la planta industrial el día 21 de diciembre.

➤ 21 de diciembre a las 9:00 a.m.

Tabla 25: Iluminación media el 21 de diciembre a las 9:00 a.m.

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)
21 dic 9:00 pm	1	300	79
	2	200	51
	3	150	61
	4	200	58

➤ 21 de diciembre a las 10:00 a.m.

Tabla 26: Iluminación media el 21 de diciembre a las 10:00 a.m.

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)
21 dic 10:00 pm	1	300	178
	2	200	115
	3	150	138
	4	200	130

➤ 21 de diciembre a las 11:00 a.m.

Tabla 27: Iluminación media el 21 de diciembre a las 11:00 a.m.

Fecha	Zona	E_m (requerida)	E_m (obtenida)
21 dic 11:00 pm	1	300	254
	2	200	164
	3	150	196
	4	200	186

Como puede observarse, hasta las 12:00 a.m. el día 21 de diciembre no se disponen de las condiciones adecuadas de iluminación, por lo que queda demostrado la necesidad de incorporar alumbrado artificial.

- Luminarias

Para obtener el número de luminarias artificiales necesarias, se recurre al software DIALux light, el cual es una variante utilizada para el cálculo únicamente de iluminación artificial.

En primer lugar, se realizan los cálculos suponiendo el caso más desfavorable posible utilizando 100% iluminación artificial, es decir, sin ningún tipo de lucernario y únicamente con iluminación artificial.

El software pide proporcionar la siguiente información para realizar el cálculo:

- Geometría del local (longitud, anchura y altura)
- Grado de reflexión de techo, paredes y suelo
- Factor de degradación
- Altura del plano útil
- Iluminación media planeada

A su vez, es necesario seleccionar el modelo de luminaria que se va a instalar. En este caso, se ha seleccionado del catálogo disponible el modelo DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN, con una potencia de 420 W.

Cabe destacar que se ha seleccionado una iluminación media por encima de la teórica, manteniendo unos valores razonables para el normal desarrollo de las tareas en la planta de cerveza artesanal ya que, con el valor teórico, el número de luminarias a utilizar era 6, y esto dificultaba los cálculos posteriores al combinar iluminación artificial con iluminación natural. Por tanto, ampliando un poco la iluminación media requerida DIALux light estima la utilización de 9 luminarias.

Los resultados luminotécnicos que se han obtenido se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 28: Resultados luminotécnicos con iluminación 100% artificial

SUPERFICIE	E_m (lx)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano útil	485	248	625	0.511	0.40

5.8. Eficiencia energética

Como ha sido descrito en el apartado anterior, dadas las condiciones de luminosidad en las horas tempranas y finales de la jornada laboral en la época de invierno, es inviable utilizar un sistema de iluminación 100 % natural, basado únicamente en lucernarios.

Por este motivo, es necesario la incorporación y utilización de un sistema de iluminación mixto, que combine iluminación natural y artificial.

Una medida para evaluar la eficacia de cada sistema escogido en lo que respecta a energía es mediante el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). Esta medida se define como la potencia necesaria para iluminar un m² de superficie con un nivel de iluminación de 100 lx mediante el empleo de la expresión siguiente:

$$VEEI \left[\frac{W/m^2}{100 \text{ lx}} \right] = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

- P es la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W)
- S es la superficie por iluminar (m^2)
- E_m es la iluminancia media mantenida (lx)

A continuación, calculamos la eficiencia energética para diferentes escenarios utilizando la ecuación (4)

- Escenario 1: 100% luz artificial
- Escenario 2: 50% luz natural y 50% luz artificial
- Escenario 3: 90% luz natural y 10% luz artificial

Tabla 29: Eficiencia energética de los diferentes escenarios

Escenario	Luminarias	Potencia (w)	Superficie (m^2)	E_m (lx)	Veei
1	9	3780	600	542	1,292
2	5	2100	600	542	0,646
3	1	420	600	542	0,129

La eficiencia energética es mayor cuanto menor es el valor de VEEI, siendo lo ideal un valor de VEEI próximo a 0. Como puede observarse, aquellos casos donde se consume menor energía son aquellos en los que se utiliza la menor cantidad de luminarias.

Una buena referencia del porcentaje recomendado a utilizar de iluminación natural es la siguiente gráfica, donde se obtiene la disponibilidad de la iluminación exterior en función de la latitud del lugar geográfico donde se ubica la nave de fabricación de cerveza artesanal durante el transcurso de la jornada laboral (9:00h a 17:00h), que coincide exactamente con el horario de trabajo de la planta.

Al estar situada en Valencia, le corresponde una latitud de 39° y una iluminación de 8554 luxes.

