



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PRODUCTORA DE CERVEZA EN ALCÚDIA, VALÈNCIA.

AUTOR: NEGRE GARRIGUES, ARNAU

TUTOR: SANTAMARINA SIRUANA, MARÍA CRISTINA



Curso Académico: 2020-21



## RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado (TFG) se va a estudiar la posibilidad de la instalación de un sistema de iluminación natural en una planta productora de cerveza, la cual contiene un sistema de iluminación artificial del que se va a partir. Esta edificación se ubica en Alcúdia, València.

Inicialmente, se describe el proceso productivo que tiene lugar en el interior de la nave industrial, explicando cada uno de los pasos. Asimismo, se explica la distribución en planta y las distintas zonas que componen la superficie interior.

Seguidamente, se exponen los distintos tipos de iluminación existentes en la actualidad, más específicamente la iluminación natural y sus fundamentos. Además, se explica el método de cálculo analítico que se utilizará más adelante para el cálculo teórico de la superficie de ventanales y lucernarios a utilizar.

Posteriormente, se proponen tres alternativas diferentes de un sistema de iluminación natural, realizando diferentes simulaciones de cada una de ellas mediante el software específico de DIALux. Con los resultados obtenidos se realiza una comparación entre las tres propuestas para escoger aquella con los mejores, realizando posteriormente una mejora en esta y poder llegar a alcanzar los resultados esperados.

Por último, se lleva a cabo un estudio económico del proyecto, calculando los gastos eléctricos y los gastos de mantenimiento de lucernarios y luminarias en tres situaciones de iluminación distintas, es decir, una utilizando solo la iluminación artificial y otras dos con sistemas de iluminación mixta con diferente uso de la iluminación artificial. Con ello se obtiene el ahorro económico total mediante la utilización de un sistema de iluminación mixto frente a la utilización completa del sistema de iluminación artificial. Finalmente, se realiza el estudio de viabilidad económica del proyecto.

**Palabras clave:** sistema de iluminación natural y ahorro económico.

## RESUM

En el present treball de fi de grau (TFG) es va a estudiar la possibilitat de la instal·lació d'un sistema de il·luminació natural en una planta productora de cervesa, la qual conté un sistema d'il·luminació artificial del que es va a partir. Aquesta edificació s'ubica en l'Alcúdia, València.

Inicialment, es descriu el procés productiu que té lloc a l'interior de la nau industrial, explicant cadascun dels passos a seguir. Així mateix, s'explica la distribució en planta i les diferents zones que componen la superfície interior.

Seguidament, s'exposen els diferents tipus d'il·luminació existents en l'actualitat, més específicament la il·luminació natural i els seus fonaments. Ademés, s'explica el mètode de càlcul analític que s'utilitzarà més endavant per al càlcul teòric de la superfície de finestrals i lluernes a utilitzar.

Posteriorment, es proposen tres alternatives diferents d'un sistema d'il·luminació natural, realitzant diferents simulacions de cada una d'aquestes mitjançant el software específic de DIALux. Amb els resultats obtinguts es realitza una comparació entre les tres propostes per a escollir la millor, realitzant posteriorment una millora en aquesta i poder arribar a assolir els resultats esperats.

Per últim, es du a terme un estudi econòmic del projecte, calculant les despeses elèctriques i les despeses de manteniment de lluernes i lluminàries en tres situacions d'il·luminació diferents, es a dir, una utilitzant solament la il·luminació artificial i altres dos amb sistemes d'il·luminació mixta amb diferent utilització de la il·luminació artificial. Amb açò s'obté l'estalvi econòmic total mitjançant la utilització d'un sistema de il·luminació mixte front a la utilització completa del sistema de il·luminació artificial. Finalment, es realitza l'estudi de viabilitat econòmica del projecte.

**Paraules Claus:** sistema d'il·luminació artificial i estalvi econòmic.

## ABSTRACT

This current essay studies the possibility of installing a natural lighting system in a beer production plant which is based on an artificial lighting system. This building is located in Alcúdia, València.

In the first place, it describes the production process which takes place inside the industrial unit; explaining every step. It also explains the plant distribution and the different areas formed in.

Then, there are different existing types of lighting explained, natural lighting and its basics specifically. Moreover, the scientific method, which will be later used to calculate the space for large windows and skylights, is also explained.

Subsequently, it suggests three different current options of natural lighting system; carrying out different simulations for each one of them using DIALux software. The results obtained are used to compare the three proposals and choose the best option in order to improve it and reach the expected results.

Finally, it carries out an economic study of the project, calculating the electric and maintenance expenses of skylights and lights in three different lighting situations; one artificial lighting and two more using mixed lighting systems with a different use of artificial lighting. This means great expense savings by means of using a mixed lighting system versus the complete use of the artificial lighting system.

**Key words:** natural lighting system and expense savings.

## PRÓLOGO

Este TFG surgió a raíz de cursar la asignatura de “Construcción y arquitectura industrial” que se trata de una optativa de 4º curso del Grado de Ingeniería Química. Esta asignatura nos abrió los ojos a todos los que la cursamos hacia otra rama de la Ingeniería Química relacionada con la construcción y que no se había cursado anteriormente.

Realizar un proyecto de estas características resulta entretenido a la par que laborioso, además de darme la oportunidad de poder aprender a realizar proyectos ingenieriles de investigación para un futuro no muy lejano. Todo ello ha contribuido a que sienta un mayor interés por todo lo que rodea al sector de la ingeniería de la construcción, pudiendo llegar en un futuro próximo a especializarme en la materia.

Finalmente, quería reconocer y agradecer la ayuda que me ha ofrecido en todo momento mi tutora M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siruana, además de despertar mi interés en la materia a través de su trabajo educativo. Por último, agradecer a mi familia todo lo que me ha inculcado y por el apoyo que me ha dado en todas las etapas de mi vida.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	6
<b>1. Justificación académica .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Justificación técnica .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Proceso productivo.....</b>	<b>8</b>
4.1. Malteado.....	9
4.2. Cocción.....	10
4.3. Fermentación .....	10
4.4. Envasado y etiquetado .....	11
<b>5. Distribución en planta .....</b>	<b>13</b>
<b>6. Iluminación .....</b>	<b>14</b>
6.1. Requerimientos.....	14
6.1.1. Eficiencia energética .....	15
6.2. Tipos de iluminación .....	16
6.3. Iluminación natural .....	17
6.4. Método de cálculo analítico .....	19
6.5. Criterios de aceptación del sistema de iluminación natural .....	21
<b>7. Diseño del sistema de iluminación natural .....</b>	<b>22</b>
7.1. Propuestas .....	25
7.1.1. Propuesta 1.....	26
7.1.2. Propuesta 2.....	28
7.1.3. Propuesta 3.....	30
7.2. Parámetros de simulación, DIALux.....	31
<b>8. Presentación y análisis de los resultados .....</b>	<b>32</b>
8.1. Presentación de los resultados.....	32
8.1.1. Propuesta 1.....	33
8.1.2. Propuesta 2.....	35
8.1.3. Propuesta 3.....	37
8.2. Deslumbramientos.....	38
8.3. Análisis de resultados.....	40
8.4. Propuesta final .....	43
8.4.1. Presentación de los resultados de la propuesta final .....	46

8.4.2.	Análisis de resultados, propuesta final.....	49
<b>9.</b>	<b>Iluminación artificial .....</b>	<b>51</b>
9.1.	Eficiencia energética .....	51
<b>10.</b>	<b>Análisis económico .....</b>	<b>53</b>
10.1.	Facturación eléctrica.....	53
10.1.1.	Caso 1: 100% iluminación artificial. ....	56
10.1.2.	Caso 2: 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural. ....	58
10.1.3.	Caso 3: 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural. ....	59
10.2.	Gastos anuales .....	61
10.3.	Ahorro.....	63
10.4.	Rentabilidad del proyecto .....	63
11.	Conclusiones.....	66
<b>12.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO 1:</b>	<b>Ficha técnica de la luminaria .....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. División de la edificación en secciones. ....	23
Tabla 2. Iluminación requerida según la UNE 12464.1 por secciones.....	24
Tabla 3. Valores teóricos de los parámetros a analizar en las simulaciones. ....	32
Tabla 4. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 1. ....	33
Tabla 5. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 1. ....	34
Tabla 6. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 2. ....	35
Tabla 7. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 2. ....	36
Tabla 8. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 3. ....	37
Tabla 9. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 3. ....	38
Tabla 10. Resultados de la propuesta 1, 23 de junio.....	40
Tabla 11. Resultados de la propuesta 1, 21 de diciembre. ....	40
Tabla 12. Resultados de la propuesta 2, 23 de junio.....	41
Tabla 13. Resultados de la propuesta 2, 21 de diciembre. ....	41
Tabla 14. Resultados de la propuesta 3, 23 de junio.....	41
Tabla 15. Resultados de la propuesta 3, 21 de diciembre. ....	41
Tabla 16. Resumen simulaciones 23 de junio. ....	42
Tabla 17. Resumen simulaciones 21 de diciembre. ....	42
Tabla 18. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta final. ....	46
Tabla 19. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta final. ....	47
Tabla 20. Resultados simulación de diciembre 9:00h, propuesta final. ....	48
Tabla 21. Resultados de la propuesta final, 23 de junio a las 12:00h. ....	49
Tabla 22. Resultados de la propuesta final, 21 de diciembre a las 12:00h. ....	49
Tabla 23. Resultados de la propuesta final, 21 de diciembre a las 9:00h. ....	49
Tabla 24. Resultados globales, propuesta final. ....	50
Tabla 25. Precios de la tarifa eléctrica de Iberdrola, según periodos tarifarios. Fuente: (Iberdrola, s.f.).....	54
Tabla 26. Periodos tarifarios en verano (abril-octubre). ....	54
Tabla 27. Periodos tarifarios en invierno (noviembre-marzo). ....	54
Tabla 28. Reparto de horas según periodos tarifarios. ....	54
Tabla 29. Días laborables de cada mes. ....	55
Tabla 30. Datos iniciales de potencia, caso 1. ....	56
Tabla 31. Resultados termino de energía, caso 1.....	56
Tabla 32. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 1.....	57
Tabla 33. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 1.....	57
Tabla 34. Precio final de la factura eléctrica. ....	57
Tabla 35. Datos iniciales de potencia, caso 2. ....	58
Tabla 36. Resultados termino de energía, caso 2.....	58
Tabla 37. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 2.....	58
Tabla 38. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 2.....	59
Tabla 39. Precio final de la factura eléctrica, caso 2. ....	59
Tabla 40. Datos iniciales de potencia, caso 3. ....	59
Tabla 41. Resultados termino de energía, caso 3.....	60
Tabla 42. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 3.....	60
Tabla 43. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 3.....	61
Tabla 44. Precio final de la factura eléctrica, caso 2. ....	61
Tabla 45. Gastos anuales totales en electricidad. ....	61

Tabla 46. Gastos anuales totales, caso 1.....	62
Tabla 47. Gastos anuales totales, caso 2.....	62
Tabla 48. Gastos anuales totales, caso 3.....	62
Tabla 49. Ahorro anual en la facturación eléctrica. ....	63
Tabla 50. Ahorro anual en la renovación de luminarias.....	63
Tabla 51. Ahorro anual total. ....	63
Tabla 52. Datos iniciales para el cálculo del VAN y TIR. ....	64
Tabla 53. Resultados del cálculo del VAN, casos 2 y 3. ....	64
Tabla 54. Resultados del cálculo del TIR, casos 2 y 3. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de cerveza. ....	12
Figura 2. Distribución en planta. ....	14
Figura 3. Tabla 3.1 extraída del CTE DB HE3. ....	16
Figura 4. Sistemas de iluminación natural más utilizados. Fuente: PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial. ....	18
Figura 5. Tipos de radiación solar sobre un plano. Fuente: <a href="https://ovacen.com/">https://ovacen.com/</a> . ....	18
Figura 6. Representación de la cúpula celeste captada por las aperturas. Fuente: PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial. ....	20
Figura 7. Gráfico del factor de reducción ventana-muro. Fuente PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial. ....	21
Figura 8. División de la edificación en secciones. ....	23
Figura 9. Vista en planta, propuesta 1. ....	26
Figura 10. Vista frontal, propuesta 1. ....	27
Figura 11. Vista lateral, propuesta 1. ....	27
Figura 12. Vista 3D, propuesta 1. ....	27
Figura 13. Vista en planta, propuesta 2. ....	28
Figura 14. Vista frontal, propuesta 2. ....	28
Figura 15. Vista lateral, propuesta 2. ....	29
Figura 16. Vista 3D, propuesta 2. ....	29
Figura 17. Vista en planta, propuesta 3. ....	30
Figura 18. Vista frontal, propuesta 3. ....	30
Figura 19. Vista lateral, propuesta 3. ....	31
Figura 20. Vista 3D, propuesta 3. ....	31
Figura 21. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 1. ....	33
Figura 22. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 1. ....	34
Figura 23. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 2. ....	35
Figura 24. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 2. ....	36
Figura 25. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 3. ....	37
Figura 26. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 3. ....	38
Figura 27. Representación gráfica de la aparición de deslumbramientos. ....	39
Figura 28. Vista en planta, propuesta final. ....	44
Figura 29. Vista frontal, propuesta final. ....	44
Figura 30. Vista lateral, propuesta final. ....	44
Figura 31. Vista 3D, propuesta final. (1/2) ....	45
Figura 32. Vista 3D, propuesta final. (2/2) ....	45
Figura 33. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta final. ....	46
Figura 34. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta final. ....	47
Figura 35. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 9:00h, propuesta final. ....	48

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Eficiencia energética. ....	15
Ecuación 2. Nivel medio de iluminación. ....	19
Ecuación 3. Factor de ventanas.....	20
Ecuación 4. Iluminación media del interior de la edificación.....	24
Ecuación 5. Superficie de ventanales. ....	25
Ecuación 6. Término de energía. ....	55
Ecuación 7. Impuesto sobre la electricidad.....	55
Ecuación 8. VAN. ....	64

## **1. Justificación académica**

Académicamente el presente proyecto pretende aplicar los conocimientos adquiridos en cuanto a la iluminación, más concretamente en cuanto a iluminación natural, mediante los cuales se realizará un estudio de una nave industrial teórica sin aperturas para el aprovechamiento de la luz solar, todo ello con el cumplimiento de todas las normativas vigentes. De esta forma se diseñará un sistema para dicho aprovechamiento, lo cual solucionará uno de los problemas más comunes en las plantas industriales, la eficiencia energética que además conlleva un importante ahorro económico.

Durante todo el proyecto, se tendrán en cuenta distintos aspectos, como el proceso productivo que se lleva a cabo en el interior de la planta industrial, la distribución en planta o la ubicación de esta, los cuales son factores importantes a la hora del diseño de un sistema de iluminación natural, además de haber sido estudiados a lo largo del grado. De esta forma, se pretende realizar un proyecto que cumpla con las expectativas del aprovechamiento máximo de la iluminación natural según los requerimientos lumínicos, que además sea viable a nivel económico, lo cual se demostrará mediante un estudio económico del proyecto junto con el presupuesto asociado.

## **2. Justificación técnica**

Durante el presente Trabajo de Fin de Grado, se pretende solucionar un problema común en las plantas industriales, este es la eficiencia energética en este tipo de edificaciones. Con el objetivo de mejorar en este aspecto, se busca aprovechar la luz solar durante las horas de funcionamiento de la fábrica mediante la implantación de un sistema de iluminación natural basado en la colocación de tragaluces y ventanales a lo largo de los cerramientos laterales y la cubierta de la edificación.

Todo ello se realiza sobre una planta industrial productora de cerveza, la cual se ubica en el polígono industrial de la Alcúdia, en València. Con tal de solucionar el problema, se proponen distintas alternativas del sistema, variando el área tanto de los ventanales como de los lucernarios que se coloquen, así como su ubicación en la edificación y su ubicación respecto al norte, ya que esta es otra variable a tener en cuenta.

Con las alternativas propuestas y mediante un software específico para el problema abordado, se simularán cada una de ellas para posteriormente realizar el análisis de resultados oportuno y poder seleccionar aquella que mejores resultados obtenga en cuanto a los requerimientos de iluminación en la industria dentro de la normativa vigente.

## **3. Objetivos**

Los principales objetivos de la realización del presente Trabajo de Fin de Grado se enumeran a continuación:

- Estudiar los diferentes tipos de iluminación natural existentes en el ámbito industrial, así como comprender la utilización de cada uno de ellos para poder escoger aquel que mejor se adecue a la planta industrial objeto de estudio.

- Adquirir capacidad de comprensión de las normativas vigentes, en este caso la normativa sobre requerimientos de iluminación en ambientes industriales y eficiencia energética.
- Realizar un estudio relacionado con la iluminación natural en una planta industrial concreta para posteriormente diseñar, simular y analizar diferentes alternativas mediante un software específico.
- Comparar el sistema de iluminación natural seleccionado con otras alternativas de sistema de iluminación mixtos en cuanto a su eficiencia energética.
- Escogido el sistema con mejores resultados, realizar el presupuesto del mismo, tanto de instalación como de mantenimiento.
- Estudiar la viabilidad económica del proyecto final.

#### **4. Proceso productivo**

La planta industrial objeto de estudio del trabajo está dedicada a la producción de cerveza, la cual tiene detrás un proceso productivo específico que se divide en diferentes etapas por las cuales debe de pasar el producto.

La cerveza es un tipo de bebida alcohólica fabricada a partir de cereales ricos en almidón los cuales tienen la capacidad de germinar el grano, el cereal que más se utiliza en la actualidad es la cebada, aunque también se pueden encontrar cervezas de otro tipo de cereal como trigo, avena, espelta, etc. Además del cereal que se utilice, se añaden a la mezcla más ingredientes, como agua, levadura, lúpulo o grits, estos últimos son un tipo de cereal que se utiliza tanto para la estabilización de la espuma, variar la densidad del producto final o añadir diferentes matices en la cerveza.

En cuanto al proceso productivo, como se ha comentado anteriormente, se diferencian 4 grandes etapas dentro de las mismas se encuentran distintas subetapas. Las etapas son:

- Malteado.
- Cocción.
- Fermentación.
- Envasado y etiquetado.

Todas estas etapas corresponden al proceso productivo específico de la cerveza, pero también realizan otras actividades necesarias para el correcto funcionamiento de la planta industrial y con el objetivo de obtener un producto final con la mayor calidad posible, entre ellas destacan la recepción de la materia prima y su almacenamiento, el tratamiento del agua que se utiliza durante todo el proceso de producción y el control de calidad tanto de la materia prima, como del agua o del producto final, el cual se realiza en el laboratorio.

Respecto al tratamiento del agua, su principal objetivo es la obtención de un agua libre de microorganismos, materia orgánica, sin exceso de sales y sin olor ni sabor. Para ello primero se realiza un proceso de filtración, coagulación-floculación, sedimentación y descarbonatación mediante el cual se elimina la materia en suspensión. A continuación, el agua pasa por un proceso de desionización para la eliminación de las sales, y finalmente se somete a un tratamiento mediante carbón activo para la eliminación total de los compuestos orgánicos que contaminan el agua.

En cuanto a tipos de cerveza existen muchos, pero todos ellos se engloban en dos grandes grupos, la cerveza lager, y la cerveza ale. Estos se diferencian entre si por el tipo de fermentación al que se someten, pero además de esta clasificación, dentro de cada grupo las cervezas se diferencian entre si según el tipo de cereal utilizado, según el tostado de la malta, según su procedencia, etc.

A continuación, se describen las etapas del proceso productivo.

#### **4.1. Malteado**

El principal objetivo de esta etapa consiste en pasar de granos de cereal de cebada, a malta, la cual consiste en germinar parcialmente el cereal inicial. Para llegar a ese punto de germinación, el cereal debe de pasar por 3 subetapas.

Inicialmente, después de llevar a cabo un control de calidad de la materia prima y un tamizado para eliminar las impurezas que pueda haber presentes, el cereal pasa por un proceso de remojo, donde el grano se sumerge en agua hasta alcanzar una humedad entre el 42 y 44% durante unas 48h.

Durante todo se debe airear la mezcla para activar la respiración controlando el O<sub>2</sub>, además de controlar la temperatura (entre 12-14°C) y la humedad del grano.

Posteriormente, en el momento que se empiezan a formar las raíces a partir del grano de cereal, empieza el proceso de germinación, el cual tiene el objetivo de que la cebada segregue enzimas durante su germinación parcial. Este proceso tiene de 10 a 12 días de duración y se lleva a cabo a una temperatura controlada de 15°C.

Cuando las raíces llegan a una determinada longitud, se pasa al tostado, donde se detiene la germinación y se reduce la humedad drásticamente, pasando a estar a menos de 5% de humedad. Con una duración máxima de 40 horas, se divide en dos fases, la primera fase de desecación, donde se alcanzan temperaturas de hasta 50°C reduciendo la humedad hasta un 10%; y la segunda, el golpe de fuego, alcanzándose temperaturas de hasta 80°C y reduciéndose la humedad hasta el 5%. Finalmente, dependiendo de la velocidad del secado del grano se obtendrá una cerveza tostada o una cerveza clara, en el caso de la primera, se necesita un secado más lento, mientras que para la segunda se necesita un secado más rápido.

## 4.2. Cocción

Durante esta etapa se busca elaborar el mosto de cerveza a partir de la malta (grano de cebada germinado), lúpulo y granos crudos, transformando el almidón en azúcar. Como principales subetapas de la cocción se encuentran las que se listan a continuación por orden secuencial:

- Molienda.
- Braceado o macerado.
- Filtración.
- Ebullición y lupulado.
- Enfriamiento.

Durante la molienda, se busca elaborar harina a partir de la malta y los granos crudos, aumentando así la superficie específica para entrar en contacto con el agua posteriormente.

Seguidamente, se lleva a cabo el braceado o macerado, obteniendo al final de esta subetapa el mosto de la cerveza y mediante la cual se transforma el almidón en azúcar, pasando previamente por maltosa. Todo ella se lleva a cabo con la aportación de agua y calentando la mezcla entre 50-70°C. Finalmente, se necesita un control de calidad para asegurar que todo el almidón ha reaccionado con el agua convirtiéndose en azúcar.

A continuación, se procede a filtrar la mezcla, separando el mosto del bagazo, el cual se compone de la cebada húmeda y se lava para poder recuperar parte del mosto restante que contiene devolviéndolo al proceso.

Posteriormente, la totalidad del mosto obtenido en las etapas anteriores pasan a la fase de ebullición y lupulado, mediante la cual se lleva el mosto hasta su ebullición durante 2h al mismo tiempo que se le añade el lúpulo. Este último se adiciona a la mezcla con la finalidad de aromatizar el mosto y darle el sabor amargo característico de la cerveza, dependiendo de la cantidad que se añada, se obtendrá un tipo de cerveza u otro.

En cuanto a la ebullición a la que se somete el mosto, se lleva a cabo buscando la estabilización de la cerveza, eliminando microorganismos que puedan seguir presentes en el mosto y destruyendo las enzimas segregadas en la fase de germinación.

Finalizada la ebullición, se pasa por una fase de enfriamiento previa a la etapa de fermentación, mediante la cual el mosto se enfría desde los 98°C hasta los 8°C. Además, gracias al enfriamiento, precipita los restos de lúpulo presentes en el mosto, así como los coloides formados, finalizando el proceso con la inyección de aire estéril oxigenando la mezcla final.

## 4.3. Fermentación

Esta etapa del proceso productivo de la cerveza consta de tres subetapas, la fermentación primaria, la fermentación secundaria y una filtración final, con el objetivo final de convertir el azúcar del mosto en etanol y CO<sub>2</sub> al mismo tiempo que se reproducen diferentes aromas del producto final a través de la adición de levaduras. Dependiendo de estas últimas, se obtendrán cervezas muy diferentes entre sí.

Durante la fermentación primaria es el momento en el cual se añade la levadura mediante un proceso aerobio, es decir, con aportación de oxígeno. Una vez se tiene la cantidad de levadura

correcta, se deja de inyectar oxígeno y se pasa a un proceso anaerobio, donde mediante una reacción exotérmica, la glucosa del mosto se transforma en alcohol y CO<sub>2</sub>.

Como se ha comentado anteriormente, la fermentación es el proceso mediante el cual se obtiene la principal diferenciación entre los dos grandes grupos en los que se agrupan las cervezas, ale o lager.

- Cervezas ale: la fermentación se lleva a cabo en la parte alta del depósito, es decir, la levadura flota en la mezcla. Además, la temperatura idónea se encuentra entre 15 y 25°C. Se trata de un tipo de cerveza más turbia.
- Cervezas lager: la fermentación se lleva a cabo en la parte baja del depósito, con las levaduras depositadas en el fondo de la mezcla. Se produce a una temperatura de 5-10°C. Las cervezas lager tienen un color final más claro.

Terminada la fermentación primaria, se produce la fermentación secundaria mediante la cual se lleva a cabo la maduración de la cerveza. Es el momento en el cual se fermenta la resta de los azúcares que no lo han hecho anteriormente, la cerveza se satura de CO<sub>2</sub> y finalmente se decanta la levadura y los coloides presentes. En el caso de las cervezas ale, la maduración necesita una temperatura de 4-5°C, mientras que en las cervezas lager, se necesita 0-2°C. En los dos casos, el tiempo de maduración es de 2-3 meses.

Para finalizar la etapa de la fermentación, se somete a la cerveza a un proceso de filtración, por debajo de los 0°C, mediante la utilización de filtros diatomeas clarificando la cerveza. Este tipo de filtro funciona mediante una microbacteria de tamaño medio y grande que filtra la cerveza, purificándola con un alto rendimiento.

#### **4.4. Envasado y etiquetado**

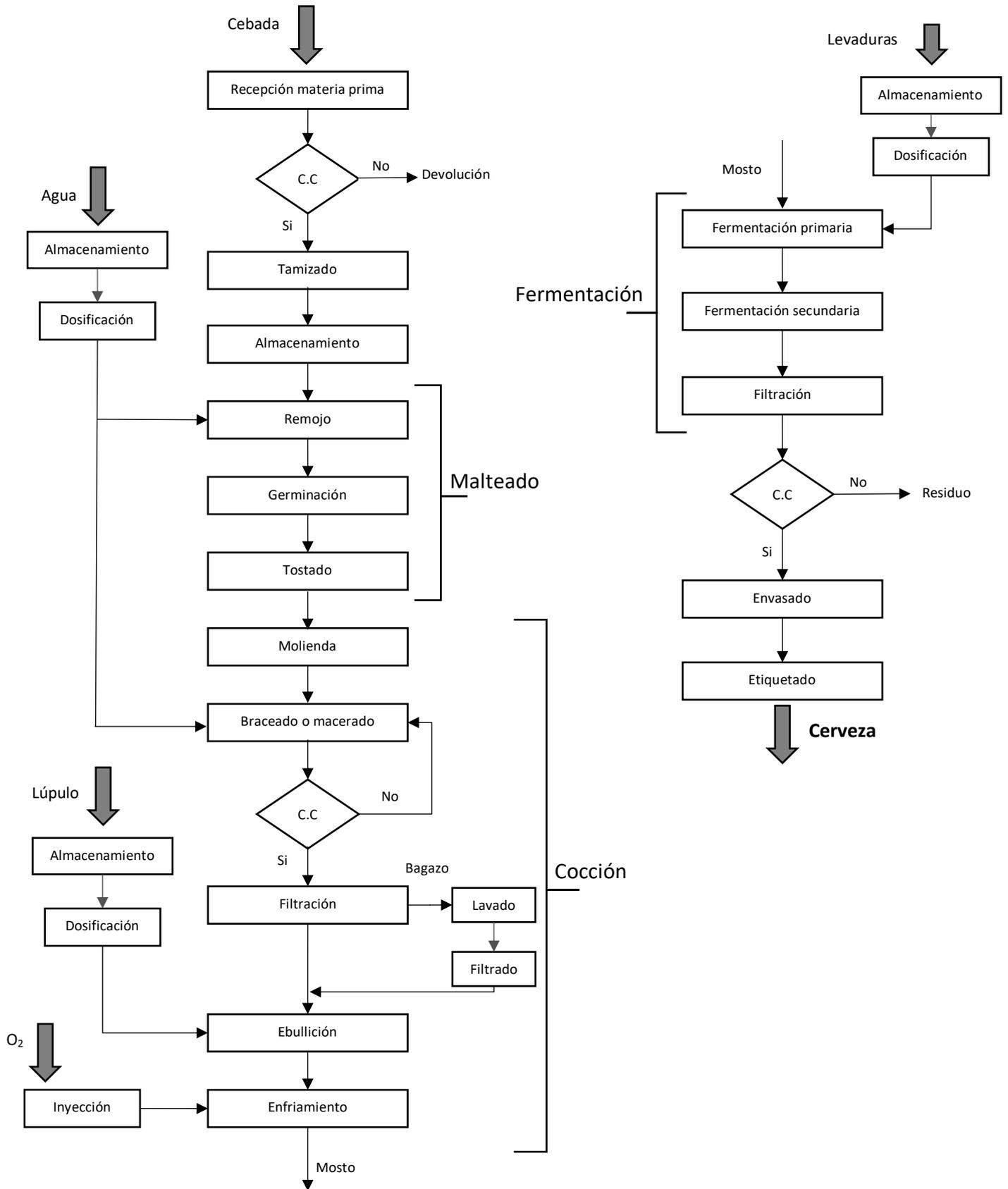
Llegado a este punto, ya se tiene la cerveza como producto final, solo falta su envasado, por lo cual, antes de proceder al envasado, se lleva a cabo un control de calidad del producto.

El objetivo del envasado no es más que introducir la cerveza en el envase correspondiente sin alterar sus propiedades alcanzadas durante las etapas anteriores. Para ello es necesario evitar la entrada de oxígeno y la pérdida de CO<sub>2</sub> durante el proceso, además de no favorecer el desarrollo de las levaduras que hayan atravesado el filtro.

Antes del envasado, es necesario eliminar las levaduras todavía presentes en la cerveza mediante una pasteurización flash o una microfiltración más exhaustiva. Luego, eliminadas las levaduras, el envase se llena mediante grifos isobarométricos que encajan herméticamente manteniendo la presión. Finalmente, un aspecto a tener en cuenta es la existencia de aire en el cuello de la botella, para lo cual se intenta que se forme algo de espuma en la cerveza expulsando así ese aire.

Finalmente, en la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo que sigue el proceso productivo de la cerveza dentro de la planta industrial.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial productora de cerveza.*



*Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de cerveza.*

## **5. Distribución en planta**

La planta industrial que se va a estudiar a lo largo del presente TFG ocupa una superficie de 1000m<sup>2</sup>. En cuanto al estudio de la iluminación requerida en el interior de la edificación, es necesaria la diferenciación de cada una de las zonas que componen la planta industrial, ya que cada una de ellas necesitará unos requerimientos lumínicos específicos según la actividad que se desarrolle, los cuales se establecerán más adelante.

Cabe destacar que 120m<sup>2</sup> del interior de la planta van destinados a oficinas, vestuarios, WC y laboratorio de calidad, los cuales no forman parte del estudio de la iluminación natural del interior de la planta industrial, ya que estas zonas son independientes por estas compartimentadas y tendrán una iluminación adecuada a sus necesidades. Habitualmente se utiliza una iluminación artificial en el caso del laboratorio de calidad, el cual es la zona más estricta en cuanto a iluminación, garantizando en todo momento cantidad de luxes necesaria para poder llevar a cabo las tareas correctamente, mientras que, en oficinas, vestuarios y WC se utiliza una iluminación mixta, además de que son zonas con menos restricciones en cuanto a niveles de iluminación.

En cuanto a la distribución, se dispone de un pasillo central para el paso de personas y de maquinaria con suficiente superficie para una correcta maniobrabilidad, este se divide en dos zonas, una más amplia donde es más frecuente el paso de maquinaria, y una más estrecha, dónde es más frecuente el paso de personas y no tanto de maquinaria.

Luego, se habilita una zona específica para cada una de las etapas que componen el proceso de producción según su ordenación en cuanto al diagrama de flujo (véase la Figura 1), es decir, una zona para la cocción, otra dedicada al malteado, otra donde se realiza la fermentación, y otra para el envasado y etiquetado. Destacar que en las zonas de cocción, malteado y fermentación se cuenta con diferentes tanques para llevar a cabo cada una de las fases que componen las etapas, mientras que se dispone de la instalación de maquinaria específica en el envasado y en el etiquetado.

Asimismo, se cuenta con una zona específica para almacenes, tanto de materia prima, como de producto acabado y del material de envasado y etiquetado, los dos primeros se colocan lo más cerca posible de la zona de carga y descarga de la planta industrial para facilitar el proceso. Finalmente, se dispone de una zona de almacenamiento de residuos, la cual se encuentra alejada de la zona de producción, para no interponerse entre las etapas del proceso.

A continuación, en la Figura 2 se muestra la distribución en planta de la fábrica, así como la dirección del flujo de la materia prima siguiendo las etapas del proceso de producción.

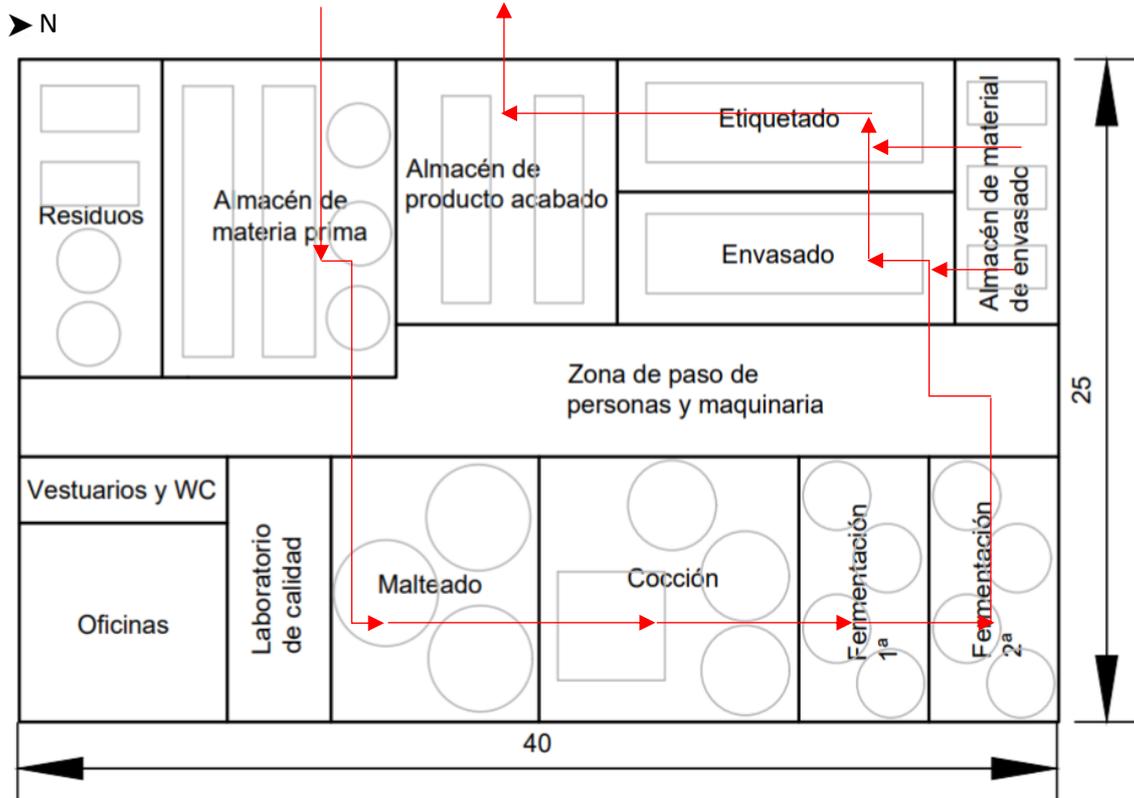


Figura 2. Distribución en planta.

## 6. Iluminación

La iluminación de los diferentes puestos de trabajo debe ser la adecuada para permitir a los operarios moverse por el interior de la edificación y desarrollar sus funciones con las condiciones de visibilidad adecuadas sin poner en riesgo su seguridad. Además, una correcta iluminación del lugar de trabajo contribuye positivamente en la psicología del operario, creando un confort y una satisfacción de estos en su entorno, evitando al máximo la aparición de fatiga visual.

Cabe destacar que dependiendo de la actividad desarrollada en cada uno de los lugares de trabajo se necesitarán unos niveles medios de iluminación que se deben tener en cuenta en el diseño del sistema de iluminación. Estos niveles medios se especifican en la normativa sobre los requerimientos de iluminación y dependen de diversos factores como la movilidad, los objetos utilizados, la visualización de objetos, etc.

### 6.1. Requerimientos

Los niveles de iluminación son distintos en cada puesto de trabajo, y estos dependen de diferentes factores como pueden ser el tiempo de observación que se emplea, la movilidad de los objetos, la necesidad de precisión, etc. Todo ello se tiene en cuenta con la finalidad de mejorar la seguridad de los operarios, así como de mejorar la productividad de estos.

Con el propósito de regular y decretar unos valores medios en diferentes aspectos lumínicos para cada una de las zonas de trabajo que existen en la actualidad, surgieron normativas tanto a nivel nacional como europeo. A nivel nacional surgió inicialmente la normativa OGSHT-71 y

actualmente el Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, mientras que a nivel europeo hay dos, la normativa DIN 5035 y la UNE 12464.1.

A lo largo de estas normativas se establecen los valores mínimos que se necesitan para garantizar la salud y seguridad de los operarios, además de obtener beneficios a nivel energético y por tanto, económico.

En primer lugar, se establece el nivel mínimo de iluminación, en luxes, en cada zona, según el trabajo que se realice en ella, y a la altura a la que se realice, incluyendo las vías de circulación. Todo ello sin sobrepasar unos valores máximos establecidos a partir de los cuales se puede aumentar el riesgo de fatiga visual, e incluso llegar a producir daños oculares por exposición prolongada a un exceso de luz.

Otro aspecto que se instaura es la uniformidad en el plano de trabajo, con unos valores mínimos entre 30-40% de luminosidad, garantizando así una buena iluminación general que contribuye al confort y a la visión de los operarios.

Finalmente, se deben reducir al máximo los deslumbramientos en los puestos de trabajo, evitando una incidencia de la luz menor a 30º respecto del plano horizontal a partir de la altura de los ojos de las personas expuestas. El cumplimiento de todos estos aspectos lumínicos contribuirá positivamente en la seguridad de los trabajadores, así como en su bienestar psicológico, obteniendo una satisfacción mayor en ellos.