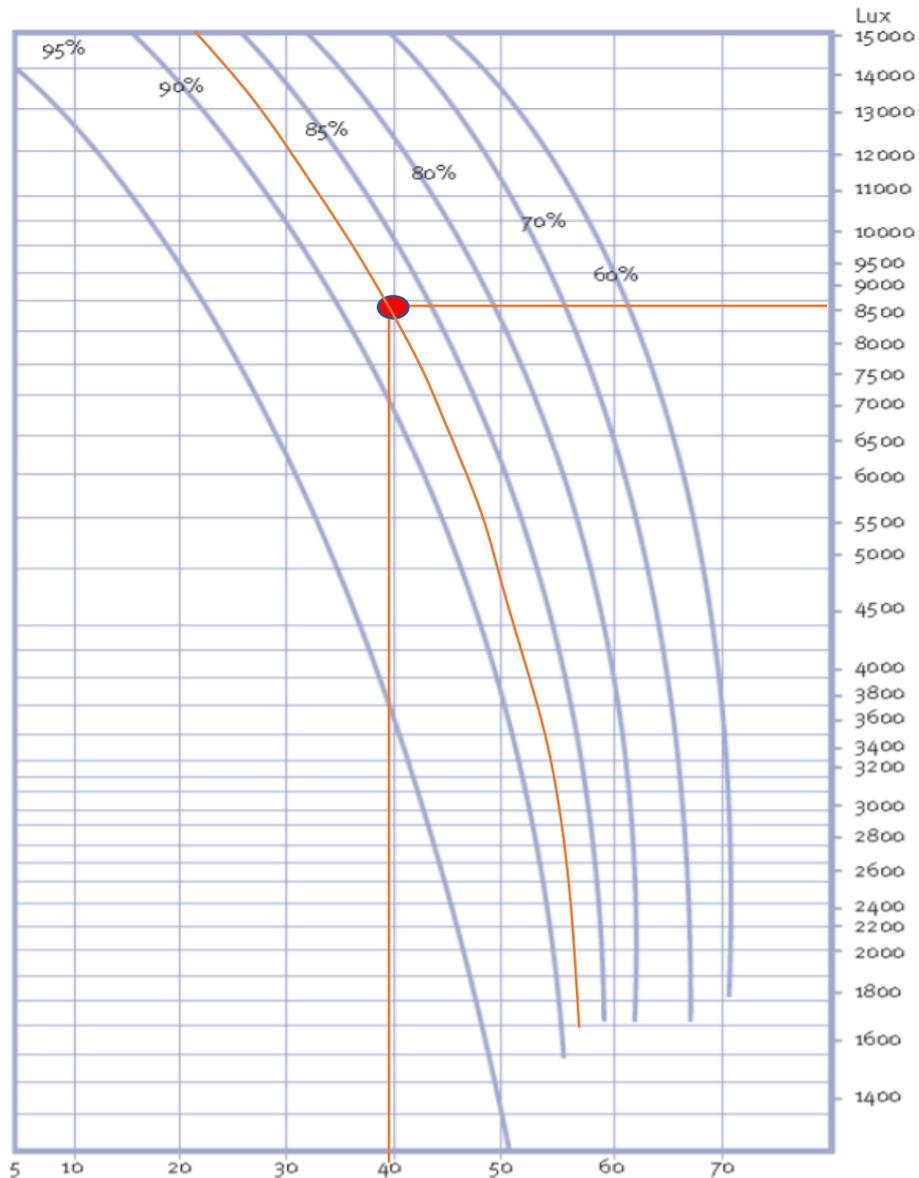


Figura 39: Disponibilidad de luz natural en una jornada laboral

Como se observa, la planta industrial dispondría aproximadamente de un 87% de luz natural durante la jornada laboral. Este porcentaje es aproximado ya que existen otros factores, como por ejemplo la iluminación requerida por la planta, ya sea general o alguna zona en particular ya que, si alguna zona requiere mayor iluminación que la media requerida por la instalación, esta se alcanzará más tarde, necesitando durante mayor tiempo iluminación artificial o el horario de trabajo de la planta, que en nuestro caso coincide.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En primer lugar, se va a obtener el coste necesario de la inversión para que la planta funcione únicamente con luz natural mediante la instalación y mantenimiento de los lucernarios, comparándolo con el gasto energético de la planta utilizando íntegramente luz artificial mediante la instalación y mantenimiento de los lucernarios.

Una vez analizadas ambas opciones, se van a plantear diferentes sistemas de iluminación mixta para averiguar si la inversión realizada es rentable económicamente obteniendo aquel modelo que ofrezca unos valores óptimos y que permita cierto ahorro energético.

El desarrollo de los diferentes presupuestos se adjunta en el ANEXO 1, y se encuentran estructurados de la siguiente forma:

- CAPÍTULO 1: Instalación de los lucernarios con un sistema de iluminación 100% natural
- CAPÍTULO 2: Mantenimiento de los lucernarios para un sistema de iluminación 100% natural
- CAPÍTULO 3: Instalación, mantenimiento y renovación de las luminarias para un sistema de iluminación 100% artificial

En primer lugar, se obtiene el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), correspondiente al importe de la mano de obra, maquinaria y materiales necesarios para la realización de cada tarea. Se calcula multiplicando las mediciones de los lucernarios o luminarias por el precio unitario de cada unidad de obra que contiene el capítulo.

En segundo lugar, la obtención del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) viene determinado por la aplicación al PEM del beneficio industrial (6%) y los gastos generales (15%).

Por último, es necesario aplicar el 21% de IVA al Presupuesto de Ejecución por Contrata para obtener el Presupuesto Base de Licitación.

Para la obtención de los precios unitarios correspondientes a los materiales, maquinaria y mano de obra se ha recurrido a la base de datos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) del año 2016.

6.1. Presupuesto con iluminación natural 100%

En primer lugar, se va a obtener la inversión necesaria para llevar a cabo el desarrollo de la propuesta seleccionada mediante iluminación 100% natural.

- Instalación de los lucernarios

Para la instalación de los lucernarios es necesario realizar diferentes tareas. Para realizar el cálculo es necesario suponer una duración a cada una de las tareas, y así poder determinar el rendimiento de materiales, maquinaria y mano de obra correspondiente a cada unidad de obra.

- Realización de las aberturas donde se van a emplazar los lucernarios (1 hora y media)
- Acondicionamiento de las aberturas (1 hora)
- Colocación de los lucernarios de policarbonato celular (1 hora)
- Soldado de los diferentes lucernarios (1 hora)

La obtención del presupuesto se encuentra detallado en el Capítulo 1 del ANEXO 1, donde se obtiene el siguiente gasto para su instalación:

Tabla 30: Presupuesto de instalación de lucernarios con iluminación 100% natural

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	8508,43 €
Beneficio industrial 6%	510,51 €
Gastos generales 15%	1276,26 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	10295,21 €
IVA 21%	2161,99 €
Presupuesto Base de Licitación	12457,20 €

- Mantenimiento de los lucernarios

Para el buen aprovechamiento de las ventajas que proporciona el uso de iluminación natural, es necesario realizar el mantenimiento de los lucernarios ya que pueden producirse humos y gases o debido a la aparición de goteras o filtraciones que pueden dañarlos.

En una instalación industrial, esta tarea suele realizarse como mínimo cada 3 años. Para este proyecto se considera que se lleva a cabo el mantenimiento cada 5 años. En este caso, es necesario obtener el Presupuesto Base de Licitación anual.

La obtención del presupuesto se encuentra detallado en el Capítulo 2 del ANEXO 1, donde se obtiene el siguiente gasto para su instalación:

Tabla 31: Presupuesto de mantenimiento de lucernarios con iluminación 100% natural

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	159,63 €
Beneficio industrial 6%	9,58 €
Gastos generales 15%	23,95 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	193,16 €

IVA 21%	40,56 €
Presupuesto Base de Licitación	233,72 €
Presupuesto Base de Licitación Anual	46,74 €

Los costes totales para la instalación y mantenimiento de los lucernarios en un sistema de iluminación 100% natural se resumen en la tabla 28.

Tabla 32: Presupuesto total para un sistema de iluminación 100% natural

Gastos de instalación de los lucernarios	12457,20 €
Gastos de mantenimiento de los lucernarios	46,74 €
Gasto total	12503,94 €

6.2. Balance económico

6.2.1. Iluminación 100% artificial

En este apartado se va a calcular el gasto necesario para que la planta funcione únicamente con iluminación artificial. Para ello se va a calcular el gasto de instalación y, por otra parte, el mantenimiento y renovación de las luminarias.

- Selección de la tarifa eléctrica

Para la realización del presupuesto, es necesario contratar una tarifa eléctrica que se adapte adecuadamente a la potencia demandada por la planta, tanto a nivel de equipos como de iluminación. Para ello, al no disponer de datos reales, se toma como una referencia los datos de una fábrica de cerveza artesanal de 927 m².

Tabla 33: Potencia requerida por la planta

INSTALACIÓN	POTENCIA REQUERIDA (KW)
Tomas de corriente	30,65
Maquinaria	104,28
Luminarias	3,78
TOTAL	138,71

Estos datos son únicamente de referencia ya que, para el cálculo de la factura eléctrica anual se van a usar aquellos datos variables, los cuales se van a estudiar más adelante.

La tarifa eléctrica contratada en base a los datos de referencia es la tarifa 3.1A, una tarifa de alta tensión (≥ 1 kV y < 36 kV) y para una potencia contratada menor de 450 kW. La

tarifa eléctrica tiene un sistema de diferenciación horaria donde se establecen 3 periodos de facturación. Estos periodos son P1 (punta), P2(llano) y P3(valle) donde cada periodo tiene sus precios en términos de potencia y energía, los cuales se muestran en la tabla 29.