Además, el Código Técnico de la edificación, más conocido como CTE, exige que, en edificios de nueva construcción, entre otros, el aprovechamiento de la iluminación natural sea máximo, que se verificará mediante un procedimiento que se explica a continuación.

#### 6.1.1. Eficiencia energética

Con la finalidad de garantizar la utilización de la iluminación natural en interiores, el CTE exige la instalación y utilización de sistemas de control y regulación destinados al aprovechamiento de la iluminación natural.

Para su verificación se debe calcular el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI para cada una de las zonas de trabajo que componen la edificación y por cada 100 luxes. La ecuación utilizada en el cálculo se muestra a continuación.

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

*Ecuación 1. Eficiencia energética.*

Siendo:

$P$ : la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W).

$S$ : la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).

$E_m$ : la iluminancia media mantenida (lux).

En la Figura 3 se muestra una tabla extraída del CTE donde se indican los valores límite del cociente de VEEI calculado según las zonas objeto de estudio. Destacar que el CTE no aplica a nivel industrial, por tanto, se toma como una recomendación en ausencia de una norma específica.

**Tabla 3.1 - HE3 Valor límite de eficiencia energética de la instalación (VEEI<sub>lim</sub>)**

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico <sup>(1)</sup>	3,5
Aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
Habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
<i>Zonas comunes</i> <sup>(4)</sup>	4,0
Almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
Estaciones de transporte <sup>(6)</sup>	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
<i>Zonas comunes</i> en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
Hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

*Figura 3. Tabla 3.1 extraída del CTE DB HE3.*

Analizándose los datos de la figura anterior, se tiene que para una edificación como la que se va a estudiar, el valor de VEEI límite es de 4, es decir, se tiene que obtener un valor por debajo de 4 para que la edificación sea eficiente energéticamente.

## 6.2. Tipos de iluminación

En cuanto a tipos de iluminación existentes, estos se diferencian según la procedencia de la luz, y según la incidencia de esta.

Según la procedencia de la luz, se encuentran los siguientes tipos:

- Iluminación natural: procedente del Sol, la cual es la más económica, permitiendo además mejorar la visibilidad dentro de la edificación produciendo menor fatiga visual.
- Iluminación artificial: se suministra por fuentes de energía externas.

Entre la iluminación natural y la artificial siempre se priorizará la primera y solo se utilizará la segunda en caso de que no se llegue a los requerimientos de iluminación medios en el lugar de trabajo.

Según la incidencia de la luz, se distinguen los siguientes tipos:

- Iluminación general: es aquella que se reparte uniformemente por toda la zona de trabajo.
- Iluminación localizada: esta se aplica en situaciones específicas para iluminar una zona concreta y no muy extensa del lugar de trabajo.

En este caso, prevalecerá la iluminación general por delante de la localizada. La iluminación localizada solo se utilizará en zonas concretas donde es necesario alcanzar unos niveles de iluminación más elevados complementando así la iluminación general.

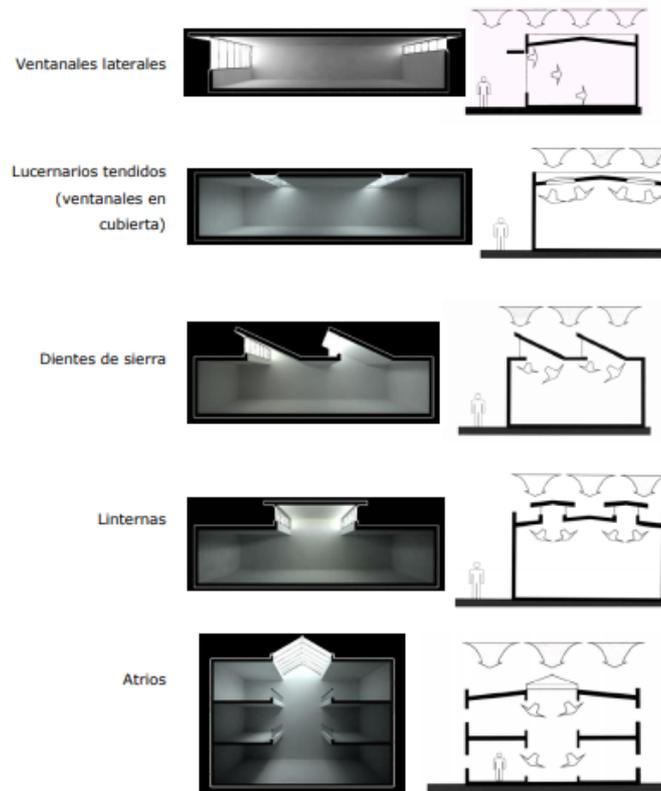
### 6.3. Iluminación natural

Como se ha comentado anteriormente, la iluminación natural prevalece por delante de la artificial, razón por la cual se estudian, diseñan e instalan sistemas de iluminación natural para el máximo aprovechamiento de la luz solar diurna. Todo ello conllevará beneficios futuros en cuanto la eficiencia energética de la planta contribuyendo positivamente en la economía de la empresa.

En cuanto al diseño del sistema de iluminación natural, se deben de considerar distintos factores que influyen en él. En primer lugar, la superficie interior es un aspecto a tener en cuenta, así como la distribución y las dimensiones de los objetos presentes en el plano útil que se va a estudiar. Asimismo, es necesario conocer la ubicación en la que se encuentra la edificación y el clima que predomina en esa zona geográfica.

Por otra parte, se deben de conocer a la perfección los requerimientos lumínicos medios de cada una de las zonas de trabajo en las que se divide la superficie interior, sin incurrir en problemas de deslumbramiento, lo cual conlleva un problema en el momento que los operarios desarrollan sus tareas específicas.

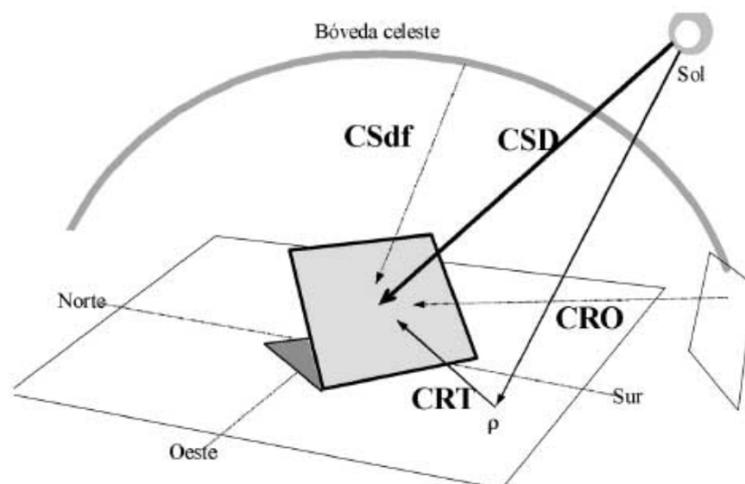
Finalmente, el conocimiento de los diferentes sistemas de iluminación natural existentes permitirá un mejor diseño y por tanto una mejor optimización de la iluminación natural atendiendo a los factores anteriormente mencionados. En la siguiente Figura 4 se muestran los cinco sistemas de iluminación natural más comunes.



*Figura 4. Sistemas de iluminación natural más utilizados. Fuente: PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial.*

### 6.3.1. Fundamentos

Un aspecto importante para optimizar al máximo la iluminación natural que incide en la edificación a la hora del diseño del sistema a utilizar, es el conocimiento de los tipos de radiación proveniente de la luz solar. Estos son, radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada tanto por el terreno como por los objetos de alrededor. Se representan a continuación.



*Figura 5. Tipos de radiación solar sobre un plano. Fuente: <https://ovacen.com/>.*

Donde:

- C<sub>Sdf</sub>: radiación solar difusa, como consecuencia de la presencia de la atmosfera que la dispersa.
- C<sub>SD</sub>: radiación solar directa, proveniente de la bóveda celeste.
- C<sub>RT</sub>: radiación solar reflejada del terreno.
- C<sub>RO</sub>: radiación solar reflejada en objetos.

Determinados los tipos de radiación solar que inciden en la edificación, se debe matizar que estas experimentan una variación constante debido a factores externos como: el movimiento de translación de la tierra, variando la época del año por la posición del sol, lo que provoca que los rayos solares incidan con mayor o menor inclinación respecto al plano de estudio; el movimiento de rotación de la tierra, que variará la cantidad de radiación según la hora del día; y, los cambios meteorológicos, variaciones imprevisibles como la presencia de nubes que convierten la radiación directa, en radiación difusa.

Para estimar la cantidad de luz incidente en el plano de estudio tanto si es directa o es difusa, la *Comission Internationale de l'Éclairage* (CIE) ha establecido una serie de modelos matemáticos, con la finalidad de poder determinar las distribuciones ideales de la luminosidad del cielo. Destacan el cielo despejado, cielo cubierto y cielo uniforme.

En la edificación objeto de estudio de la presente memoria, se va a utilizar el modelo matemático del cielo cubierto para el cálculo a realizar, debido a que la gran mayoría de radiación exterior es difusa. De esta forma, se garantiza la consecución del nivel de iluminación interior de la edificación en la mayoría de los días del año.

#### 6.4. Método de cálculo analítico

Se va a hacer uso de un método analítico para el cálculo de la superficie de ventanales y tragaluces a implementar en el sistema de iluminación natural a diseñar. Este está basado en el método creado por el Dr. Fruhling, el cual se ha modificado con la finalidad de adaptarlo a las edificaciones industriales.

Este método, en función del nivel de iluminación respecto del plano horizontal exterior y el nivel de iluminación media requerido en el interior de la planta industrial, permite calcular la superficie máxima de aperturas. A continuación, se muestra la ecuación que permite este cálculo:

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s}$$

*Ecuación 2. Nivel medio de iluminación.*

Donde:

- **$E_m$** : nivel de iluminación medio requerido en el interior.

Se trata de un valor que mide el nivel medio de iluminación que es necesario en el interior de la edificación. Para ello es necesario dividir la superficie interior en diferentes zonas según la

actividad desarrollada. Realizado este paso, mediante la normativa UNE 12464.1 se extraen los valores de iluminación requeridos para cada una de las divisiones, calculando finalmente el valor medio del sumatorio de todas ellas.

- $E_a$ : nivel de iluminación exterior.

Este valor es variable según la ubicación geográfica donde se sitúa la edificación a una hora determinada. En cuanto a la edificación objeto de estudio, el nivel de iluminación exterior que se va a utilizar, según su ubicación en València y a las 9:00 de la mañana, es de 3000 luxes.

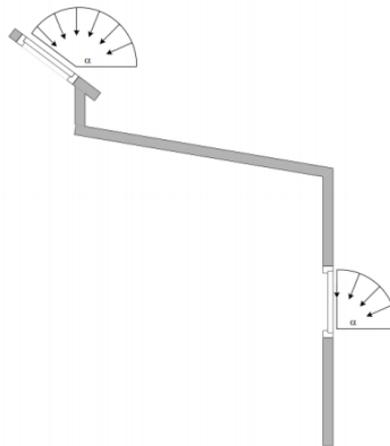
- $f$ : factor de ventanas.

El factor de ventanas es el parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste según la colocación de las aperturas en la edificación. Se utiliza la siguiente ecuación para determinar su valor:

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

*Ecuación 3. Factor de ventanas.*

Siendo  $\alpha$  el ángulo que forma la superficie de la ventana respecto del plano horizontal, de forma que se tendrá un valor de  $f$  para la superficie de lucernarios, y otro para la superficie de ventanales, como se muestra en la Figura 6.



*Figura 6. Representación de la cúpula celeste captada por las aperturas. Fuente: PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial.*

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

Representa la reducción del paso de luz solar al interior de la edificación según el grosor del cerramiento lateral. El valor será menor cuanto mayor sea la anchura de la pared donde se sitúa la ventana. Para su cálculo es necesaria la siguiente gráfica.

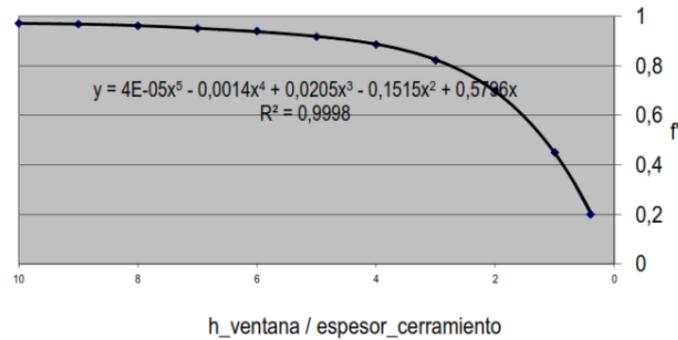


Figura 7. Gráfico del factor de reducción ventana-muro. Fuente PoliformaT, apuntes Construcción y Arquitectura Industrial.

En el caso de estudio, se tomará 1 como valor del factor de reducción ventana-muro.

- $\eta$ : rendimiento del recinto.

Mediante este valor se tiene en cuenta que la totalidad del flujo luminoso que llega al interior de la edificación no incide directamente en el plano de trabajo, sino que gran parte de ese flujo inciden en otras superficies del interior, como paredes o depósitos, donde se refleja pudiendo incidir posteriormente en el plano de trabajo. Este factor suele tener un valor entre 40-50% en recintos rectangulares.

- $S_s$ : superficie del local.

Referencia la superficie total del local a iluminar, en este caso se trata de un edificio de 40m de largo y 25m de ancho, con una superficie de 1000m<sup>2</sup>.

- $S_v$ : superficie de ventanas.

Se trata de la superficie de ventanas que se pueden implementar en la edificación para conseguir el nivel de iluminación media requerida para el interior del edificio.

### 6.5. Criterios de aceptación del sistema de iluminación natural

Realizadas las simulaciones correspondientes a las tres propuestas de diseño del sistema de iluminación natural mediante el software específico de DIALux, se analizarán los resultados obtenidos atendiendo a cuatro parámetros que deben de cumplir, estos parámetros son:

- **Nivel de iluminación media ( $E_m$ )**

Corresponde al valor que se ha explicado anteriormente en cuanto al método analítico de cálculo. Se trata de la iluminación media de cada una de las zonas en las que se divide el interior

de la planta industrial según la actividad que se realiza en cada una de ellas. Este valor se indica en la UNE 12464.1 dependiendo de la actividad desarrollada.

- **Uniformidad ( $E_{\min}/E_m$ )**

Indica la existencia o no de cambios bruscos de nivel de iluminación dentro de una zona específica. Se calcula mediante el cociente del valor mínimo de iluminación obtenido en algún punto del área de estudio, entre el nivel de iluminación medio conseguido en toda la zona. Para considerar este valor como válido, el valor de la uniformidad de cada una de las zonas debe ser igual o superior a 0,3.

- **Deslumbramientos**

Se trata de un parámetro importante para el confort y seguridad de los trabajadores puesto que, de producirse deslumbramientos durante la realización de una tarea, puede llevar a una mala ejecución de esta, a elevar el riesgo de accidente e incluso provocar daños oculares si se trata de una exposición prolongada.

Es un parámetro que se analizará manualmente, ya que DIALux no permite su cálculo. Por tanto, como se ha comentado anteriormente, se producirán deslumbramientos si la luz incide en el ojo del trabajador en un ángulo menor a 30º con respecto al plano horizontal a la altura del ojo.

- **Nivel máximo de iluminación ( $E_{\max}$ )**

Es importante que en ningún punto del plano de trabajo de la planta industrial se supere el nivel máximo de iluminación, el cual es de 2000 luxes, ya que en caso contrario podría ser molesto para los operarios que estén presentes en la zona en la que se supere.

## **7. Diseño del sistema de iluminación natural**

En la realización del diseño del sistema de iluminación natural se va a hacer uso del modelo de cálculo analítico que se ha expuesto en el punto 5.4. Método de cálculo analítico. Como se ha mencionado en dicho punto, la superficie interior del edificio debe de dividirse en diferentes secciones según la actividad específica que se desarrolle en cada una de ellas. Esta diferenciación viene indicada en la normativa UNE 12464.1, donde se exponen las posibles actividades llevadas a cabo dentro de una edificación industrial.

En primer lugar, se dispone de una sección de almacenes y cuarto de almacén, en esta zona se encuentran los almacenes de materia prima y de material de envasado, así como la zona dedicada al almacenaje de los residuos.

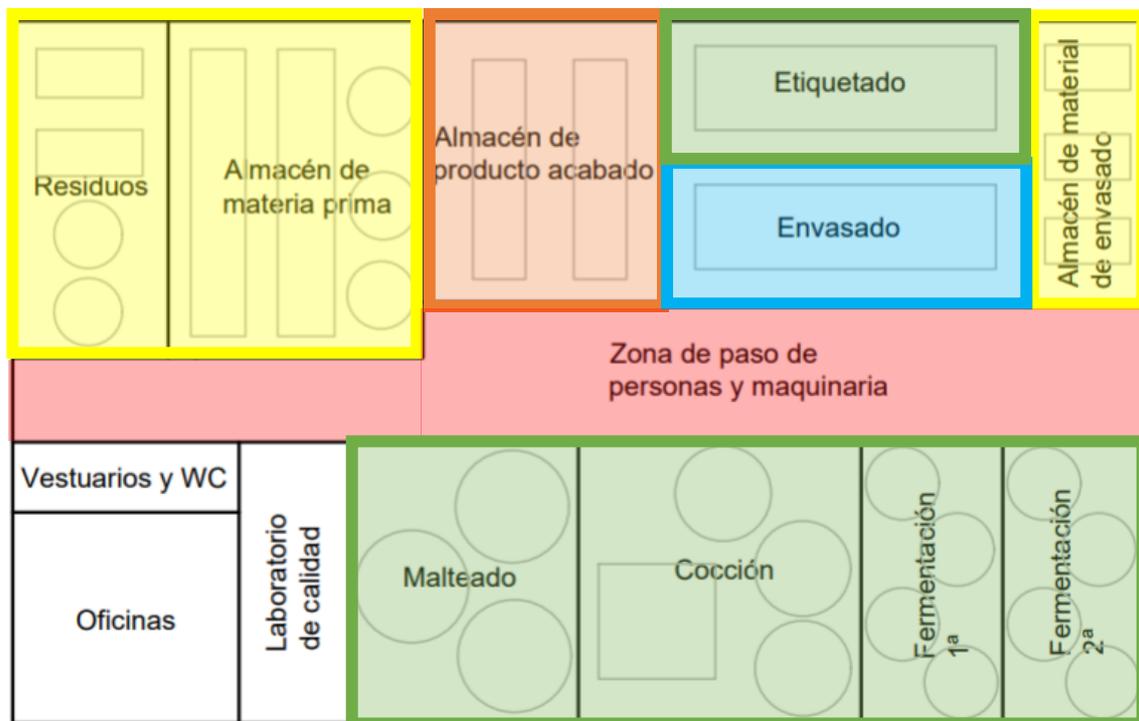
En segundo lugar, se tiene un área de circulación y pasillos a la cual corresponde el pasillo central que recorre la edificación de norte a sur.

Posteriormente, hay una zona de inspección de colores y productos, a esta sección pertenece la zona de envasado, donde se realizan trabajos de registro e inspección del producto final al paso por la máquina de envasado.

A continuación, se dispone de diferentes zonas dentro de la planta que corresponden a la sección de zonas de trabajo en general. En estas zonas se desarrolla principalmente todo el proceso productivo de la cerveza que se ha explicado anteriormente en el punto 3. Proceso productivo, las cuales son: malteado, cocción, fermentación 1ª y 2ª, y etiquetado.