Tabla 34: Precios de cada periodo para la tarifa 3.1A

TARIFA 3.1A		
PERIODO	TERMINO DE POTENCIA (€/KW·año)	TÉRMINO DE ENERGIA (€/KWh)
P1	59,173468	0,014335
P2	36,490689	0,012754
P3	8,3677310	0,007805

En 2019 se mantienen vigentes los peajes establecidos en la Orden IET/107/2014, de 31 de enero y son aplicables a partir del 1 de enero de 2019.

La distribución horaria de los diferentes periodos de la tarifa 3.1A esta esquematizada en la figura 22.



Figura 40: Horarios de cada periodo de la tarifa 3.1A

A continuación, hay que determinar las horas de trabajo en cada periodo para poder determinar los valores correspondientes al termino de potencia y energía de la planta. Cabe recordar que la fábrica de cerveza artesanal está en funcionamiento de lunes a viernes de 9:00h a 17:00h y sábados de 9:00h a 14:00h excepto dos semanas en agosto por vacaciones.

Por tanto, teniendo en cuenta la diferenciación horaria de la tarifa 3.1A contratada y el calendario laboral de 2019 de la Comunidad Valenciana, que tiene en cuenta los días festivos locales y nacionales, se obtienen las horas en cada periodo.

Tabla 35: Horas trabajadas en cada periodo según la tarifa 3.1A

ÉPOCA	MES	P1	P2	P3
INVIERNO	Enero	0	168	20
	Febrero	0	160	20
	Marzo	0	160	25
VERANO	Abril	102	34	20
	Mayo	132	44	20
	Junio	120	40	25
	Julio	132	44	20
	Agosto	66	22	15
	Septiembre	126	42	20
	Octubre	132	44	15
INVIERNO	Noviembre	0	160	25
	Diciembre	0	160	20
	TOTAL	810	1078	255

- FACTURACIÓN ELÉCTRICA ANUAL

Para la determinación del coste de la factura eléctrica anual, se tienen en cuenta diferentes parámetros.

- Término de potencia

Se trata de un término fijo que se paga en cada periodo de facturación y que depende de la potencia contratada, por el hecho de disponer de la máxima potencia cuando se desee.

Para obtener el termino de potencia se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Término de potencia} = \sum_i P_T(\text{kW}) \cdot \sum_i P_P\left(\frac{\text{€}}{\text{KW}\cdot\text{año}}\right) \quad \text{Ecuación (5)}$$

En este caso vamos a considerar la potencia de las luminarias ya que, el objetivo es determinar el ahorro de los diferentes sistemas de iluminación mixto frente al que utiliza una iluminación artificial 100% y por ello, se van a considerar únicamente los términos variables.

Por tanto:

- P_T es la potencia de las luminarias utilizadas
- P_P es el precio anual de cada periodo según la tarifa 3.1A
- i es el número del periodo correspondiente

Aplicando la ecuación (5) a cada periodo, se obtienen los siguientes valores del término de potencia:

Tabla 36: Término de potencia con un sistema de iluminación artificial 100%

PERIODO	TÉRMINO DE POTENCIA (€)
P1	223,67
P2	137,93
P3	31,63
TOTAL	393,24 €

- Término de energía

El termino de energía varía en función del consumo energético de la instalación y del periodo correspondiente. Para obtener el término de energía se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Término de energía} = \sum_i P_T(kW) \cdot \sum_i P_P\left(\frac{\text{€}}{\text{KW}\cdot\text{h}}\right) \cdot h_i \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

- P_T es la potencia de las luminarias utilizadas
- P_P es el precio por hora de cada periodo según la tarifa 3.1A
- h son las horas trabajadas en cada periodo
- i es el número del periodo correspondiente

En este caso, utilizando la ecuación (6) se decide calcular el termino de energía en cada mes para simplificar los cálculos.

Tabla 37: Término de energía para un sistema de iluminación artificial 100%

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA (€)
Enero	8,69
Febrero	8,30
Marzo	8,45
Abril	7,76
Mayo	9,86
Junio	9,17
Julio	9,86
Agosto	5,08
Septiembre	9,44

Octubre	9,72
Noviembre	8,45
Diciembre	8,30
TOTAL	103,09 €

- Impuesto de electricidad

Es un impuesto que forma parte del grupo de impuestos especiales, como el alcohol y el tabaco, que ha sido creado con el fin de garantizar un consumo responsable de los recursos limitados que ofrece el medio natural y unas condiciones medioambientales que protejan la salud de las personas.

Este impuesto depende tanto del término de potencia como del término de energía, por tanto, al ser un término variable en función de las luminarias instaladas, se va a incluir en la facturación eléctrica anual y se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Impuesto de electricidad (€)} = (TP + TE) \cdot 1,051127 \cdot 4,864\% \quad \text{Ecuación (7)}$$

- Alquiler de los equipos de medida

Aquellas empresas que no disponen de contadores para la medición del consumo energético, la distribuidora eléctrica cobra el alquiler de estos equipos. Se trata de un importe mensual y fijo, ya que no depende de la potencia consumida por las luminarias, por lo que no se incluye en el balance económico para determinar la facturación eléctrica anual.

La facturación anual obtenida se resume en siguiente tabla:

Tabla 38: Gasto energético para un sistema de iluminación natural 100%

Término de potencia (TP)	393,24 €
Término de energía (TE)	103,09 €
TP + TE	496,33 €
Impuesto de electricidad (IE)	25,375 €
TP + TE + IE	521,71 €
IVA (21%)	109,56 €
Gasto energético ANUAL	631,26 €

• INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS LUMINARIAS

Para presupuestar la instalación y mantenimiento de las luminarias hay que tener en cuenta diversos factores como el tipo de luminaria a instalar y su potencia correspondiente, la vida útil y la cantidad a utilizar.

En nuestra instalación, como se ha comentado en el apartado de iluminación artificial, se va a instalar el modelo de luminaria DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN, con una potencia de 420 W.

Las horas de vida útil de este tipo de luminarias, al tratarse de lámparas de sodio de alta presión, se encuentran entre 8000 y 12000 horas, por lo que se considera 10000 horas de vida útil. Sumando las horas totales en las cuales la planta industrial se encuentra en funcionamiento, se obtiene la vida útil de las luminarias.

$$\text{Vida útil} = \frac{10000 \text{ horas}}{2143 \text{ horas/año}} = 4,66 \text{ años}$$

El presupuesto de instalación y renovación de las luminarias se encuentra en el capítulo 3 del ANEXO 1, del cual se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 39: Presupuesto de instalación de luminarias con iluminación artificial 100%

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	783,47 €
Beneficio industrial 6%	47,01 €
Gastos generales 15%	117,52 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	948,00 €
IVA 21%	199,08 €
Presupuesto Base de Licitación	1147,08 €
Presupuesto Base de Licitación anual	246,16 €

El gasto total para un sistema de iluminación 100% artificial se muestra a continuación.

Tabla 40: Presupuesto del sistema de iluminación artificial 100%

Gasto energético (€)	631,26 €
Gasto de instalación luminarias (€)	246,16 €
Gasto total	877,42 €

6.2.2. Sistema de iluminación mixta

Se van a proponer diferentes sistemas de iluminación mixto para averiguar el ahorro en los gastos energéticos, así como en la instalación y mantenimiento de los lucernarios para cada propuesta respecto a la utilización de un sistema con iluminación 100% artificial.