Finalmente, se tiene el almacén de producto acabado que pertenece a la sección de manipulación de paquetes y expedición.

Destacar que las zonas de oficinas, laboratorio de calidad, vestuarios y WC, dispondrán de un sistema de iluminación diferente e independiente del resto de la planta y entre sí, con la finalidad de satisfacer cada uno de los requisitos lumínicos correspondientes a la zona en cuestión, por tanto, estas zonas se excluyen del estudio del sistema de iluminación natural y actuarán dentro de la edificación como un depósito más, pero con sus dimensiones exactas.



*Figura 8. División de la edificación en secciones.*

Estas secciones se clasificarán según se indica en la Tabla 1. Esta clasificación se utilizará de aquí en adelante en la presente memoria.

*Tabla 1. División de la edificación en secciones.*

	1	Almacenes y cuarto de almacén
	2	Áreas de circulación y pasillos
	3	Inspección de colores productos
	4	Manipulación de paquetes y expedición
	5	Zonas de trabajo en general

Realizada la división de la superficie en secciones independientes, se debe de volver a consultar la normativa UNE 12464.1 donde se indican los valores de iluminación requerida según la sección y su actividad desarrollada. A continuación, en la Tabla 2 se muestran los valores de iluminación requerida, así como la superficie que ocupa cada una de las secciones.

Tabla 2. Iluminación requerida según la UNE 12464.1 por secciones.

Sección	$E_i$ (lux)	Superficie (m <sup>2</sup> )
1	100	214
2	100	171
3	1000	65
4	300	85
5	200	345

A continuación, se va a realizar el cálculo de la superficie de ventanas y lucernarios necesaria para el diseño del sistema de iluminación natural. Para ello es necesaria la Ecuación 2 del método de cálculo analítico.

Inicialmente, se debe calcular la iluminación media de la totalidad de la edificación, esto se lleva a cabo con la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum E_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

*Ecuación 4. Iluminación media del interior de la edificación.*

Sustituyendo con los datos de la Tabla 2, se quedaría la siguiente expresión:

$$E_m = \frac{100 \cdot 214 + 100 \cdot 171 + 1000 \cdot 65 + 300 \cdot 85 + 200 \cdot 345}{880} = 225 \text{ luxes}$$

Seguidamente, en cuanto al valor de  $E_a$ , como se ha comentado en el punto 5.4. Método de cálculo analítico, es igual a 3000 luxes. Este valor viene dado por la ubicación geográfica donde está situada la planta industrial, en la provincia de València a las 9h de la mañana.

Luego, el factor de ventanas es diferente si se trata de ventanas o de lucernarios. Por ello se deben de realizar dos cálculos, uno para el cerramiento lateral, y otro, para la superficie de lucernarios.

- Cerramiento lateral:

$$\alpha = 90^\circ$$
$$f = \frac{\alpha}{180} = \frac{90}{180} = 0,5$$

- Lucernarios

$$\alpha = 175^\circ$$
$$f = \frac{\alpha}{180} = \frac{175}{180} = 0,972$$

En cuanto a factor  $f'$ , como se ha comentado, tiene un valor igual a 1. Mientras que el rendimiento del recinto, el cual se ha explicado anteriormente que debe de estar entre 40-50%, se cogerá un valor intermedio como 45%, que para introducirlo en la ecuación se utilizará el valor decimal 0,45.

Finalmente, la superficie de suelo utilizada en el diseño del sistema de iluminación será de 880m<sup>2</sup>, la cual se obtiene con la suma de todas las secciones que se deben de estudiar.

Con todo lo mencionado anteriormente, seguidamente se va a calcular la superficie teórica de ventanas y de lucernarios necesaria para el diseño del sistema de iluminación natural, despejando  $S_v$  de la Ecuación 2, con lo que se quedaría la siguiente expresión:

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_s}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta}$$

*Ecuación 5. Superficie de ventanales.*

- Cerramiento lateral.

$$S_v = \frac{225 \cdot 880}{3000 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,45} = 293,33 \text{ m}^2$$

- Lucernarios.

$$S_v = \frac{225 \cdot 880}{3000 \cdot 0,972 \cdot 1 \cdot 0,45} = 150,89 \text{ m}^2$$

Sin embargo, estos son los valores teóricos de superficie tanto de ventanales como de lucernarios calculada para un material de vidrio transparente. Pero en este caso, se va a hacer uso de policarbonato que es más opaco. De esta forma, se puede dar el caso que para llegar a los requisitos lumínicos es necesaria una mayor superficie de ventanales o lucernarios que la teórica.

### 7.1. Propuestas

Conocidas las superficies teóricas de las aperturas del edificio, tanto de cerramiento lateral como de lucernarios, se van a realizar 3 propuestas diferentes para el diseño del sistema de iluminación natural, según las necesidades lumínicas requeridas.

Para poder llevar a cabo este proceso de diseño, se va a utilizar un software específico, DIALux, el cual permite introducir tanto la edificación como su distribución interior, es decir, permite introducir objetos que se encuentran en el interior como pueden ser depósitos, estanterías, maquinaria, etc. mediante figuras geométricas. Mediante el mismo se realizará el modelaje gráfico de la planta industrial y las simulaciones lumínicas en diferentes épocas del año, y este devolverá una serie de resultados en las distintas situaciones simuladas. Destacar que cada una de las alternativas son de fuente propia, así como la distribución interior de la nave industrial.

Las tres propuestas a estudiar tienen en común la utilización tanto de ventanales laterales como de lucernarios, cada una de ellas con una superficie distinta y una distribución, aunque parecida, pero con sus diferencias claras. En cada una de las propuestas, tanto los ventanales como los lucernarios están colocados simétricamente.

En todas y cada una de las propuestas se ha optado por utilizar mayor superficie de lucernarios en la cubierta de la edificación, que de ventanales. La razón principal de esta elección es que la luz captada por los lucernarios es mayor que la de los ventanales, por su menor ángulo  $\alpha$ , como se puede observar en la Figura 6.

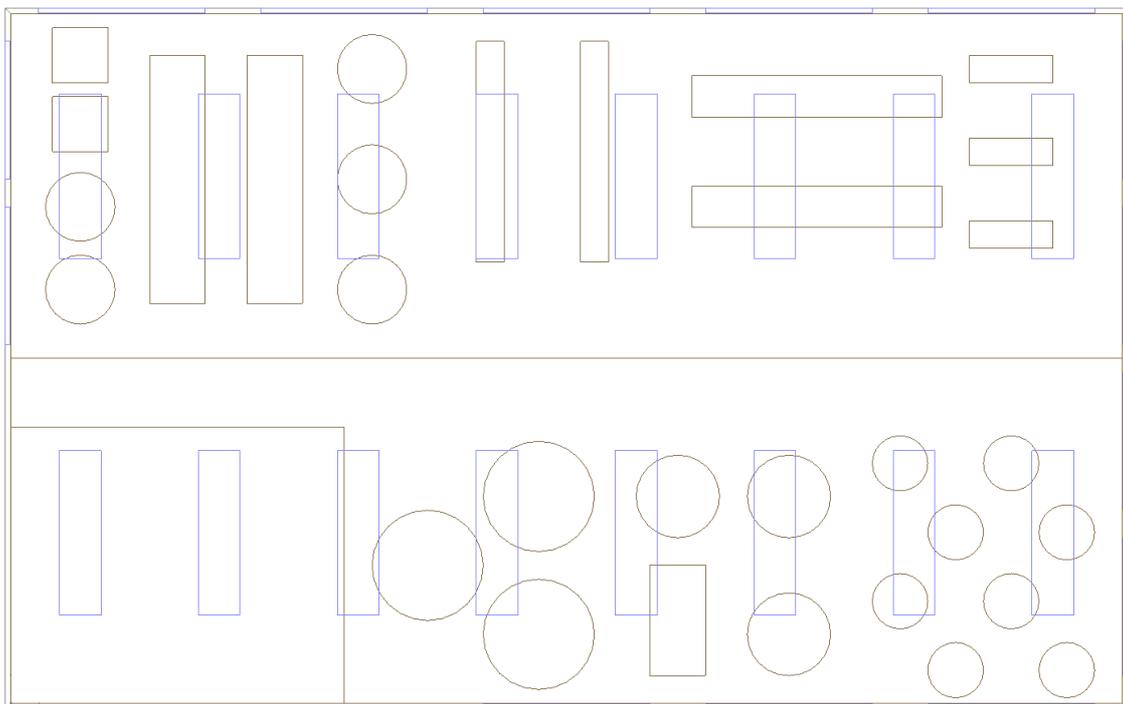
A continuación, se presentan estas tres propuestas.

#### 7.1.1. Propuesta 1

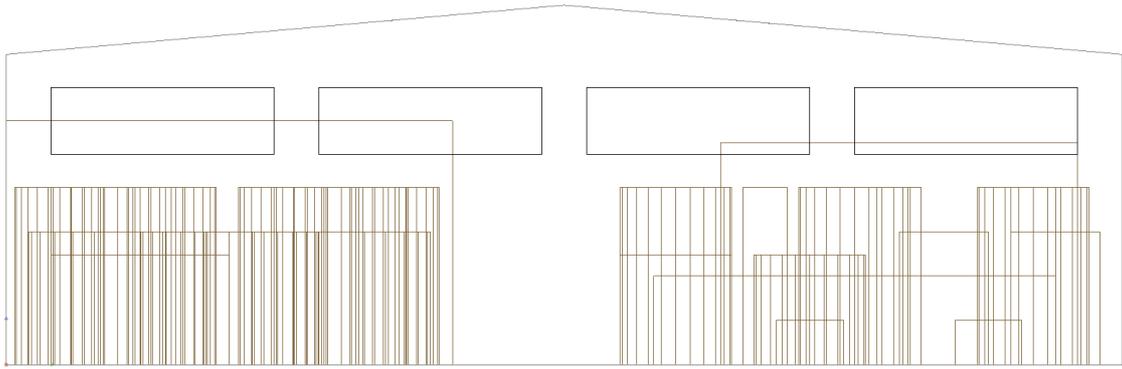
En esta propuesta se ha decantado por la utilización de 16 lucernarios de 6m de largo y 1,5m de ancho, es decir, 16 lucernarios de 9m<sup>2</sup> cada uno, para una superficie total de 144m<sup>2</sup>.

En cuanto a las ventanas, se disponen de 6 ventanales entre las caras sur y norte, de 7,5m<sup>2</sup> (5m de ancho y 1,5m de alto) cada una, y 8 ventanales de 9m<sup>2</sup> (6m de ancho y 1,5m de alto) en las caras este y oeste. Todo ello, hace un total de 117m<sup>2</sup> de superficie de ventanales.

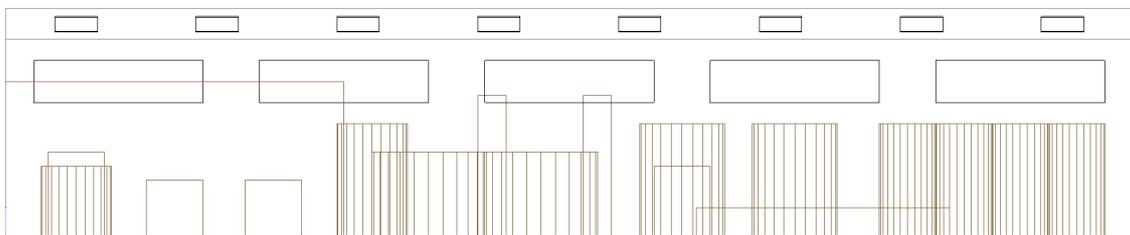
A continuación, en las siguientes figuras se muestra la disposición de los ventanales y lucernarios mencionados.



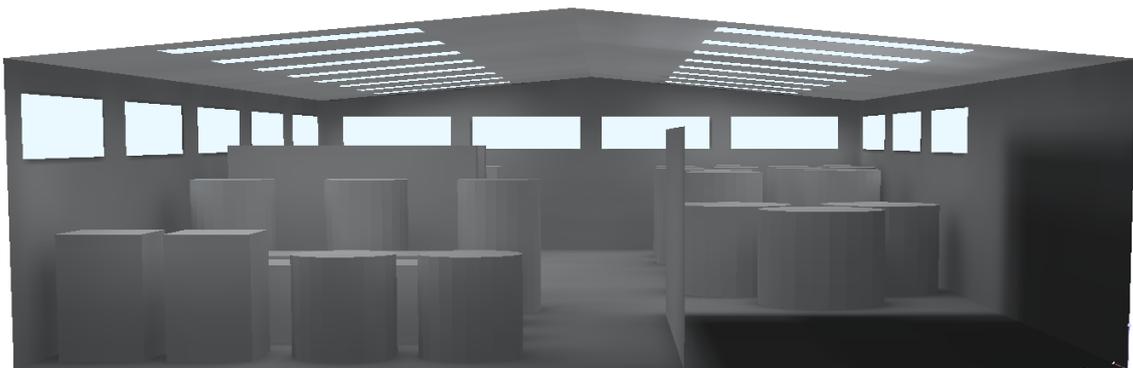
*Figura 9. Vista en planta, propuesta 1.*



*Figura 10. Vista frontal, propuesta 1.*



*Figura 11. Vista lateral, propuesta 1.*



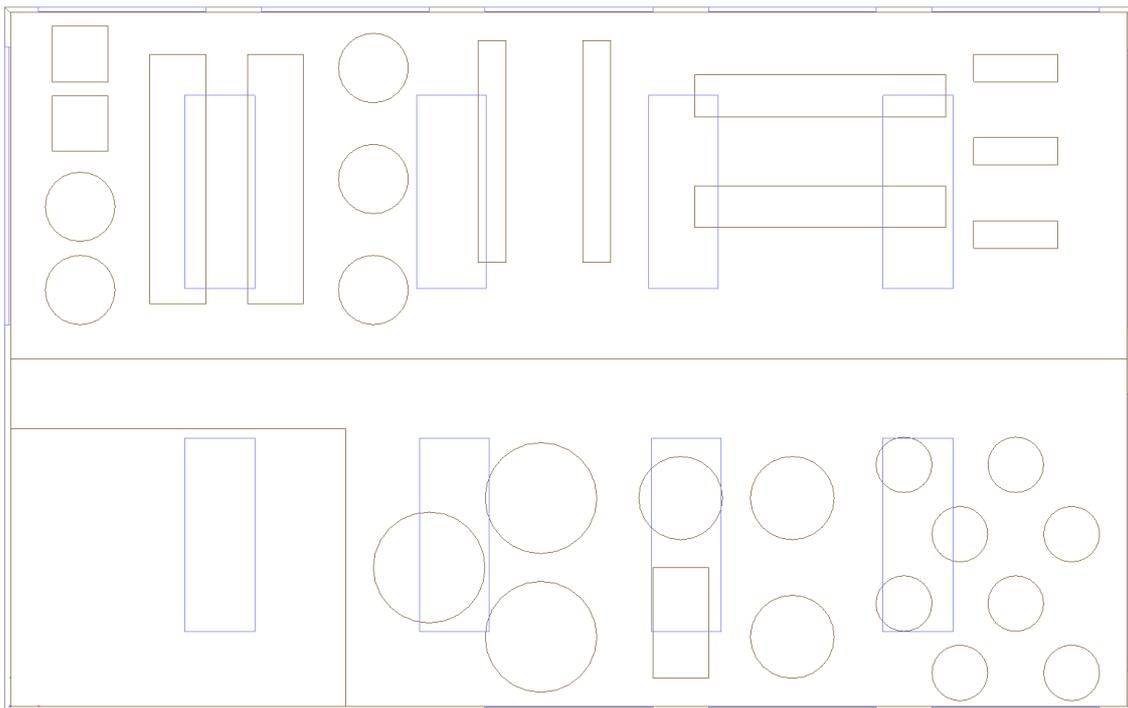
*Figura 12. Vista 3D, propuesta 1.*

7.1.2. Propuesta 2

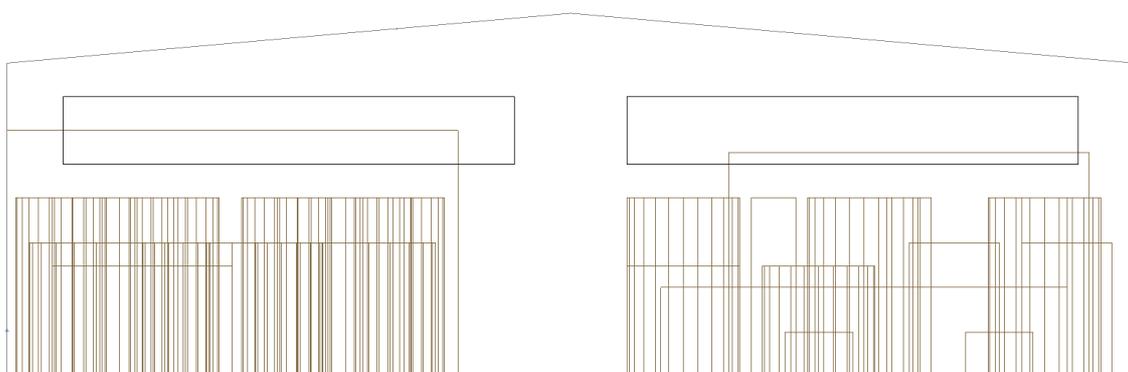
En esta propuesta se han utilizado 8 lucernarios de 7m de largo y 1,5m de ancho, es decir, 8 lucernarios de 17,5m<sup>2</sup> cada uno, para una superficie total de 140m<sup>2</sup>.

En cuanto a las ventanas, se disponen de 3 ventanales entre las caras sur y norte, de 15m<sup>2</sup> (10m de ancho y 1,5m de alto) cada una, y 8 ventanales de 9m<sup>2</sup> (6m de ancho y 1,5m de alto) en las caras este y oeste. Todo ello, hace un total de 117m<sup>2</sup> de superficie de ventanales.

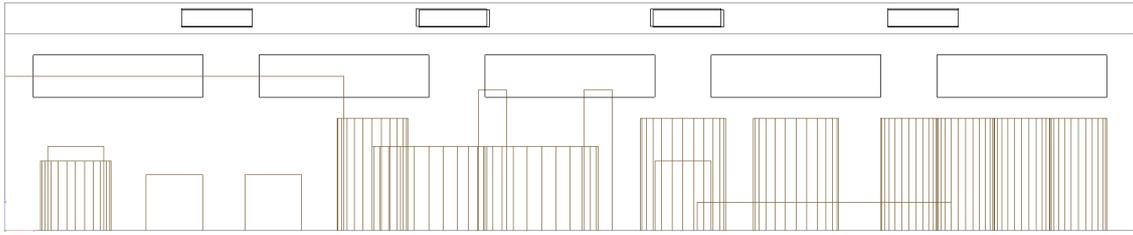
A continuación, en las siguientes figuras se muestra la disposición de los ventanales y lucernarios mencionados.



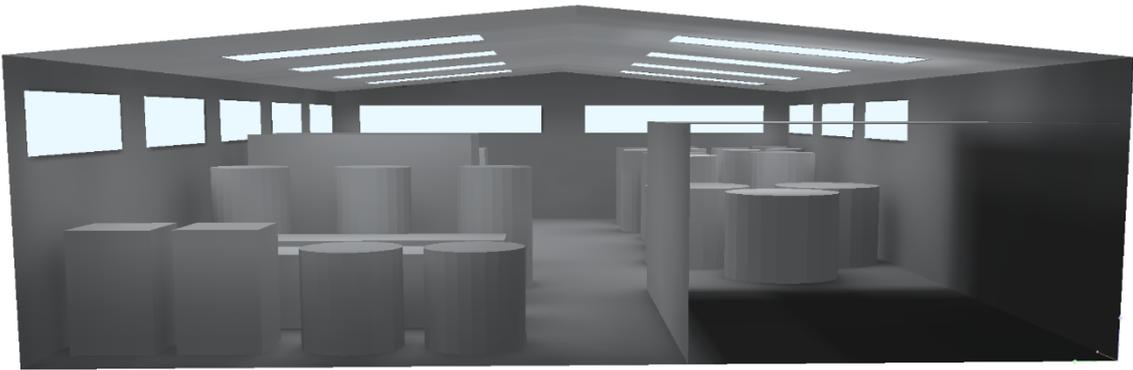
*Figura 13. Vista en planta, propuesta 2.*



*Figura 14. Vista frontal, propuesta 2.*



*Figura 15. Vista lateral, propuesta 2.*



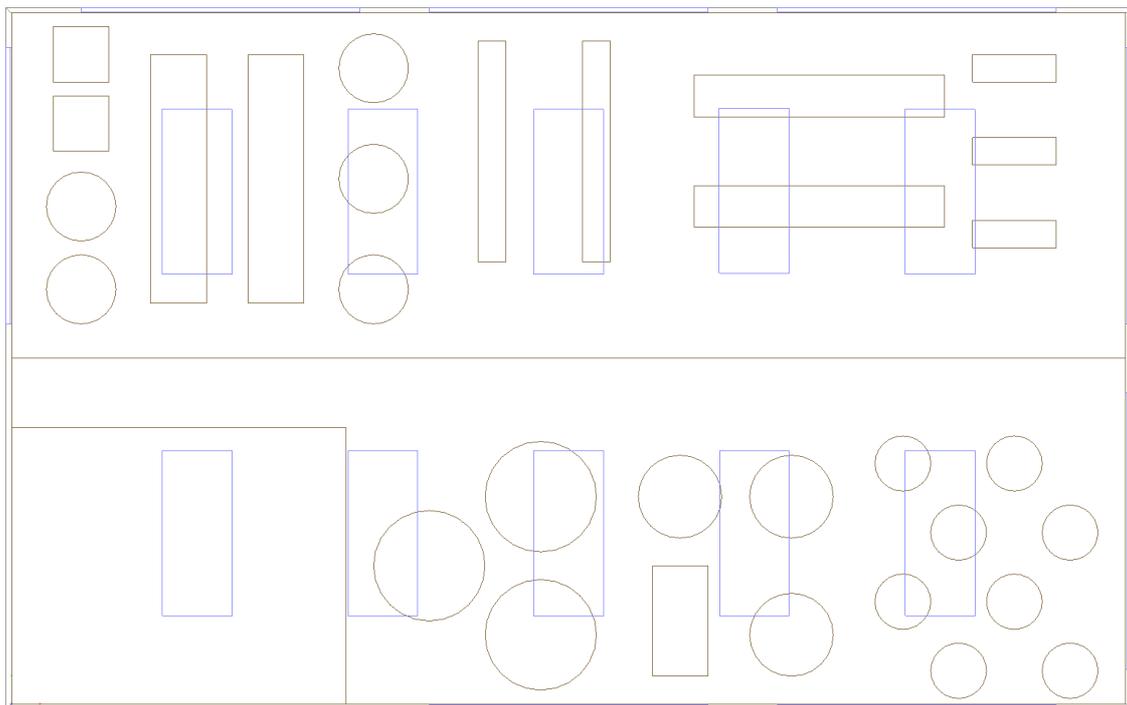
*Figura 16. Vista 3D, propuesta 2.*

### 7.1.3. Propuesta 3

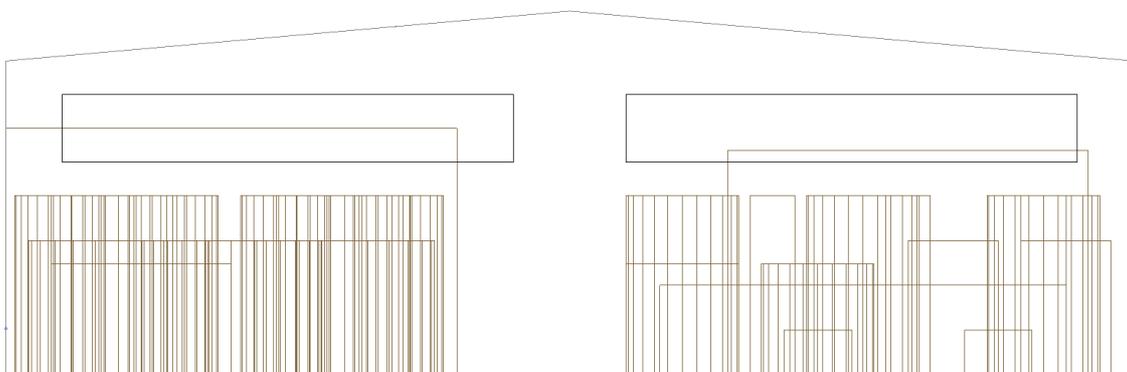
En esta propuesta se han utilizado 10 lucernarios de 6m de largo y 2,5m de ancho, es decir, 10 lucernarios de 15m<sup>2</sup> cada uno, para una superficie total de 150m<sup>2</sup>.

En cuanto a las ventanas, se disponen de 3 ventanales entre las caras sur y norte, de 15m<sup>2</sup> (10m de ancho y 1,5m de alto) cada una, y 5 ventanales con la misma superficie en las caras este y oeste. Todo ello, hace un total de 120m<sup>2</sup> de superficie de ventanales.

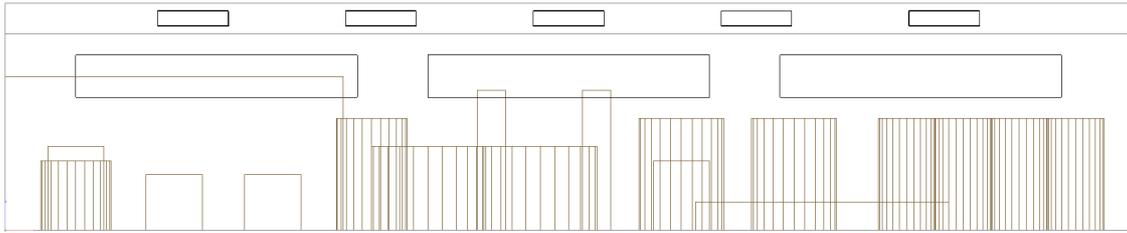
A continuación, en las siguientes figuras se muestra la disposición de los ventanales y lucernarios mencionados.



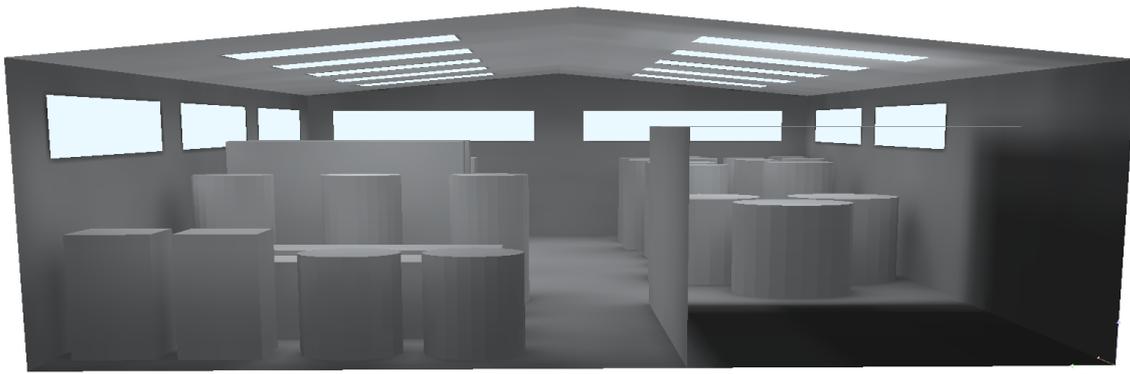
*Figura 17. Vista en planta, propuesta 3.*



*Figura 18. Vista frontal, propuesta 3.*



*Figura 19. Vista lateral, propuesta 3.*



*Figura 20. Vista 3D, propuesta 3.*

## 7.2. Parámetros de simulación, DIALux.

Realizadas las tres propuestas de diseño del sistema de iluminación natural, se realizan las simulaciones de cada una de ellas mediante el software DIALux para su posterior análisis de resultados y determinación del mejor sistema.

En primer lugar, y elaborada la distribución en planta, es necesario conocer los materiales de los depósitos, del suelo, de las paredes y de la cubierta, ya que estos reflejan parte de la luz interior. Por tanto, se utiliza hormigón para paredes y suelo, y metal para la cubierta y los depósitos, cada uno con su coeficiente de reflexión que ya lleva integrado el DIALux.

Además, se van a realizar distintas simulaciones dependiendo del día del año, una para el día más soleado del año, el 23 de junio a las 12:00h de la mañana, y otra el día más oscuro, el 21 de diciembre a las 12:00h de la mañana, y como se ha comentado anteriormente se utiliza el modelo de cielo cubierto para las simulaciones.

Por otra parte, la ubicación geográfica es otro de los factores a incluir en el software. En este caso, se trata de una edificación ubicada en Alcúdia, un pueblo situado en la provincia de València. Asimismo, la orientación de la nave industrial, es decir, donde está situada respecto del norte, es otro aspecto a tener en cuenta y que debe de introducirse en el DIALux para la realización de las simulaciones.

Finalmente, destacar que los paneles utilizados tanto en ventanales como lucernarios no son del mismo material que las ventanas comunes, para una nave industrial se utiliza policarbonato, lo que influye directamente en el paso de la radiación solar exterior en el interior.

## **8. Presentación y análisis de los resultados**

Inicialmente, se van a presentar los resultados obtenidos mediante las simulaciones en DIALux en cada una de las tres propuestas para su posterior análisis.

Como se ha mencionado anteriormente en el apartado 5.5 Criterios de aceptación del sistema de iluminación natural, los parámetros a analizar las simulaciones son: la iluminación media ( $E_m$ ), la uniformidad de la iluminación interior ( $E_{min}/E_m$ ), los deslumbramientos producidos y la iluminación máxima ( $E_{max}$ ).

A continuación, se muestra una tabla con los valores teóricos de los parámetros mencionados anteriormente

*Tabla 3. Valores teóricos de los parámetros a analizar en las simulaciones.*

<b>Sección</b>	<b>E<sub>req</sub></b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>E<sub>min</sub>/E<sub>m</sub></b>
1	100	<2000	≥0,3
2	100	<2000	≥0,3
3	1000	<2000	≥0,3
4	300	<2000	≥0,3
5	200	<2000	≥0,3
<b>Total</b>	225	<2000	≥0,3

Los valores de  $E_{req}$ , corresponden a los valores que se indican en la normativa UNE 12464.1, siendo estos los valores mínimos a alcanzar en cada una de las secciones en las que se divide la nave industrial.

Finalmente, los deslumbramientos se estudiarán de forma independiente, ya que el DIALux no tiene la capacidad de calcularlos por sí mismo, por tanto, se deberá de realizar este estudio aparte considerando que una iluminación directa a los ojos del operario por debajo de los 30° respecto de la línea del horizonte que se forma a la altura de los ojos, produce deslumbramientos.

### **8.1. Presentación de los resultados**

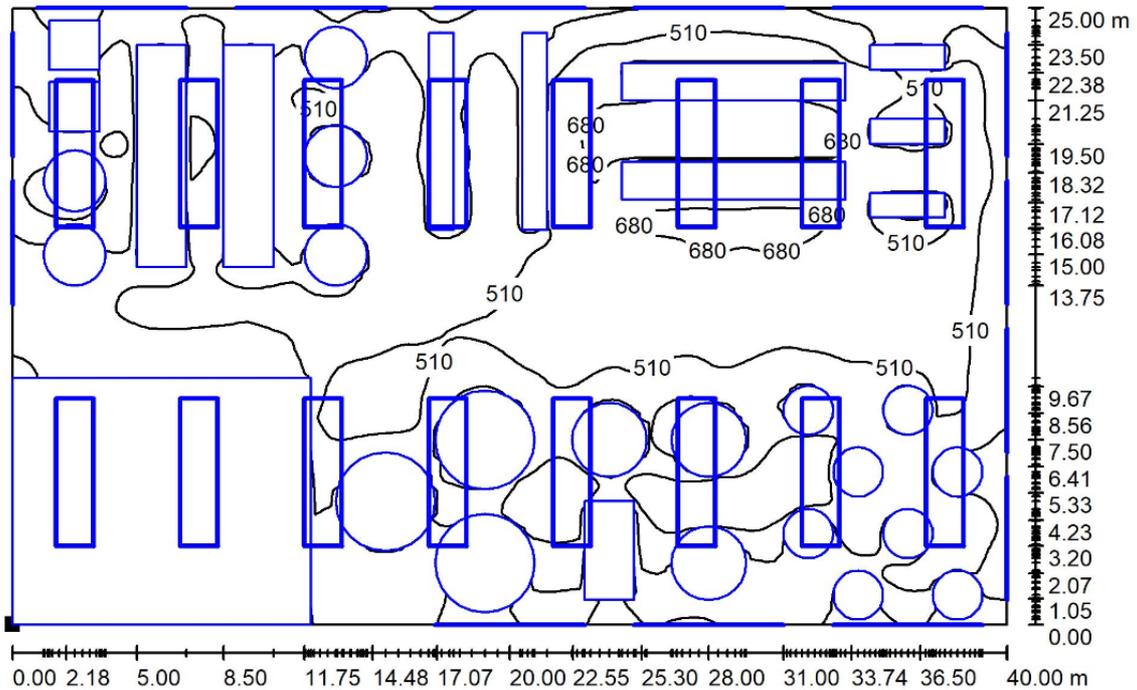
A continuación, se van a exponer los resultados de las simulaciones realizadas para las tres propuestas planteadas inicialmente. Destacar que todos los datos que aparecen a continuación están proyectados en el plano útil de la planta que proporciona la herramienta DIALux.

8.1.1. Propuesta 1

Esta propuesta consta de 16 lucernarios de 9m<sup>2</sup> cada uno, 8 ventanales de 9m<sup>2</sup> en las fachadas este y oeste, y 6 ventanales de 7,5m<sup>2</sup> en las fachadas norte y sur.

- Simulación 23 de junio 12:00h

El grafico de isolíneas obtenido para este día es el siguiente:



*Figura 21. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 1.*

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

*Tabla 4. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 1.*

Sección	Em	Emin	Emax	Emin/Em
1	424,97	226	633	0,53
2	518,83	254	678	0,49
3	729,29	631	822	0,87
4	401,47	212	582	0,53
5	482,50	214	822	0,44

- Simulación 21 de diciembre 12:00h

El grafico de isólinas obtenido para este día es el siguiente:

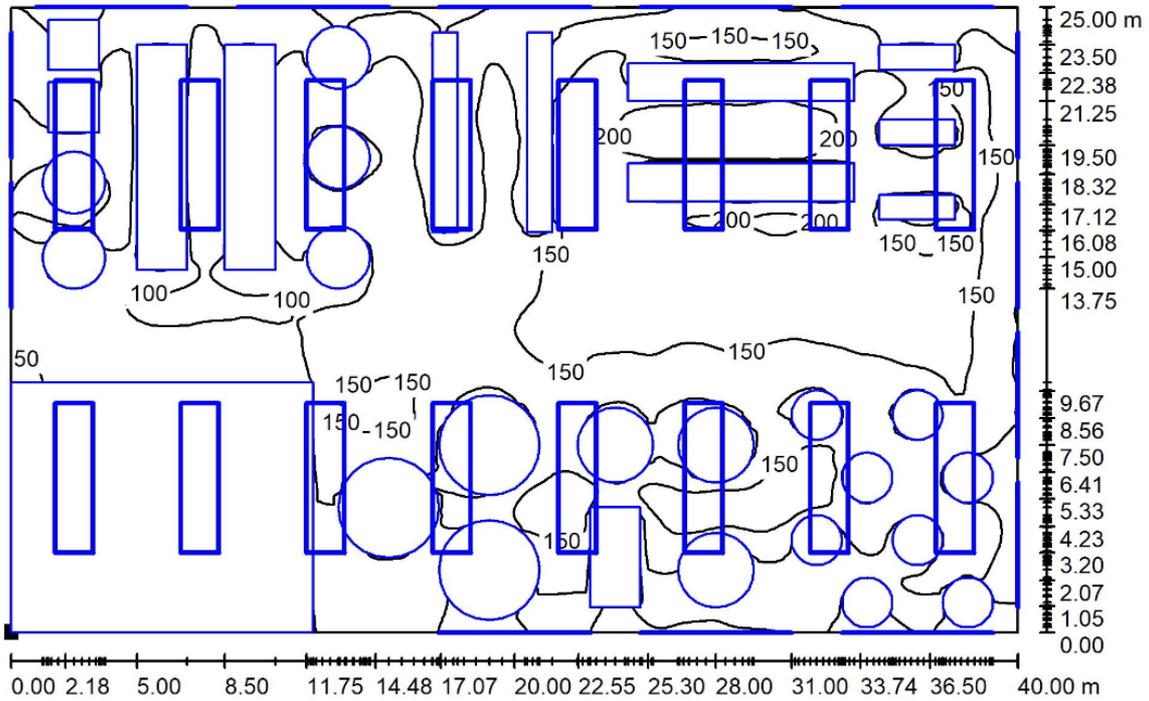


Figura 22. Gráfico de isólinas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 1.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 5. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 1.

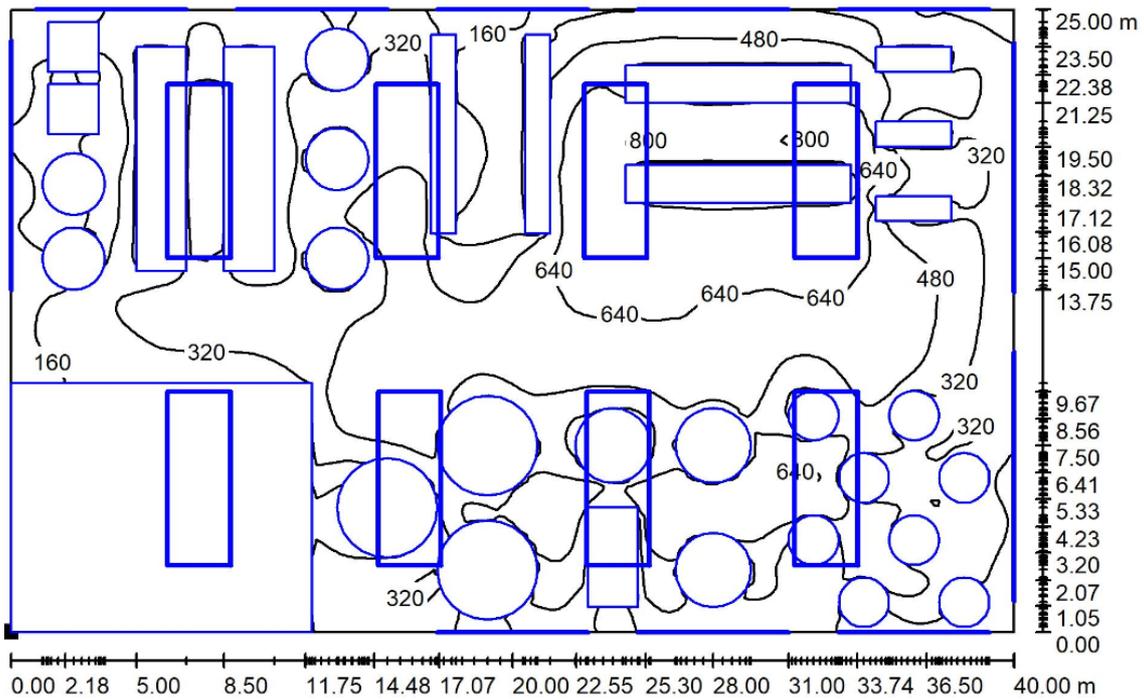
Sección	Em	Emin	Emax	Emin/Em
1	118,63	63	176	0,53
2	142,67	70	188	0,49
3	202,50	175	228	0,86
4	113,32	59	197	0,52
5	134,15	59	228	0,44

8.1.2. Propuesta 2

Esta propuesta consta de 8 lucernarios de 17,5m<sup>2</sup> cada uno, 3 ventanales de 15m<sup>2</sup> en las fachadas norte y sur, y 8 ventanales de 9m<sup>2</sup> en las fachadas este y oeste.