Como se ha comentado anteriormente en la tabla 21, según la localización geográfica de la nave industrial, la iluminación exterior disponible y teniendo en cuenta que el horario de la instalación coincide con la jornada de trabajo establecida para la realización del gráfico,

se dispone aproximadamente de un 87% de luz natural. Por ello se van a estudiar los siguientes casos de iluminación mixta:

- SISTEMA 1: 30% de iluminación artificial y 70% de iluminación natural
- SISTEMA 2: 20% de iluminación artificial y 80% de iluminación natural
- SISTEMA 3: 10% de iluminación artificial y 90% de iluminación natural

Para obtener dicho ahorro en los gastos es necesario realizar modificaciones en algunos cálculos.

- Instalación y mantenimiento de las luminarias

En primer lugar, para determinar el ahorro en los gastos de la instalación y mantenimiento de las luminarias se va a utilizar un número de luminarias a instalar relacionado y directamente proporcional al porcentaje de iluminación artificial utilizado, es decir un porcentaje equivalente. Esta opción resulta totalmente idéntica a instalar todas las luminarias y, debido a su menor uso, presentar una mayor vida útil y, por tanto, un menor gasto.

Teniendo esto en cuenta, los valores utilizados en cada propuesta son los siguientes:

Tabla 41: Luminarias instaladas en cada sistema de iluminación mixta.

Sistema	Luminarias instaladas
30% iluminación artificial	3
20% iluminación artificial	2
10% iluminación artificial	1

Esto se va a ver reflejado en el cálculo del presupuesto de instalación y mantenimiento de los lucernarios desarrollado en el capítulo 3 del Anexo 1.

- Término de potencia

Como se ha comentado anteriormente, el término de potencia está relacionado con la potencia contratada para poder disponer de ella cuando se necesite.

Si la nave está en funcionamiento 24 horas, este término no puede variar, ya que en las horas nocturnas es necesario mantener todas las luminarias en funcionamiento y, por tanto, se necesita tener contratada la máxima potencia.

En nuestro caso el horario de trabajo de la fábrica de cerveza artesanal es de 9h a 17h, por lo que en ningún momento se trabaja en condiciones nocturnas, no siendo necesario disponer de la máxima potencia contratada, pudiendo ser el término de potencia variable.

Pese a esto, se van a estudiar ambos casos para comprobar las diferencias en el ahorro de la factura eléctrica anual y si se dan las condiciones adecuadas de iluminación haciendo un cálculo aproximado y así valorar la opción óptima.

- Término de energía

Por último, el término de energía varía, ya que el número de horas en el que las luminarias están en funcionamiento disminuye al incorporar un sistema de iluminación mixto combinando iluminación natural y artificial, lo que va a repercutir en una disminución del término de energía.

Para realizar el cálculo de forma aproximada se asume una disminución de la potencia correspondiente a una disminución de la cantidad de luminarias utilizadas.

Tabla 42: Potencia de las luminarias en cada sistema de iluminación mixta.

Sistema	Potencia luminarias (kW)
30% iluminación artificial	1,26
20% iluminación artificial	0,84
10% iluminación artificial	0,42

Esto va a repercutir a su vez en el impuesto de electricidad y el valor del IVA correspondiente, disminuyendo el gasto energético de la planta industrial.

A continuación, se van a aplicar todas las modificaciones desarrolladas para cada sistema de iluminación mixta

➤ SISTEMAS DE ILUMINACIÓN MIXTA MODIFICANDO EL TÉRMINO DE POTENCIA

En primer lugar, se va a realizar el balance económico modificando el término de potencia y analizando hasta que porcentaje es viable la utilización de un número más bajo de luminarias.

• SISTEMA 1: 30% de iluminación artificial y 70% de iluminación natural

En este apartado se van a desarrollar los presupuestos tanto del gasto energético como de la instalación y mantenimiento de 3 luminarias, con una potencia de 1,26 kW.

En este caso se puede desarrollar perfectamente la actividad de la fábrica de cerveza artesanal con la combinación de 3 luminarias y la iluminación natural, incluso en las condiciones más desfavorables posibles.

Por tanto, los cálculos a realizar son los siguientes:

- Término de potencia

Tabla 43: Término de potencia para un sistema 30% artificial-70% natural

PERIODO	TÉRMINO DE POTENCIA (€)
P1	74,56
P2	45,98
P3	10,54
TOTAL	131,08 €

- Término de energía

Tabla 44: Término de energía para un sistema 30% artificial-70% natural

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA (€)
Enero	2,89
Febrero	2,77
Marzo	2,82
Abril	2,59
Mayo	3,29
Junio	3,06
Julio	3,29
Agosto	1,69
Septiembre	3,15
Octubre	3,24
Noviembre	2,82
Diciembre	2,77
TOTAL	34,37 €

- Determinación del gasto energético anual

Tabla 45: Gasto energético total para un sistema 30% artificial-70% natural

Término de potencia (TP)	131,08 €
Término de energía (TE)	34,37 €
TP + TE	165,45 €
Impuesto de electricidad (IE)	8,46 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

TP + TE + IE	173,90 €
IVA (21%)	36,52 €
Gasto energético TOTAL	210,42 €

- Presupuesto de la instalación y mantenimiento de luminarias

Según el cuadro de precio descompuestos de la tabla 83 del capítulo 3 del ANEXO 1, se obtiene un precio unitario de 87,082 €. Mediante el cuadro de mediciones se va a obtener el presupuesto de ejecución material para la instalación y mantenimiento de 3 luminarias.

Tabla 46: Cuadro de mediciones para un sistema 30% artificial-70% natural

DESCRIPCIÓN	NÚMERO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
Instalación y renovación de las luminarias	3	261,246	261,246

Tabla 47: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 30% artificial-70% natural

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
03.01	Instalación y renovación de las luminarias	261,246	
			261,246 €

Una vez obtenido el cuadro de presupuesto parcial para el mantenimiento e instalación de 3 luminarias, se obtiene el presupuesto base de licitación anual teniendo en cuenta la vida útil calculada anteriormente.

Tabla 48: Presupuesto de instalación de luminarias con 30% artificial-70% natural

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	261,246 €
Beneficio industrial 6%	15,67 €
Gastos generales 15%	39,19 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	316,1 €
IVA 21%	66,38 €
Presupuesto Base de Licitación	382,49 €
Presupuesto Base de Licitación anual	82,078 €

El gasto total para un sistema de iluminación 30% artificial y 70% natural se muestra a continuación.

Tabla 49: Presupuesto final para un sistema 30% artificial-70% natural

Gasto energético (€)	210,42 €
Gasto de instalación luminarias (€)	82,078 €
Gasto total	292,498 €

- SISTEMA 2: 20% de iluminación artificial y 80% de iluminación natural

En este apartado se van a desarrollar los presupuestos tanto del gasto energético como de la instalación y mantenimiento de 2 luminarias, con una potencia de 0,84 kW.

En este caso, también se puede desarrollar la actividad a desarrollar con la combinación de 2 luminarias y la iluminación natural, incluso en las condiciones más desfavorables posibles.