- *Simulación 23 de junio 12:00h*

El grafico de isolíneas obtenido para este día es el siguiente:



*Figura 23. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 2.*

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

*Tabla 6. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 2.*

Sección	Em	Emin	E <sub>max</sub>	Emin/Em
1	345,21	134	536	0,39
2	524,03	187	720	0,36
3	755,14	719	787	0,95
4	361,56	136	683	0,38
5	458,40	186	767	0,41

- Simulación 21 de diciembre 12:00h

El grafico de isólinas obtenido para este día es el siguiente:

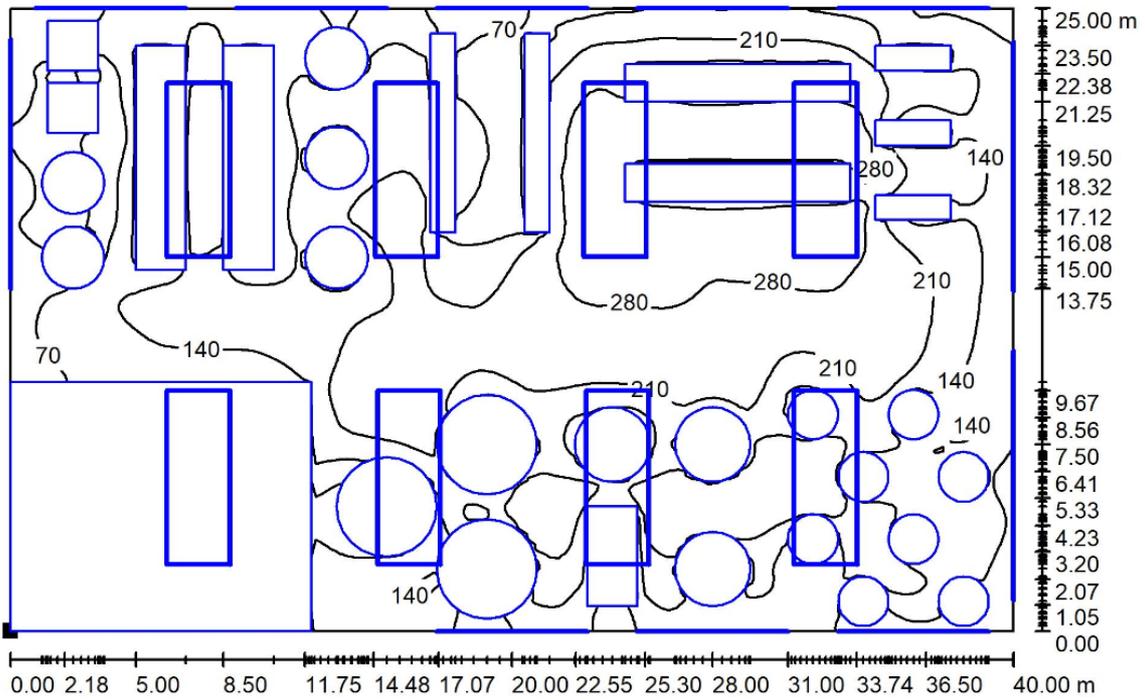


Figura 24. Gráfico de isólinas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 2.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 7. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 2.

Sección	Em	Emin	E <sub>max</sub>	Emin/Em
1	150,06	58	312	0,39
2	224,98	80	309	0,36
3	324,21	309	338	0,95
4	160,11	58	293	0,36
5	201,46	80	338	0,40

### 8.1.3. Propuesta 3

Esta propuesta consta de 10 lucernarios de 15m<sup>2</sup> cada uno, 8 ventanales de 15m<sup>2</sup> repartidos entre las cuatro fachadas laterales.

- Simulación 23 de junio 12:00h

El grafico de isólinas obtenido para este día es el siguiente:

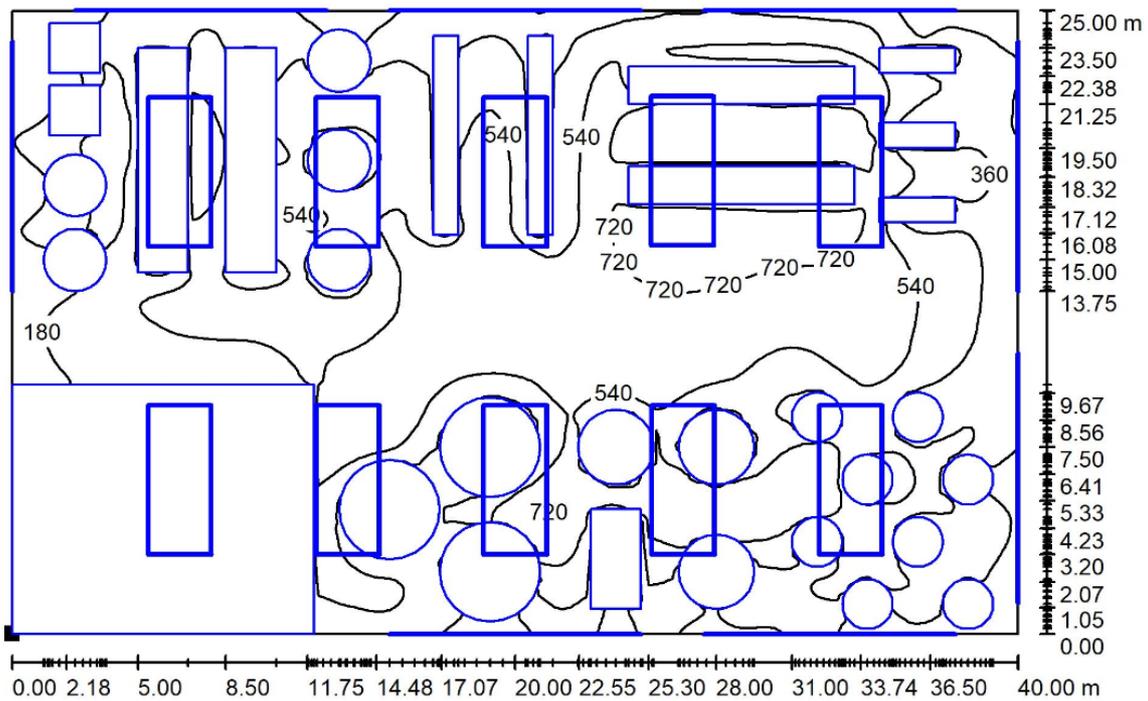


Figura 25. Gráfico de isólinas. Simulación de junio 12:00h, propuesta 3.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 8. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta 3.

Sección	Em	Emin	E <sub>max</sub>	Emin/Em
1	359,03	130	765	0,36
2	566,97	198	780	0,35
3	796,57	699	863	0,88
4	495,50	243	658	0,49
5	476,42	200	849	0,42

- Simulación 21 de diciembre 12:00h

El grafico de isolíneas obtenido para este día es el siguiente:

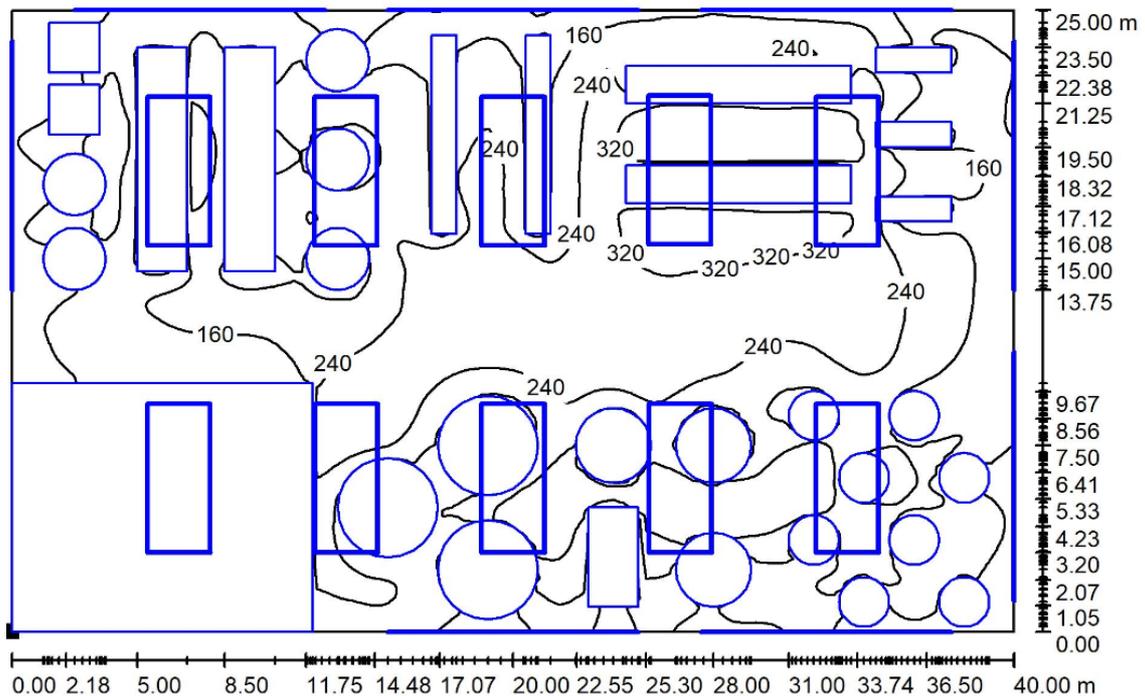


Figura 26. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta 3.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 9. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta 3.

Sección	Em	Emin	E <sub>max</sub>	Emin/Em
1	149,00	56	236	0,38
2	241,24	85	335	0,35
3	342,00	300	371	0,88
4	215,68	104	283	0,48
5	210,13	86	368	0,41

## 8.2. Deslumbramientos

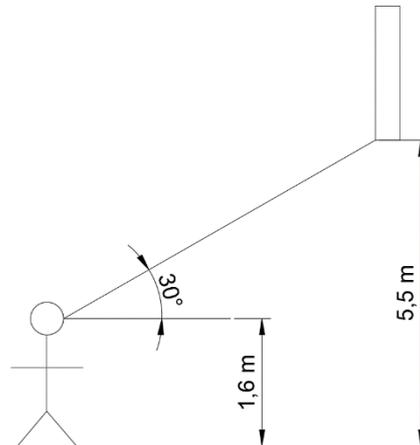
Finalmente, se estudiará la posible aparición de deslumbramientos. Este estudio se realiza de forma independiente a las simulaciones, como se ha comentado anteriormente, por la razón de que el software de DIALux no permite realizar este cálculo.

En primer lugar, se debe de tener en cuenta que los deslumbramientos aparecen en el momento que la luz incide directamente en los ojos del operario con un ángulo menor a 30º, es decir, el ángulo que forma con la línea horizontal a la altura de los ojos.

Conociendo esto, se debe de calcular la distancia a partir de la cual se pueden producir los deslumbramientos, considerando que los ojos de los operarios se encuentran a una altura de

1,6 metros. Este valor es la altura media entre aquellos operarios que trabajan de pie, y los que trabajan sentados.

Hay que tener en cuenta también la altura que están puestos los ventanales en los cerramientos laterales de la edificación en cada una de las propuestas. En todas ellas todos los ventanales se encuentran a una altura de 5,5 metros respecto de la parte inferior de los mismos.



*Figura 27. Representación gráfica de la aparición de deslumbramientos.*

La figura anterior es una representación de lo que podría llegar a pasar dentro de la nave industrial, lo que permite ver de forma más sencilla y comprensible como se producirían los deslumbramientos. Con ello se calcula la distancia a partir de la cual pueden llegar a aparecer, esto se lleva a cabo de la siguiente forma:

$$\tan(30) = \frac{3,9}{x}$$

$$x = \frac{3,9}{\tan(30)} = 6,75 \text{ m}$$

Siendo 6,75m la distancia a partir de la cual pueden aparecer deslumbramientos. Hay que aclarar, que los deslumbramientos solo se producen si el operario tiene su mirada enfocada al lugar por donde entra la radiación solar en ese momento concreto. Con ello se quiere indicar que a partir de los 6,75m de la fachada lateral se producen los deslumbramientos siempre y cuando el operario esté mirando en dirección a la entrada de luz solar. Asimismo, dentro de la edificación existen una serie de elementos (depósitos, estanterías, maquinaria, etc.) que en ciertos momentos y lugares, pueden evitar este fenómeno actuando como barrera a la luz solar incidente.

Destacar que los deslumbramientos se pueden llegar a producir todos los días del año sin excepción, lo que conlleva la adopción de una serie de medidas para evitarlos siempre que sea

posible. Entre estas medidas destacan la colocación de los puestos de trabajo de forma que el operario no tenga que mirar nunca hacia la dirección de entrada de la luz solar o situarlos detrás de los elementos interiores de la nave industrial.

### 8.3. Análisis de resultados

Al inicio del punto 7. Presentación y análisis de los resultados se ha indicado que el análisis de resultados va a estar enfocado en alcanzar una serie de valores teóricos mínimos o máximos en distintos parámetros, estos son la iluminación media, la uniformidad, la iluminación máxima y los deslumbramientos, estudiados anteriormente. En la Tabla 3 se indican los valores a alcanzar o no sobrepasar en dichos parámetros.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las simulaciones de cada propuesta, tanto en junio como en diciembre, para su análisis final y la elección de aquella alternativa más eficiente.

Las celdas marcadas de color rojo indican que no cumple con los valores teóricos de la Tabla 3.

#### Propuesta 1:

- 23 de junio

*Tabla 10. Resultados de la propuesta 1, 23 de junio.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	424,97	226	633	0,53
2	518,83	254	678	0,49
3	729,29	631	822	0,87
4	401,47	212	582	0,53
5	482,50	214	822	0,44

- 21 de diciembre

*Tabla 11. Resultados de la propuesta 1, 21 de diciembre.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	118,63	63	176	0,53
2	142,67	70	188	0,49
3	202,50	175	228	0,86
4	113,32	59	197	0,52
5	134,15	59	228	0,44

Propuesta 2:

- 23 de junio

*Tabla 12. Resultados de la propuesta 2, 23 de junio.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	345,21	134	536	0,39
2	524,03	187	720	0,36
3	755,14	719	787	0,95
4	361,56	136	683	0,38
5	458,40	186	767	0,41

- 21 de diciembre

*Tabla 13. Resultados de la propuesta 2, 21 de diciembre.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	150,06	58	312	0,39
2	224,98	80	309	0,36
3	324,21	309	338	0,95
4	160,11	58	293	0,36
5	201,46	80	338	0,40

Propuesta 3:

- 23 de junio

*Tabla 14. Resultados de la propuesta 3, 23 de junio.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	359,03	130	765	0,36
2	566,97	198	780	0,35
3	796,57	699	863	0,88
4	495,50	243	658	0,49
5	476,42	200	849	0,42

- 21 de diciembre

*Tabla 15. Resultados de la propuesta 3, 21 de diciembre.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	149,00	56	236	0,38
2	241,24	85	335	0,35
3	342,00	300	371	0,88
4	215,68	104	283	0,48
5	210,13	86	368	0,41

Con estos resultados se llegan a las siguientes conclusiones:

- En todas y cada una de las propuestas se cumplen los requisitos mínimos de uniformidad, la cual debe de ser mayor a 0,3.
- En ningún momento se supera la iluminación máxima en algún punto concreto de la nave industrial.
- En ninguna de las tres propuestas se llegan a los 1000 luxes requeridos de la sección 3 en ningún día del año. Aunque esta es la sección de envasado, trabajo que se hace mediante una maquina automática que no necesita luz solar para su funcionamiento, los requerimientos de luz son muy altos en esta zona ya que se llevan a cabo tareas de inspección de color, la cual es una tarea que necesita una buena iluminación para no cometer errores.
- En cuanto al día con menos luz natural del año, en ninguna de las tres propuestas se llega a la iluminación media requerida en la sección 4, aunque en la propuesta 3 se obtiene un valor no muy lejano del requerido.
- Además de no llegar a la iluminación media requerida en todo lo mencionado anteriormente, en la propuesta 1 tampoco consigue llegar a este valor en la sección 5.

Como resumen de las tres propuestas se obtiene las siguientes tablas:

*Tabla 16. Resumen simulaciones 23 de junio.*

<b>Propuesta</b>	<b>Em</b>	<b>Emin/Em</b>
1	453	0,57
2	427	0,50
3	466	0,50

*Tabla 17. Resumen simulaciones 21 de diciembre*

<b>Propuesta</b>	<b>Em</b>	<b>Emin/Em</b>
1	126	0,57
2	183	0,49
3	200	0,50

Analizando los datos de las tablas anteriores, se llega a las conclusiones siguientes:

- En todos los casos la uniformidad es mayor que el valor teórico mínimo de 0,3, obteniendo un valor similar en todos los casos y en las dos situaciones simuladas.
- La iluminación media del interior de la edificación a día 21 de diciembre no supera el mínimo de 225 luxes en ninguna propuesta, aunque en la propuesta 3 se obtiene un valor más cercano que en las demás.
- Considerando que los valores de uniformidad son parecidos en todos los casos, en la propuesta 3 se obtienen valores más altos de iluminación media interior tanto en junio como en diciembre.

Con todo esto, se concluye que la propuesta 3, teniendo una superficie parecida a las otras alternativas, es la más adecuada de todas por obtener valores de iluminación más altos, además de una uniformidad muy buena en todo el interior de la nave industrial.

Determinada la propuesta definitiva, seguidamente se va a llevar a cabo una mejora en esta para poder llegar a los requerimientos mínimos de iluminación media en toda la nave industrial en la simulación del 21 de diciembre, de forma que se conseguiría un sistema aún más eficiente.