- Término de potencia

Tabla 50: Término de potencia para un sistema 20% artificial-80% natural

PERIODO	TÉRMINO DE POTENCIA (€)
P1	49,71 €
P2	30,65€
P3	7,03 €
TOTAL	87,39€

- Término de energía

Tabla 51: Término de energía para un sistema 20% artificial-80% natural

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA (€)
Enero	1,93
Febrero	1,85
Marzo	1,88
Abril	1,72
Mayo	2,19
Junio	2,04
Julio	2,19
Agosto	1,13

Septiembre	2,09
Octubre	2,16
Noviembre	1,88
Diciembre	1,85
TOTAL	22,91 €

- Determinación del gasto energético anual

Tabla 52: Gasto energético total para un sistema 20% artificial-80% natural

Término de potencia (TP)	87,39 €
Término de energía (TE)	22,91 €
TP + TE	110,29 €
Impuesto de electricidad (IE)	5,64 €
TP + TE + IE	115,93 €
IVA (21%)	24,35 €
Gasto energético TOTAL	140,28 €

- Presupuesto de la instalación y mantenimiento de luminarias

Según el cuadro de precio descompuestos de la tabla 83 del capítulo 3 del ANEXO 1, se obtiene un precio unitario de 87,082 €. Mediante el cuadro de mediciones se va a obtener el presupuesto de ejecución material para la instalación y mantenimiento de 2 luminarias.

Tabla 53: Cuadro de mediciones para un sistema 20% artificial-80% natural

DESCRIPCIÓN	NÚMERO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
Instalación y renovación de las luminarias	2	174,164	174,164

Tabla 54: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 20% artificial-80% natural

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
03.01	Instalación y renovación de las luminarias	174,164	
			174,164 €

Una vez obtenido el cuadro de presupuesto parcial para el mantenimiento e instalación de 2 luminarias, se obtiene el presupuesto base de licitación anual teniendo en cuenta la vida útil calculada anteriormente.

Tabla 55: Presupuesto de instalación de luminarias con 20% artificial-80% natural

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	174,164 €
Beneficio industrial 6%	10,45 €
Gastos generales 15%	26,12 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	210,73 €
IVA 21%	44,25 €
Presupuesto Base de Licitación	254,98 €
Presupuesto Base de Licitación anual	54,717 €

El gasto total para un sistema de iluminación 20% artificial y 80% natural se muestra a continuación.

Tabla 56: Presupuesto final para un sistema 20% artificial-80% natural

Gasto energético (€)	140,28 €
Gasto de instalación luminarias (€)	54,717 €
Gasto total	194,997 €

- SISTEMA 3: 10% de iluminación artificial y 90% de iluminación natural

En este apartado se van a desarrollar los presupuestos tanto del gasto energético como de la instalación y mantenimiento de 2 luminarias, con una potencia total de 0,84 kW, ya que con el uso de 1 luminaria sería difícil obtener las condiciones óptimas de iluminación en las horas más desfavorables.

Por tanto, la disposición de las luminarias encendidas es la misma que en la propuesta anterior.

- Término potencia

Tabla 57: Término de potencia para un sistema 10% artificial-90% natural

PERIODO	TÉRMINO DE POTENCIA (€)
P1	49,71 €
P2	30,65€
P3	7,03 €
TOTAL	87,39€

- Término energía

Tabla 58: Término de energía para un sistema 10% artificial-90% natural

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA (€)
Enero	0,97
Febrero	0,92
Marzo	0,94
Abril	0,86
Mayo	1,09
Junio	1,02
Julio	1,09
Agosto	0,56
Septiembre	1,05
Octubre	1,08
Noviembre	0,94
Diciembre	0,93
TOTAL	11,45 €

- Determinación del gasto energético anual

Tabla 59: Gasto energético total para un sistema 10% artificial-90% natural

Término de potencia (TP)	87,39 €
Término de energía (TE)	11,45 €
TP + TE	98,84 €
Impuesto de electricidad (IE)	5,05 €
TP + TE + IE	103,89 €
IVA (21%)	21,81 €
Gasto energético TOTAL	125,70 €

- Presupuesto de la instalación y mantenimiento de luminarias

Según el cuadro de precio descompuestos de la tabla 83 del capítulo 3 del ANEXO 1, se obtiene un precio unitario de 87,082 €. Mediante el cuadro de mediciones se va a obtener el presupuesto de ejecución material para la instalación y mantenimiento de 1 luminaria.

Para realizar el cálculo de la instalación y mantenimiento de luminarias, se considera tal y como se ha explicado anteriormente un porcentaje equivalente. Por tanto, en este apartado se debe considerar la instalación y mantenimiento de 1 única luminaria ya que se va a utilizar un 10% del tiempo total que lo harían si el sistema fuera íntegramente iluminación artificial.

Tabla 60: Cuadro de mediciones para un sistema 10% artificial-90% natural

DESCRIPCIÓN	NÚMERO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
Instalación y renovación de las luminarias	1	87,082	87,082

Tabla 61: Cuadro del presupuesto parcial para un sistema 10% artificial-90% natural

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
03.01	Instalación y renovación de las luminarias	87,082	
			87,082 €

Una vez obtenido el cuadro del presupuesto parcial para el mantenimiento e instalación de 2 luminarias, se obtiene el presupuesto base de licitación anual teniendo en cuenta la vida útil calculada anteriormente.

Tabla 62: Presupuesto de instalación de luminarias con 10% artificial-90% natural

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	87,082 €
Beneficio industrial 6%	5,22 €
Gastos generales 15%	13,06 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	105,35 €
IVA 21%	22,13 €
Presupuesto Base de Licitación	127,47 €
Presupuesto Base de Licitación anual	27,35 €

El gasto total para un sistema de iluminación 10% artificial y 90% natural se muestra a continuación.

Tabla 63: Presupuesto final para un sistema 10% artificial-90% natural

Gasto energético (€)	125,71 €
Gasto de instalación luminarias (€)	27,35 €
Gasto total	153,064 €

➤ SISTEMAS DE ILUMINACIÓN MIXTA DEJANDO FIJO EL TÉRMINO DE POTENCIA

En este caso, los gastos de instalación y mantenimiento de las luminarias van a ser los mismos en cada sistema que los calculados anteriormente, ya que en este caso se tiene en cuenta el consumo, el cual si se calcula con el mismo porcentaje equivalente que en los casos anteriores. A su vez el término de energía también va a ser idéntico al calculado en el apartado anterior. El término de potencia es fijo para los 3 sistemas de iluminación mixta y equivale al calculado con el sistema de iluminación 100% natural, correspondiente a 393,24 €.

Por tanto, se procede a calcular tanto el gasto energético total como el presupuesto total necesario para el correcto funcionamiento de las luminarias.

• SISTEMA 1: 30% de iluminación artificial y 70% de iluminación natural

Tabla 64: Gasto energético total para un sistema 30% artificial-70% natural

Término de potencia (TP)	393,24 €
Término de energía (TE)	34,37 €
TP + TE	427,61 €
Impuesto de electricidad (IE)	21,86 €
TP + TE + IE	449,47 €
IVA (21%)	94,39 €
Gasto energético TOTAL	543,86 €

Tabla 65: Presupuesto final para un sistema 30% artificial-70% natural

Gasto energético (€)	543,86 €
Gasto de instalación luminarias (€)	82,078 €
Gasto total	625,938 €

- SISTEMA 2: 20% de iluminación artificial y 80% de iluminación natural

Tabla 66: Gasto energético total para un sistema 20% artificial-80% natural

Término de potencia (TP)	393,24 €
Término de energía (TE)	22,91 €
TP + TE	416,15 €
Impuesto de electricidad (IE)	21,27 €
TP + TE + IE	437,43 €
IVA (21%)	91,86 €
Gasto energético TOTAL	529,29 €

Tabla 67: Presupuesto final para un sistema 20% artificial-80% natural

Gasto energético (€)	529,29 €
Gasto de instalación luminarias (€)	54,72 €
Gasto total	584,01 €

- SISTEMA 3: 10% de iluminación artificial y 90% de iluminación natural

Tabla 68: Gasto energético total para un sistema 10% artificial-90% natural

Término de potencia (TP)	393,24 €
Término de energía (TE)	11,45 €
TP + TE	404,69 €
Impuesto de electricidad (IE)	20,69 €
TP + TE + IE	425,39 €
IVA (21%)	89,33 €
Gasto energético TOTAL	514,72 €

Tabla 69: Presupuesto final para un sistema 10% artificial-90% natural

Gasto energético (€)	514,72 €
Gasto de instalación luminarias (€)	27,359 €
Gasto total	542,079 €

En este caso, se puede observar que al tener contratada toda la potencia disponible para que puedan estar en funcionamiento todas las luminarias, el gasto energético aumenta considerablemente.

En el próximo apartado se van a analizar los resultados obtenidos para poder corroborar lo que se supone como el sistema más rentable tanto económica como energéticamente al obtener los datos de los gastos totales en todos los sistemas estudiados.

6.3. Análisis económico

En la parte correspondiente al análisis económico se va a realizar una comparación de las diferentes propuestas de iluminación mixta estudiadas respecto al sistema de iluminación 100% artificial, para determinar el ahorro en el gasto total y valorar la rentabilidad del proyecto en los diferentes sistemas estudiados.

Para el cálculo de dicho gasto total se ha considerado tanto el gasto energético como el gasto de mantenimiento y renovación de luminarias.

En las siguientes tablas se muestran los diferentes ahorros obtenidos para los sistemas en los que se ha variado el término de potencia y para aquellos en los que se ha mantenido fijo.

- Propuestas con variaciones en el término de potencia

Tabla 70: Ahorro en los gastos totales variando el término de potencia

SISTEMA	GASTO (€)	AHORRO (€)
100% artificial	877,42 €	
30% artificial – 70% natural	292,49 €	584,93 €
20% artificial – 80% natural	194,99 €	682,43 €
10% artificial – 90% natural	153,06 €	724,36 €

- Propuestas sin variaciones en el término de potencia

Tabla 71: Ahorro en los gastos totales manteniendo fijo el término de potencia

SISTEMA	GASTO (€)	AHORRO (€)
100% artificial	877,42 €	
30% artificial – 70% natural	625,94 €	251,48 €
20% artificial – 80% natural	584,01 €	293,41 €
10% artificial – 90% natural	542,08 €	335,34 €

Se puede comprobar en primer lugar, que a mayor utilización de luz natural se reduce el gasto total obtenido, pudiendo llegar en nuestro caso a un porcentaje muy cercano al 90% de luz natural.

En segundo lugar, mediante la figura 42 se justifica la gran diferencia obtenida en las dos tablas anteriores (tablas 71 y 72). Esto es debido a que el ahorro correspondiente al término de potencia representa un 50% del ahorro total obtenido, pudiendo disminuir en gran parte los gastos en la factura eléctrica anual.

AHORRO DE CADA TÉRMINO

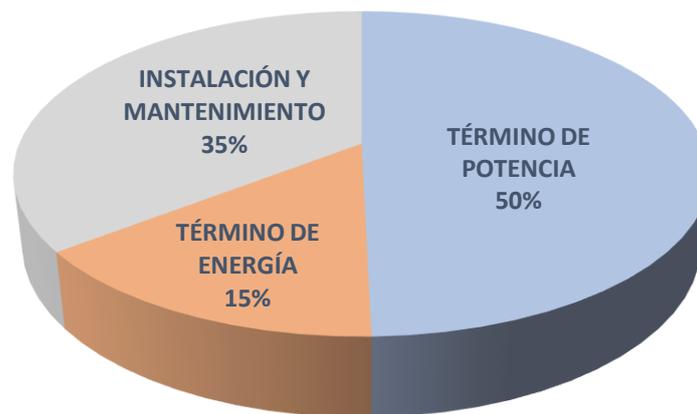


Figura 41: Ahorro de cada término en el sistema 90% natural-10% artificial

Por tanto, al poder disminuir la potencia contratada hasta un total de 2 luminarias en la propuesta más rentable económicamente correspondiente al sistema que utiliza 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural, se obtiene un ahorro mayor de casi 400 euros anuales.

6.3.1. Rentabilidad del proyecto

La rentabilidad de un proyecto se va a evaluar mediante el cálculo tanto del VAN (Valor Actual Neto) como de la TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). Para que un proyecto sea rentable el valor del VAN tiene que ser positivo para un determinado tipo de interés.

La expresión para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^T \frac{FC_j}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

- I_0 es la inversión inicial corresponde al presupuesto de instalación y mantenimiento de los lucernarios, el cual es de 12.503,94 €.
- FC_j son los flujos de caja correspondiente al ahorro obtenido en cada propuesta.

- T es la vida útil del proyecto, que se considera en 25 años.
- n es el horizonte temporal
- i es el interés aplicado.

A su vez el TIR es el valor del interés “ i ” que hace que el VAN sea nulo.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=0}^T \frac{FC_j}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Para el análisis de la rentabilidad del proyecto se van a seleccionar todos los casos correspondientes a las propuestas donde se ha variado el término de potencia para averiguar el interés máximo que se puede afrontar para que el proyecto sea rentable y el caso más favorable de los sistemas donde se mantiene la máxima potencia contratada.

Tabla 72: Sistemas seleccionados manteniendo fijo el término de potencia

SISTEMA	GASTO (€)	AHORRO (€)
30% artificial – 70% natural	625,94 €	251,48 €
20% artificial – 80% natural	584,01 €	293,41 €
10% artificial – 90% natural	542,08 €	335,34 €

Los resultados obtenidos aplicando las expresiones 8 y 9 se muestran a continuación:

- Propuestas variando el término de potencia:

Tabla 73: Valores del VAN y TIR

SISTEMA	FC_j (€)	VAN 1% (€)	VAN 2% (€)	VAN 3% (€)	VAN 4% (€)	VAN 5% (€)	TIR (%)
30% ARTIFICIAL	584,93	962,99	-499,16	-1733,54	-2781,19	-3675,04	1,64
20% ARTIFICIAL	683,42	3207,75	1501,88	61,74	-1160,53	-2203,38	3,05
10% ARTIFICIAL	724,36	4173,11	2362,43	833,81	-463,57	-1570,49	3,62

- Propuestas manteniendo fijo el término de potencia:

Tabla 74: Valores del VAN y TIR

SISTEMA	FC_j (€)	VAN 1% (€)	VAN 2% (€)	VAN 3% (€)	VAN 4% (€)	VAN 5% (€)
10% ARTIFICIAL	335,34	-4783,36	-5621,60	-6329,27	-6929,89	-7442,33

Como puede observarse, solo aquellas propuestas de iluminación mixta en las que se ha disminuido la potencia contratada resultan rentables económicamente, ya que en aquellas propuestas donde se mantiene el término de potencia el VAN no es positivo para ningún tipo de interés.