#### 8.4. Propuesta final

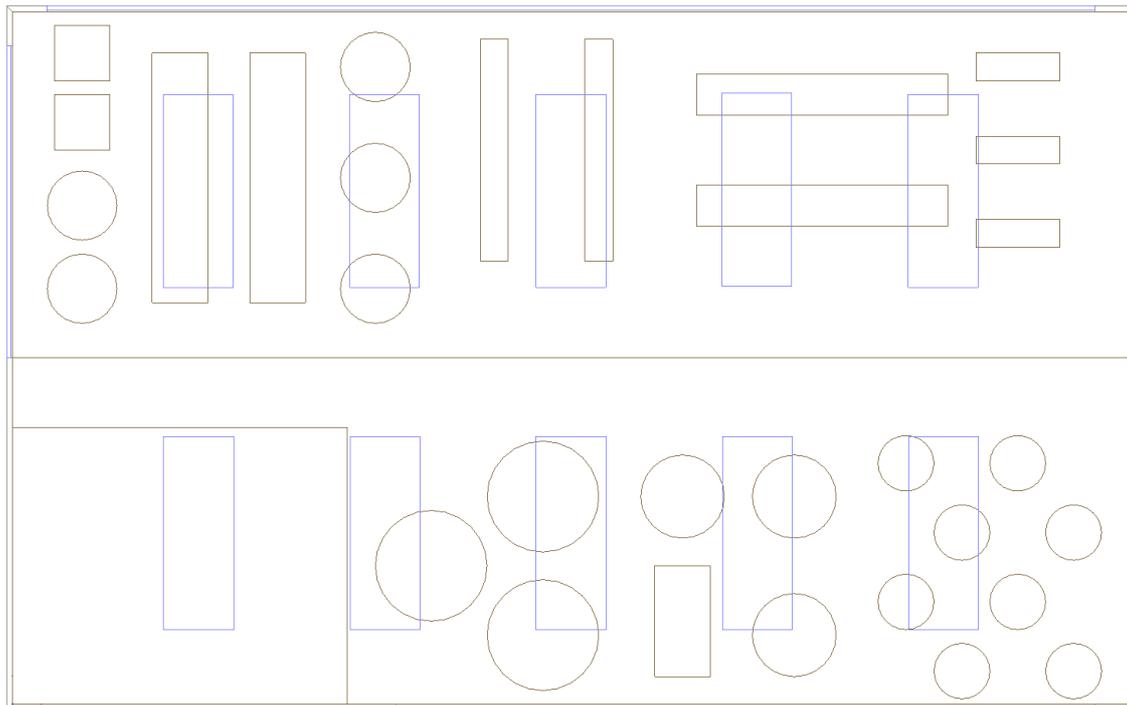
Para el desarrollo de esta propuesta final se ha cogido como base la propuesta 3, haciéndose uso de la misma disposición de lucernarios y ampliando su superficie. Asimismo, en los ventanales se ha pasado de tener 8 a solo 4, uno por fachada con mayor superficie individual y total.

Por tanto, en esta propuesta final se disponen de 10 lucernarios, colocados a la misma distancia entre sí, de  $17,5\text{m}^2$  cada uno, es decir, tienen 7m de altura y 2,5 de ancho, para obtener una superficie total de  $175\text{m}^2$ . Como se puede observar, esta superficie es bastante mayor que en la propuesta 3, pero con una finalidad concreta, llegar a los requerimientos mínimos de la totalidad de la edificación, pues los lucernarios son las aperturas que más luz captan por su disposición en la cubierta.

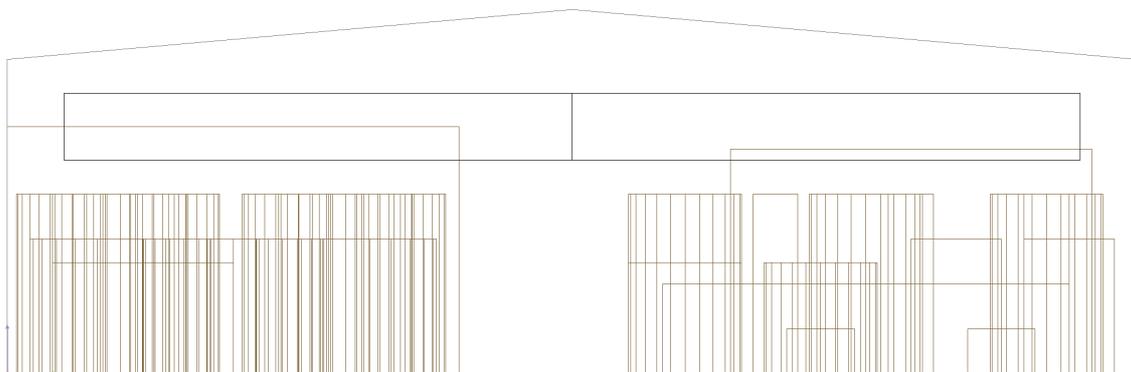
En cuanto a los ventanales, se han colocado uno por fachada, dos de los cuales recorren la totalidad de las fachadas norte y oeste, mientras que los otros dos, recorren parte de las fachadas sur y este. Esto es debido a que la sección de oficinas, vestuarios, WC y laboratorio de calidad está dispuesta en la esquina sureste, lo que imposibilita recorrer toda la fachada a dichos ventanales. La superficie total de ventanales es de  $144,375\text{m}^2$ , los cuales están repartidos de la siguiente forma:

- Este: 25m de ancho y 1,5m de alto, con un total de  $37,5\text{m}^2$ .
- Norte: 22,5m de ancho y 1,5m de alto, con un total de  $33,75\text{m}^2$ .
- Oeste: 37,5m de ancho y 1,5m de alto, con un total de  $56,25\text{m}^2$ .
- Sur: 11,25m de ancho y 1,5m de alto, con un total de  $16,875\text{m}^2$ .

A continuación, en las siguientes figuras se muestra la disposición de los ventanales y lucernarios mencionados.



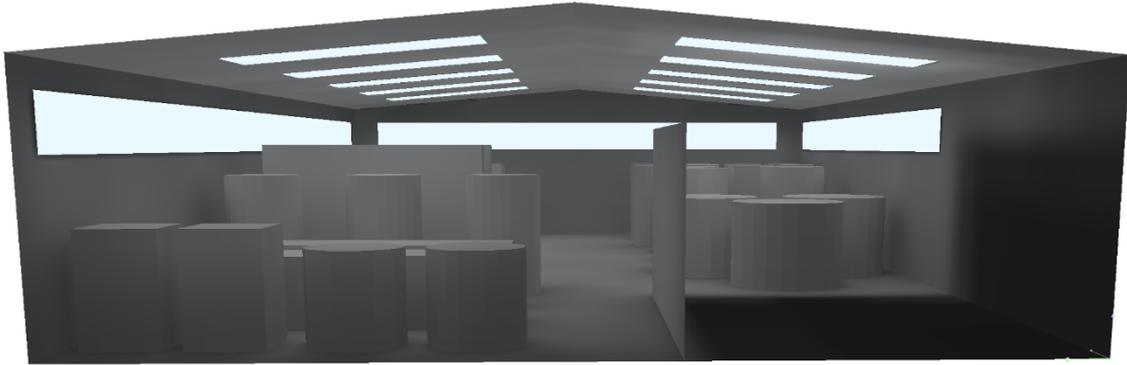
*Figura 28. Vista en planta, propuesta final.*



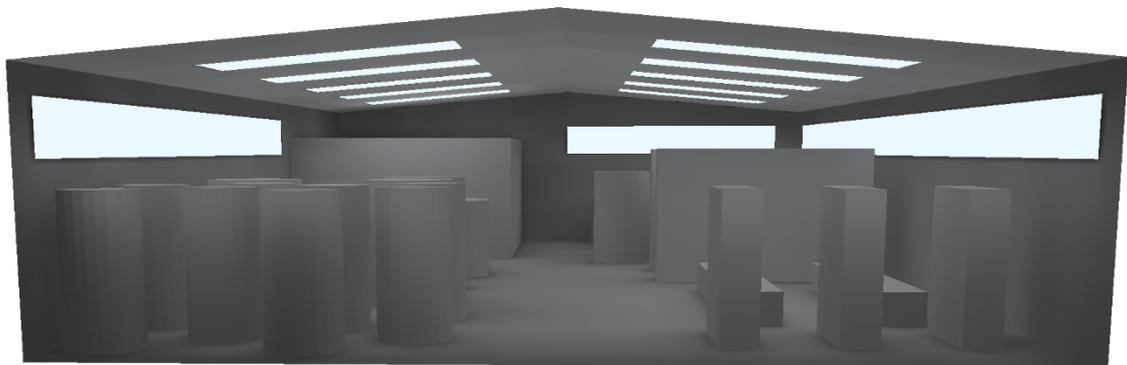
*Figura 29. Vista frontal, propuesta final.*



*Figura 30. Vista lateral, propuesta final.*



*Figura 31. Vista 3D, propuesta final. (1/2)*



*Figura 32. Vista 3D, propuesta final. (2/2)*

8.4.1. Presentación de los resultados de la propuesta final

Esta propuesta consta de 10 lucernarios de 17,5m<sup>2</sup> cada uno y 4 ventanales, uno por fachada. En la fachada oeste de 56,25m<sup>2</sup>, en la fachada este de 37,5m<sup>2</sup>, en la fachada norte de 33,75m<sup>2</sup> y en la fachada sur de 16,875m<sup>2</sup>.

- Simulación 23 de junio 12:00h

El grafico de isolíneas obtenido para este día es el siguiente:

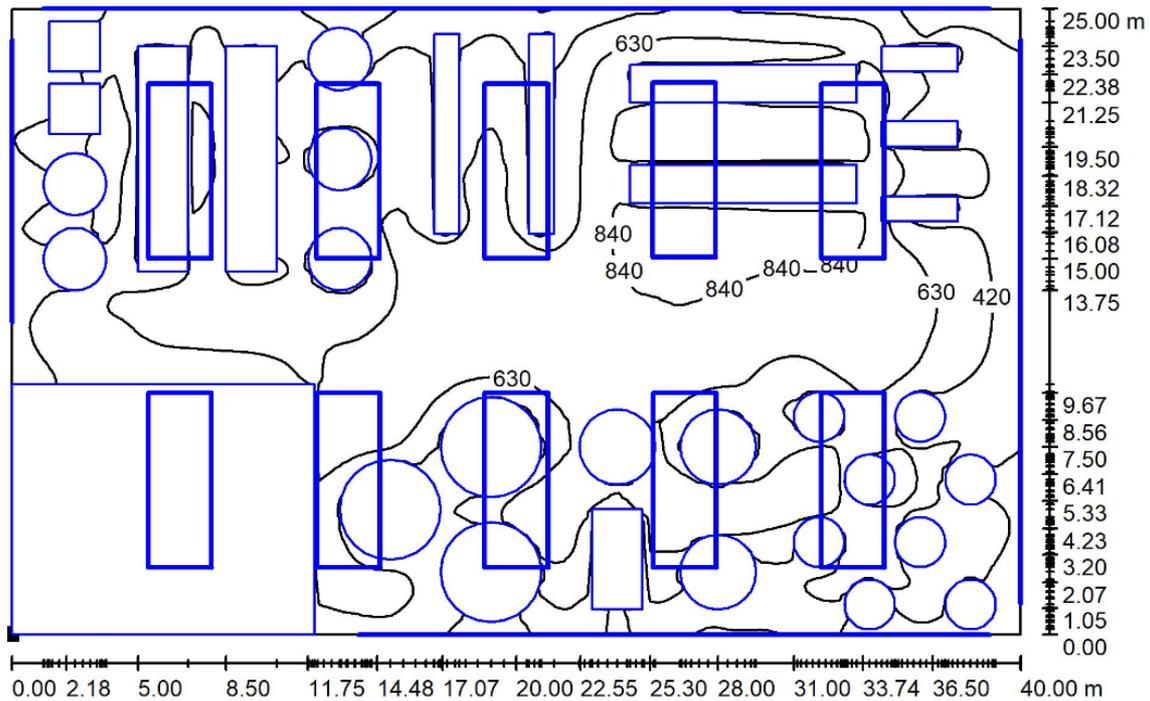


Figura 33. Gráfico de isolíneas. Simulación de junio 12:00h, propuesta final.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 18. Resultados simulación de junio 12:00h, propuesta final.

Sección	Em	Emin	Emax	Emin/Em
1	372,70	149	586	0,40
2	657,38	268	920	0,41
3	912,55	798	1020	0,87
4	590,88	289	764	0,49
5	601,74	249	980	0,41

- Simulación 21 de diciembre 12:00h

El grafico de isolíneas obtenido para este día es el siguiente:

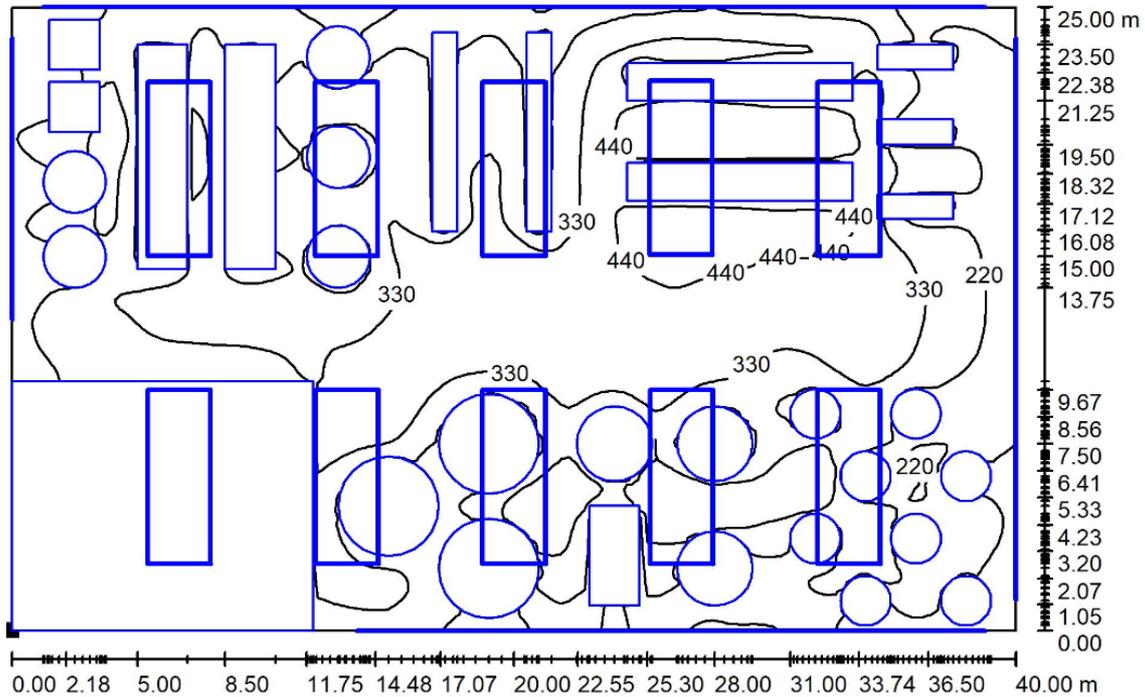


Figura 34. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 12:00h, propuesta final.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 19. Resultados simulación de diciembre 12:00h, propuesta final.

Sección	$E_m$	$E_{min}$	$E_{max}$	$E_{min}/E_m$
1	210,26	76	311	0,36
2	352,95	137	469	0,39
3	470,64	413	520	0,88
4	303,00	153	399	0,50
5	293,65	111	520	0,38

Además, se ha realizado una simulación el 21 de diciembre, pero a las 9:00h de la mañana, para observar los resultados a la hora en el que empieza a amanecer en la zona geográfica donde se sitúa la nave industrial. Esta simulación se realiza para conocer los resultados a la hora en la que menos luz natural entraría durante las horas en las que el sol es visible. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

- *Simulación 21 de diciembre, 9:00h*

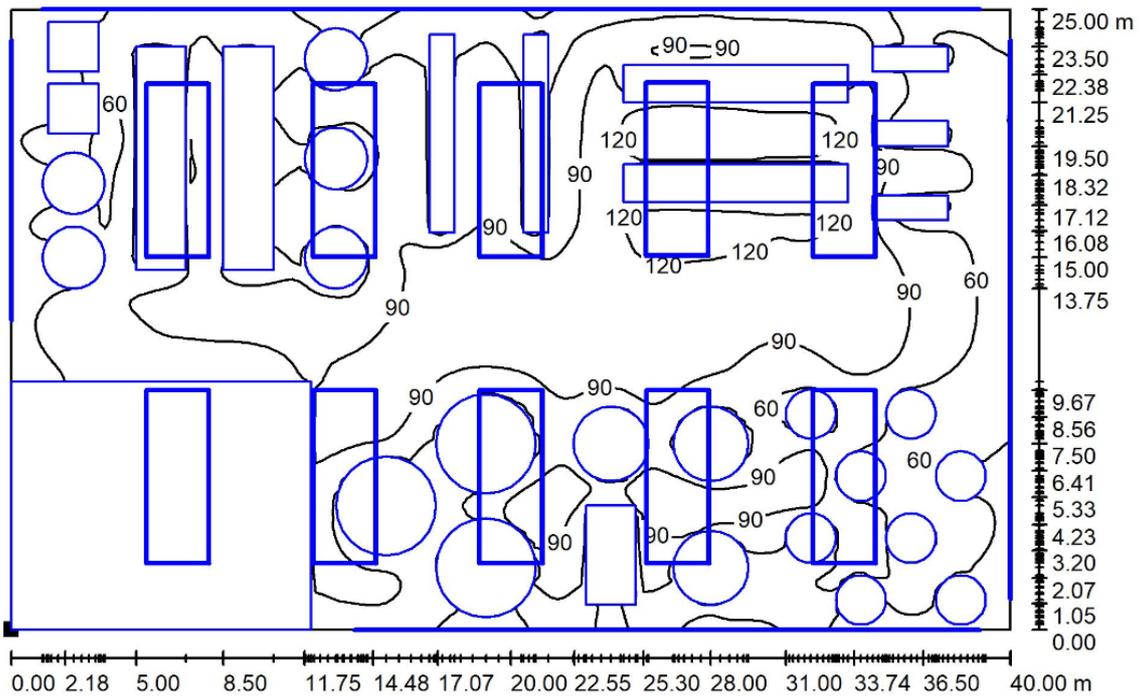


Figura 35. Gráfico de isolíneas. Simulación de diciembre 9:00h, propuesta final.

A continuación, se muestra la tabla de valores obtenidos según la sección.

Tabla 20. Resultados simulación de diciembre 9:00h, propuesta final.

Sección	Em	Emin	Emax	Emin/Em
1	56,42	20	101	0,35
2	89,76	42	120	0,47
3	123,50	108	135	0,87
4	79,94	39	103	0,49
5	80,97	25	135	0,31

8.4.2. Análisis de resultados, propuesta final

A continuación, se van a indicar todos y cada uno de los resultados obtenidos en la simulación de la propuesta inicial, analizando el cumplimiento de los valores teóricos de iluminación media, uniformidad e iluminación máxima. Se van a marcar en rojo aquellos valores que no cumplan los requisitos mínimos.

*Tabla 21. Resultados de la propuesta final, 23 de junio a las 12:00h.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	372,70	149	586	0,40
2	657,38	268	920	0,41
3	912,55	798	1020	0,87
4	590,88	289	764	0,49
5	601,74	249	980	0,41

*Tabla 22. Resultados de la propuesta final, 21 de diciembre a las 12:00h.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	210,26	76	311	0,36
2	352,95	137	469	0,39
3	470,64	413	520	0,88
4	303,00	153	399	0,50
5	293,65	111	520	0,38

*Tabla 23. Resultados de la propuesta final, 21 de diciembre a las 9:00h.*

<b>Sección</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>E<sub>max</sub></b>	<b>Emin/Em</b>
1	56,42	20	101	0,35
2	89,76	42	120	0,47
3	123,50	108	135	0,87
4	79,94	39	103	0,49
5	80,97	25	135	0,31

Con estos resultados se llegan a las siguientes conclusiones:

- En ningún caso se superan los 2000 luxes de iluminación máxima en ningún punto de la nave industrial.
- Se han obtenido buenos resultados en cuanto a la uniformidad de la iluminación, todos ellos por encima del valor mínimo de 0,3.
- En la simulación a las 9:00h en el 21 de diciembre no se alcanzan los valores requeridos especificados en la norma, lo cual es comprensible puesto que se trata de una hora a la que todavía no ha amanecido totalmente. Aun así, se obtienen unos resultados de uniformidad por encima del valor teórico.