Considerando una vida útil del proyecto de 25 años, el proyecto será rentable en los siguientes casos:

- 30% artificial – 70% natural: Es rentable económicamente siempre y cuando los intereses sean menores del 1,64%
- 20% artificial – 80% natural: Es rentable económicamente siempre y cuando los intereses sean menores del 3,05%
- 10% artificial – 90% natural: Es rentable económicamente siempre y cuando los intereses sean menores del 3,62%

7. CONCLUSIONES

Tras la realización del trabajo se extraen las siguientes conclusiones:

- De todas las propuestas estudiadas se ha obtenido una solución óptima con una mayor superficie de lucernarios en la zona central de la planta, cumpliendo los niveles de iluminación media requeridas por la norma UNE 12464.1 y sin exceder la iluminación máxima permitida fijada en 2000 luxes.
- Con la propuesta seleccionada se ha alcanzado buenos valores de uniformidad en todas las zonas de la planta. Debido a los equipos utilizados en la planta ha sido necesario el uso de superficies de cálculo para obtener los valores de iluminación
- Pese a disponer de lucernarios de policarbonato celular, se ha evitado el uso de ventanas laterales ya que estos proporcionan una menor uniformidad y mayores riesgos de deslumbramientos.
- Se ha realizado un estudio de diferentes sistemas de iluminación mixto combinando iluminación natural y artificial en diferentes proporciones ya que en las condiciones de luz más desfavorables no se alcanzan los valores de iluminación media requeridos.
- Debido al horario de trabajo de la planta, ha sido posible una notable disminución del término de potencia en los diferentes sistemas de iluminación mixta estudiados, proporcionando un elevado ahorro en la factura eléctrica anual.
- Mediante el calculo de parámetros como el VAN y el TIR se ha obtenido como sistema más rentable económicamente aquel que usa un 90% de iluminación natural y un 10% de iluminación artificial.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Santamarina Siurana, María Cristina. “Apuntes de arquitectura industrial”. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 1998.
- IDAE. “Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2005.
- UNE 12464.1. “Norma Europea sobre Iluminación para Interiores”. Comisión de Normalización Europea, 2002.
- IDAE. “Informe de Precios Energéticos Regulados”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2019.
- IVE. “Base de Precios del IVE 2018”. Instituto Valenciano de la Edificación. Valencia, 2018.
- González, M. C., Sánchez, M. A., Gómez-Senent, E. “Introducción al proyecto y documentos del proyecto”. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015.
- “Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España”. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación y cerveceros de España, 2017. Disponible en: <https://cerveceros.org/>

ANEXO 1. PRESUPUESTO

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

- CAPITULO 1: INSTALACIÓN DE LOS LUCERNARIOS CON UN SISTEMA DE ILUMINACION 100% NATURAL

- Cuadro de precios descompuestos

Tabla 75: Cuadro de precios descompuestos para la instalación de lucernarios

CÓD.	UD	DESCRIPCIÓN	REND.	PRECIO UNIT. (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m²	Construcción del hueco				
	h	Oficial 1º carpintería	0,384	16,49	6,332	
	h	Ayudante carpintería	0,384	12,95	4,973	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,016	51,50	0,824	
	%	Costes directos complementarios	0,02	12,129	0,243	12,37
01.02	m²	Acondicionamiento del hueco				
	m	Perfil aluminio c/goma-trap	1	8,37	8,370	
	h	Oficial 1º carpintería	0,256	16,49	4,221	
	h	Ayudante carpintería	0,256	12,95	3,315	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,011	51,50	0,567	
	%	Costes directos complementarios	0,02	16,473	0,329	16,802
01.03	m²	Instalación policarbonato celular				
	m ²	Placa PC celular opal 10 mm	1	46,35	46,35	
	h	Oficial 1º vidrio	0,256	12,91	3,305	
	h	Ayudante vidrio	0,256	11,00	2,816	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,011	51,50	0,567	
	%	Costes directos complementarios	0,02	53,038	1,061	54,099
01.04	m²	Soldado de la placa				
	h	Especialista metal	0,256	14,10	3,609	
	h	Ayudante vidrio	0,256	12,91	3,305	

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

	d	Plataforma elevadora de tijera	0,011	51,50	0,567	
	%	Costes directos complementarios	0,02	7,481	0,149	7,631

- Cuadro de mediciones

Tabla 76: Cuadro de mediciones para la instalación de lucernarios

CÓD.	UD.	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m²	Construcción del hueco						
	m ²	Lucernarios	24	3	1,3		93,6	
								93,6
01.02	m²	Acondicionamiento del hueco						
	m ²	Lucernarios	24	3	1,3		93,6	
								93,6
01.03	m²	Instalación del policarbonato celular						
	m ²	Lucernarios	24	3	1,3		93,6	
								93,6
01.04	m²	Soldado de la placa						
	m ²	Lucernarios	24	3	1,3		93,6	
								93,6

- Cuadro de presupuestos parciales

Tabla 77: Cuadro de presupuestos parciales para la instalación de lucernarios

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Construcción del hueco	1157,83	
01.02	Acondicionamiento del hueco	1572,67	
01.03	Instalación del policarbonato celular	5063,67	
01.04	Soldado de la placa	714,26	
			8508,43 €

- Cálculo del Presupuesto Base de Licitación

Tabla 78: Presupuesto final para la instalación de lucernarios

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	8508,43 €
Beneficio industrial 6%	510,51 €
Gastos generales 15%	1276,26 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	10295,21 €
IVA 21%	2161,99 €
Presupuesto Base de Licitación	12457,20 €

• CAPÍTULO 2: MANTENIMIENTO DE LOS LUCERNARIOS PARA UN SISTEMA DE ILUMINACION 100% NATURAL

- Cuadro de precios descompuestos

Tabla 79: Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de lucernarios

CÓD.	UD	DESCRIPCIÓN	REND.	PRECIO UNIT. (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
02.01	m ²	Mantenimiento de los lucernarios				
		Peón especializado vidrio	0,128	10,91	1,397	
		Plataforma elevadora de tijera	0,005	51,50	0,275	
	%	Costes directos complementarios	0,02	1,672	0,0334	1,705

- Cuadro de mediciones

Tabla 80: Cuadro de mediciones del mantenimiento de lucernarios

CÓD.	UD.	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
02.01	m ²	Mantenimiento de los lucernarios						
	m ²	Lucernarios	24	3	1,3		93,6	
								93,6

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

- Cuadro de presupuestos parciales

Tabla 81: Presupuesto parcial del mantenimiento de lucernarios

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
02.01	Mantenimiento de los lucernarios	159,63	
			159,63 €

- Cálculo del Presupuesto Base de Licitación

Tabla 82: Presupuesto final del mantenimiento de lucernarios

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	159,63 €
Beneficio industrial 6%	9,58 €
Gastos generales 15%	23,95 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	193,16 €
IVA 21%	40,56 €
Presupuesto Base de Licitación	233,72 €
Presupuesto Base de Licitación anual	46,74 €

• CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y RENOVACION DE LAS LUMINARIAS PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL

- Cuadro de precios descompuestos

Tabla 83: Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias

CÓD.	UD	DESCRIPCIÓN	REND.	PRECIO UNIT. (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
03.01	m ²	Instalación y renovación de las luminarias				
	Ud	Luminaria	1	60,00	60,00	
	h	Oficial 1º electricidad	0,80	16,58	13,26	
	h	Peón electricidad	0,80	13,18	10,54	
	d	Plataforma elevadora de tijera	0,03	51,50	1,55	
	%	Costes directos complementarios	0,02	85,345	1,71	87,052

- Cuadro de mediciones

Tabla 84: Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial

CÓD.	UD.	DESCRIPCIÓN	N	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
02.01	m ²	Instalación y renovación de las luminarias						
	m ²	Luminarias	9				9	
								9

- Cuadro de presupuestos parciales

Tabla 85: Presupuesto parcial luminarias con iluminación 100% artificial

CÓD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
03.01	Instalación y renovación de las luminarias	783,47	
			783,47 €

- Cálculo del Presupuesto Base de Licitación

Tabla 86: Presupuesto final luminarias con iluminación 100% artificial

Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	783,47 €
Beneficio industrial 6%	47,01 €
Gastos generales 15%	117,52 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	948,00 €
IVA 21%	199,08 €
Presupuesto Base de Licitación	1147,08 €
Presupuesto Base de Licitación anual	246,16 €

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

ANEXO 2. LUMINARIAS

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

Proyecto 1



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

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



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 70 97 100 100 70

SDK 102-400 W-IC Halten-Reflektorleuchte mit Natriumdampf-Lampe

1 x SON 400 W Hochdruck-Natriumdampf-Lampe,
KVG kompensiert.
Industrie-Reflektorleuchte, tiefbreitstrahlend.
Abmessungen D x H: 424 x 484 mm.

Leuchtenkörper aus schwarzem Phenol-Kunststoff,
bis 140°C hitzebeständig, mit dem Vorschaltge-
räte-Gehäuse aus Aluminium-Druckguß wieder lös-
bar verschraubt. Mit integriertem Tragegriff.
Asymmetrische Anordnung von Leuchtenkörper und
Reflektor für optimale Wärmeableitung und beste
Betriebsbedingungen.

Integrierte Universal-Aluminium-Montageschiene.
Anschlußfertig verdrahtet mit wärmebeständigen
Leitungen, fest montierte Schraubanschlußklemme
5 x 4 mm². Leitungseinführung durch Kabelver-
schraubung PG16. Durchgangsverdrahtung über aus-
brechbare Öffnung für zweite PG16-Verschraubung
möglich.

Aluminium-Reflektor semihochglänzend eloxiert,
tiefbreitstrahlend. Bajonettverschlußartige
Aufnahme des rotationssymmetrischen Reflektors.

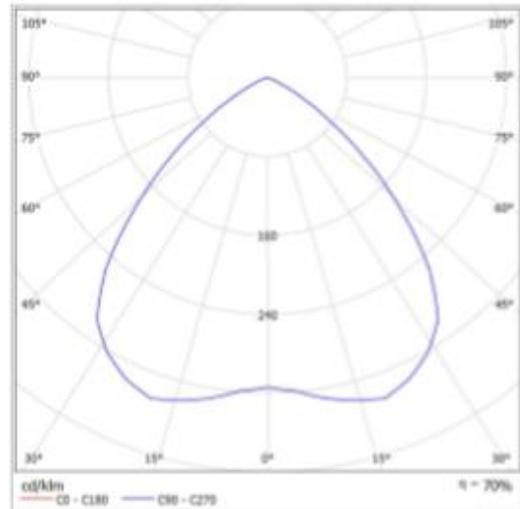
Offene Ausführung:
Zwangsentilation im Reflektor/Leuchtenkörper
durch ausbrechbare Öffnungen im Kunststoffge-
häuse oberhalb der Keramikfassung E 40 erlaubt
den Einsatz in Umgebungstemperaturen bis 45°C.
Gleichzeitiger Selbstreinigungseffekt durch
vertikale Staubableitung.

Geschlossene Ausführung:
Für Umgebungstemperaturen bis 40°C auch wahlwei-
se mit Abdeckung aus temperaturwechselbestän-
digem Sicherheitsglas mit umlaufender Profil-
gummidichtung und werkzeuglos bedienbaren Ver-
schlüssen aus rostfreiem Stahl zur Erhöhung der
Schutzart auf IP 54.

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

DIALux 4.13 by DIAL GmbH

Emisión de luz 1:



Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
La Tacha	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	
La Paredes	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	
La Suelo	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Tamaño del local	Hábitat en perpendicular al eje de longitud					Hábitat longitudinalmente al eje de longitud					
X	Y										
2H	2H	26,5	27,5	28,5	27,7	27,9	26,5	27,5	28,5	27,7	27,9
	3H	26,4	27,3	28,3	27,5	27,8	26,4	27,3	28,3	27,5	27,8
	4H	26,3	27,2	28,2	27,4	27,7	26,3	27,2	28,2	27,4	27,7
	6H	26,2	27,0	28,0	27,2	27,6	26,2	27,0	28,0	27,2	27,6
	8H	26,2	26,9	28,0	27,2	27,6	26,2	26,9	28,0	27,2	27,6
4H	12H	26,2	26,8	28,0	27,2	27,6	26,2	26,8	28,0	27,2	27,6
	2H	26,5	27,5	28,5	27,7	27,9	26,5	27,5	28,5	27,7	27,9
	3H	26,4	27,3	28,3	27,5	27,8	26,4	27,3	28,3	27,5	27,8
	4H	26,3	27,2	28,2	27,4	27,7	26,3	27,2	28,2	27,4	27,7
	6H	26,2	27,0	28,0	27,2	27,6	26,2	27,0	28,0	27,2	27,6
6H	8H	26,2	26,7	28,0	27,2	27,6	26,2	26,7	28,0	27,2	27,6
	9H	26,2	26,7	28,0	27,0	27,5	26,2	26,7	28,0	27,0	27,5
	12H	26,2	26,6	28,0	27,0	27,4	26,2	26,6	28,0	27,0	27,4
	4H	26,2	26,7	28,0	27,0	27,4	26,2	26,7	28,0	27,0	27,4
	6H	26,2	26,6	28,0	27,0	27,4	26,2	26,6	28,0	27,0	27,4
12H	8H	26,2	26,4	28,0	27,0	27,3	26,2	26,4	28,0	27,0	27,3
	9H	26,2	26,4	28,0	27,0	27,3	26,2	26,4	28,0	27,0	27,3
	8H	26,2	26,3	28,0	27,0	27,3	26,2	26,3	28,0	27,0	27,3

Variación de la posición del espectador para observación de una luminaria		
S = 1,0H	+0,2 / -0,2	+0,1 / -0,2
S = 1,5H	+0,4 / -0,5	+0,4 / -0,5
S = 2,0H	+0,6 / -0,9	+0,6 / -0,9
Tamaño estándar de observación	0,60	0,60
Tamaño de observación	6,0	6,0

Tamaño de deslumbramiento calculado en relación a 1000lm/m² (valor estándar)

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

ANEXO 3. PLANOS

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de cerveza ALE artesanal.