- En cuanto a la simulación a las 12:00h del 21 de diciembre se obtienen valores bastante razonables y por encima de la iluminación media requerida en las secciones a excepción de la sección 3 de envasado, donde como ya se ha mencionado anteriormente es muy difícil llegar a los 1000 luxes requeridos, y más aún el día con menos luz del año.
- Referente a la simulación del 23 de junio a las 12:00h, se han obtenido valores de iluminación media considerablemente buenos, lo que indica una buena iluminación en toda la nave industrial. Aunque en la sección 3 no se llegan a los 1000 luxes requeridos, se ha obtenido un valor muy cercano, aumentando su valor respecto a la propuesta 3 seleccionada anteriormente.

En cuanto a los resultados globales, se muestran a continuación:

*Tabla 24. Resultados globales, propuesta final.*

<b>Simulación</b>	<b><math>E_m</math></b>	<b><math>E_{min}/E_m</math></b>
Junio 12:00h	550,00	0,52
Diciembre 12:00h	280,00	0,50
Diciembre 9:00h	73,00	0,50

En cuanto a los resultados globales en la totalidad de la edificación, se observa que a fecha del 21 de diciembre a las 12:00h se alcanza el valor mínimo de iluminación media total de 225 luxes, valor que no se había podido alcanzar con ninguna de las propuestas anteriores. Aunque a las 9:00h del mismo día no se alcanza dicho valor, esto es debido a lo que se ha comentado ya anteriormente, el día a esta hora todavía no ha amanecido totalmente.

Asimismo, a fecha de 23 de junio a las 12:00h se obtienen sobre 100 luxes más de iluminación media total respecto a la propuesta 3 seleccionada anteriormente. Además, respecto a los resultados de uniformidad, se obtienen unos resultados muy parecidos a los de la propuesta 3, alrededor de 0,5, el cual es un valor muy bueno en este aspecto.

## 9. Iluminación artificial

Seguidamente, se describe el sistema de iluminación artificial que está ya instalado en la nave industrial. A partir del mismo se va a estudiar la eficiencia del sistema de iluminación natural a implantar, y por ende el ahorro que se llegará a conseguir.

Se parte de un sistema de 40 luminarias artificiales, modelo Philips LED GentleSpace, con una potencia unitaria de 218W. Este es el sistema de iluminación artificial del que se va a partir, y el punto de referencia para el balance económico que se calculará más adelante. Para ello será necesario contar con la tarifa eléctrica contratada y estudiar cada uno de los escenarios de iluminación, tanto artificial, como natural y mixta.

Con todo ello, también será necesario realizar un presupuesto tanto para la instalación del sistema de iluminación natural, es decir, la puesta a punto de los tragaluces y los ventanales, como de su mantenimiento a lo largo de los años. Además, se realizará un presupuesto para el mantenimiento de las luminarias artificiales de las que se parte, pero no de su instalación, ya que como se ha mencionado anteriormente, el sistema de iluminación artificial es el punto de partida.

### 9.1. Eficiencia energética

Como se ha comentado anteriormente, en el punto 5.1.1. Eficiencia energética, en el Código Técnico de Edificación se detalla un método para la verificación de que el sistema de iluminación natural instalado es eficiente desde el punto energético.

Para su correcta verificación, se deberá de calcular la eficiencia energética del sistema de iluminación natural comparando el uso de la iluminación artificial ya instalada en la planta, frente a sistemas de iluminación mixta.

Inicialmente se debe de consultar el porcentaje aproximado de aprovechamiento de la luz solar, esto depende de la latitud a la que se encuentra situada geográficamente la edificación, en este caso, 39º. Teniendo en cuenta lo ya comentado, el aprovechamiento de la luz solar en Alcúdia es de aproximadamente el 90%. De esta forma, se va a calcular la eficiencia energética en los siguientes casos:

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

Seguidamente, se muestra el cálculo de la eficiencia energética para cada una de las situaciones mencionadas. Para ello se va a hacer uso de la Ecuación 1, indicada en el punto 6.1.1, la cual se muestra de nuevo a continuación.

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

Siendo:

$P$ : la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W).

$S$ : la superficie iluminada ( $m^2$ ).

$E_m$ : la iluminancia media mantenida (lux).

Los datos de los cuales son:

$$P = 218 \text{ W}$$

$$S = 880 \text{ m}^2$$

$$E_m = 225 \text{ lux}$$

- Caso 1: 100% iluminación artificial.

$$VEEI = \frac{40 \cdot 218 \cdot 100}{880 \cdot 225} = 4,40 \text{ ((W/m}^2\text{)/100lux)}$$

- Caso 2: 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural.

$$VEEI = \frac{0,3 \cdot 40 \cdot 218 \cdot 100}{880 \cdot 225} = 1,32 \text{ ((W/m}^2\text{)/100lux)}$$

- Caso 3: 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural.

$$VEEI = \frac{0,1 \cdot 40 \cdot 218 \cdot 100}{880 \cdot 225} = 0,44 \text{ ((W/m}^2\text{)/100lux)}$$

Como se puede observar, a medida que se aumenta la utilización del sistema de iluminación natural, el valor dado por la ecuación de la eficiencia energética es menor, lo que significa que cuando menor es el valor obtenido de VEEI, más eficiente energéticamente es la nave industrial. Además, se observa que en el caso 1 el valor de VEEI es mayor que 4, lo que según el CTE se considera que el sistema utilizado no es eficiente.

## **10. Análisis económico**

La finalidad de este punto es comparar la situación actual de utilización de iluminación artificial (caso 1) frente a la utilización de la iluminación mixta, es decir, los casos 2 y 3.

Inicialmente, se va a calcular la factura eléctrica por año para cada uno de los casos mencionados en el apartado anterior. Asimismo, se calcularán todos los gastos asociados al mantenimiento y renovación de las luminarias artificiales utilizadas en las 3 situaciones estudiadas, así como los gastos de mantenimiento del sistema de iluminación natural. Por último, se realizará una comparación de los casos 2 y 3 frente al caso 1 en cuanto al ahorro final calculado.

### **10.1. Facturación eléctrica**

En la factura de la luz se tienen en cuenta distintos términos a la hora de calcular la facturación de la electricidad a final de mes. En primer lugar, están el término de potencia, el cual indica la potencia contratada por la empresa, es decir, es aquella potencia que se tiene disponible en todo momento y se mide en kW, de forma que es un gasto fijo; y el término de energía, el cual depende de la cantidad de energía consumida y se mide en kWh, siendo este un gasto variable.

Luego, hay incluidos dos impuestos, el IVA, es impuesto sobre el valor añadido que como todo producto o servicio se suma al precio final de la tarifa eléctrica; y el impuesto sobre la electricidad, el cual se trata de un impuesto variable que depende del término de potencia y del término de energía.

Finalmente, están los importes de alquiler de línea eléctrica y de contador los cuales pueden existir o no, es decir, dependiendo de si la empresa suministradora es la propietaria de la línea eléctrica que abastece la planta industrial se paga un alquiler o no, e igualmente pasa con el contador, por el cual se debe de pagar una tarifa de alquiler si es propiedad de la suministradora.

Para el cálculo de la facturación eléctrica en las distintas situaciones de iluminación, solo se va a tener en cuenta los gastos variables, es decir, solo se tendrán en cuenta el término de energía y los impuestos asociados, el IVA y el impuesto sobre la electricidad. Esto es debido a que los gastos fijos como el término de potencia o los importes de alquiler de línea y de contador, van a ser iguales en las tres situaciones, por lo que no aportan información al estudio a realizar.

Además, en el caso del término de potencia, para poder calcular correctamente su importe, es necesario conocer la potencia total requerida, es decir, es imprescindible conocer la potencia de la maquinaria utilizada en el sistema de producción, lo cual no es objeto de estudio del trabajo.

Respecto al cálculo del término de energía es necesario conocer la totalidad de la potencia consumida por el sistema de iluminación artificial en cada uno de los casos de estudio, para posteriormente elegir la tarifa eléctrica a contratar y determinar así el precio en €/kWh. Para ello se ha realizado una búsqueda de algunas plantas industriales dedicadas a la producción de cerveza, concretando así que para este tipo de actividad es necesaria una toma de media-baja tensión.

Determinada la toma necesaria, se concluye que la mejor tarifa a contratar es la tarifa de media tensión 3.1A con una potencia total a partir de los 15kW hasta los 450kW. Asimismo, de las suministradoras que abastecen electricidad en la Alcúdia, se ha escogido Iberdrola.

A continuación, se muestra una tabla indicando los precios por periodos de la tarifa eléctrica elegida.

*Tabla 25. Precios de la tarifa eléctrica de Iberdrola, según periodos tarifarios. Fuente: (Iberdrola, s.f.).*

<b>Tarifa 3.1A</b>	<b>Periodo tarifario 1</b>	<b>Periodo tarifario 2</b>	<b>Periodo tarifario 3</b>
Término de potencia (€/kW y año)	59,173468	36,490689	8,367731
Término de energía (€/kWh)	0,014335	0,012754	0,007805

En cuanto a los periodos, estos son diferentes en verano y en invierno. Seguidamente se muestran dos tablas donde se indican las franjas horarias.

*Tabla 26. Periodos tarifarios en verano (abril-octubre).*

<b>Punta</b>	<b>Llano</b>	<b>Valle</b>
11:00-15:00	08:00-11:00 y 15:00-24:00	00:00-08:00

*Tabla 27. Periodos tarifarios en invierno (noviembre-marzo).*

<b>Punta</b>	<b>Llano</b>	<b>Valle</b>
18:00-22:00	08:00-18:00 y 22:00-24:00	00:00-08:00

Si en la planta industrial objeto de estudio se realizan dos turnos laborables por día, es decir, se trabaja desde las 06:00 hasta las 22:00, el reparto de horas por periodos tarifarios es el siguiente:

*Tabla 28. Reparto de horas según periodos tarifarios.*

<b>Mes</b>	<b>P1 (Valle)</b>	<b>P2 (Llano)</b>	<b>P3 (Punta)</b>
Enero	2	10	4
Febrero	2	10	4
Marzo	2	10	4
Abril	2	10	4
Mayo	2	10	4
Junio	2	10	4
Julio	2	10	4
Agosto	2	10	4
Septiembre	2	10	4
Octubre	2	10	4
Noviembre	2	10	4
Diciembre	2	10	4

Luego, se deben de conocer los días laborables por cada mes, en la tabla siguiente se indican los mismos.

Tabla 29. Días laborables de cada mes.

Mes	Días laborables
Enero	19
Febrero	20
Marzo	23
Abril	21
Mayo	21
Junio	22
Julio	22
Agosto	22
Septiembre	22
Octubre	20
Noviembre	21
Diciembre	21
<b>TOTAL</b>	<b>254</b>

Conocidos los días laborables por meses, las horas diarias trabajadas, los periodos tarifarios del precio de la luz según la época del año y los precios por kWh, se procede seguidamente al cálculo de la factura eléctrica para cada caso de estudio. Para este cálculo solo se van a considerar los gastos variables, como se ha comentado anteriormente, así como los impuestos asociados al precio final. En cuanto a gastos variables solo está el término de energía, mientras que respecto a los impuestos está el impuesto sobre la electricidad y el IVA.

En cuanto al cálculo del término de energía se realiza mediante la siguiente expresión:

$$T.E = \sum h_c \cdot P_i \cdot N_d \cdot P_t$$

*Ecuación 6. Término de energía.*

Siendo:

- $h_c$ : horas de consumo por periodo (h).
- $P_i$ : precio de cada periodo (€/kWh).
- $N_d$ : días trabajados por mes (día).
- $P_t$ : potencia consumida por las luminarias (kW).

Referente a los impuestos, el IVA es el 21% del precio final y el impuesto sobre la electricidad se calcula de la siguiente forma:

$$I_e = (T_p + T_E) \cdot 1.05113 \cdot 4,864\%$$

*Ecuación 7. Impuesto sobre la electricidad.*

Donde  $T_E$  es el término de energía, y  $T_p$  es el término de potencia, el cual como no se va a calcular, se determina que es igual a 0.

A continuación, se muestran los precios de la factura eléctrica para cada uno de los casos estudiados.

10.1.1. Caso 1: 100% iluminación artificial.

En este caso se va a hacer uso de todo el sistema de iluminación artificial presente en la nave industrial, el cual se compone por 40 luminarias y tiene los siguientes datos iniciales de la potencia.

*Tabla 30. Datos iniciales de potencia, caso 1.*

Luminarias	40
Potencia (W)	218
Total (W)	8720
Total (kW)	8,72

Con estos datos y junto a la ecuación (7), se calcula el termino de energía por meses.

*Tabla 31. Resultados termino de energía, caso 1.*

<b>Meses</b>	<b>Termino de energía</b>
Enero	33,22 €
Febrero	34,97 €
Marzo	40,21 €
Abril	36,71 €
Mayo	36,71 €
Junio	38,46 €
Julio	38,46 €
Agosto	38,46 €
Septiembre	38,46 €
Octubre	34,97 €
Noviembre	36,71 €
Diciembre	36,71 €
<b>TOTAL</b>	<b>444,06 €</b>

Mientras que el impuesto de la electricidad, calculado mediante la ecuación (8), tiene los siguientes resultados:

*Tabla 32. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 1.*

<b>Meses</b>	<b>Impuesto eléctrico</b>
Enero	1,70 €
Febrero	1,79 €
Marzo	2,06 €
Abril	1,88 €
Mayo	1,88 €
Junio	1,97 €
Julio	1,97 €
Agosto	1,97 €
Septiembre	1,97 €
Octubre	1,79 €
Noviembre	1,88 €
Diciembre	1,88 €
<b>TOTAL</b>	<b>22,70 €</b>

Luego, la suma entre el impuesto eléctrico y el término de energía es el precio de la factura eléctrica antes del IVA.

*Tabla 33. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 1.*

<b>Meses</b>	<b>Te+Ie</b>
Enero	34,92 €
Febrero	36,75 €
Marzo	42,27 €
Abril	38,59 €
Mayo	38,59 €
Junio	40,43 €
Julio	40,43 €
Agosto	40,43 €
Septiembre	40,43 €
Octubre	36,75 €
Noviembre	38,59 €
Diciembre	38,59 €
<b>TOTAL</b>	<b>466,76 €</b>

Finalmente, el precio final de la factura eléctrica al año es el siguiente:

*Tabla 34. Precio final de la factura eléctrica.*

TOTAL	466,76 €
IVA (21%)	98,02 €
<b>TOTAL+IVA</b>	<b>564,78 €</b>

10.1.2. Caso 2: 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural.

En este caso se va a hacer uso del 30% del sistema de iluminación artificial instalado, es decir, se va a realizar el cálculo considerando la utilización de solo 12 luminarias, las cuales estarán ayudadas mediante el sistema de iluminación natural estudiado anteriormente.

*Tabla 35. Datos iniciales de potencia, caso 2.*

Luminarias	40
30%	12
Potencia (W)	218
Total (W)	2616
Total (kW)	2,616

Con estos datos y junto a la ecuación (7), se calcula el termino de energía por meses.

*Tabla 36. Resultados termino de energía, caso 2.*

<b>Meses</b>	<b>Termino de energía (€)</b>
Enero	9,97 €
Febrero	10,49 €
Marzo	12,06 €
Abril	11,01 €
Mayo	11,01 €
Junio	11,54 €
Julio	11,54 €
Agosto	11,54 €
Septiembre	11,54 €
Octubre	10,49 €
Noviembre	11,01 €
Diciembre	11,01 €
<b>TOTAL</b>	<b>133,22 €</b>

Mientras que el impuesto de la electricidad, calculado mediante la ecuación (8), tiene los siguientes resultados:

*Tabla 37. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 2.*

<b>Meses</b>	<b>Impuesto eléctrico (€)</b>
Enero	0,51 €
Febrero	0,54 €
Marzo	0,62 €
Abril	0,56 €
Mayo	0,56 €
Junio	0,59 €
Julio	0,59 €
Agosto	0,59 €
Septiembre	0,59 €
Octubre	0,54 €
Noviembre	0,56 €
Diciembre	0,56 €
<b>TOTAL</b>	<b>6,81 €</b>

Luego, la suma entre el impuesto eléctrico y el término de energía es el precio de la factura eléctrica antes del IVA.

*Tabla 38. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 2.*

<b>Meses</b>	<b>Te+Ie</b>
Enero	10,47 €
Febrero	11,03 €
Marzo	12,68 €
Abril	11,58 €
Mayo	11,58 €
Junio	12,13 €
Julio	12,13 €
Agosto	12,13 €
Septiembre	12,13 €
Octubre	11,03 €
Noviembre	11,58 €
Diciembre	11,58 €
<b>TOTAL</b>	<b>140,03 €</b>

Finalmente, el precio final de la factura eléctrica al año es el siguiente:

*Tabla 39. Precio final de la factura eléctrica, caso 2.*

TOTAL	140,03 €
IVA (21%)	29,41 €
<b>TOTAL+IVA</b>	<b>169,44 €</b>

### 10.1.3. Caso 3: 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural.

En este caso se va a hacer uso del 10% del sistema de iluminación artificial instalado, es decir, se va a realizar el cálculo considerando la utilización de solo 4 luminarias, las cuales estarán ayudadas mediante el sistema de iluminación natural estudiado anteriormente.

*Tabla 40. Datos iniciales de potencia, caso 3.*

Luminarias	40
10%	4
Potencia (W)	218
Total (W)	872
Total (kW)	0,872

Con estos datos y junto a la ecuación (7), se calcula el termino de energía por meses.

*Tabla 41. Resultados termino de energía, caso 3.*

<b>Meses</b>	<b>Termino de energía (€)</b>
Enero	3,32 €
Febrero	3,50 €
Marzo	4,02 €
Abril	3,67 €
Mayo	3,67 €
Junio	3,85 €
Julio	3,85 €
Agosto	3,85 €
Septiembre	3,85 €
Octubre	3,50 €
Noviembre	3,67 €
Diciembre	3,67 €
<b>TOTAL</b>	<b>44,41 €</b>

Mientras que el impuesto de la electricidad, calculado mediante la ecuación (8), tiene los siguientes resultados:

*Tabla 42. Resultados impuesto sobre la electricidad, caso 3.*

<b>Meses</b>	<b>Impuesto eléctrico (€)</b>
Enero	0,17 €
Febrero	0,18 €
Marzo	0,21 €
Abril	0,19 €
Mayo	0,19 €
Junio	0,20 €
Julio	0,20 €
Agosto	0,20 €
Septiembre	0,20 €
Octubre	0,18 €
Noviembre	0,19 €
Diciembre	0,19 €
<b>TOTAL</b>	<b>2,27 €</b>

Luego, la suma entre el impuesto eléctrico y el término de energía es el precio de la factura eléctrica antes del IVA.

*Tabla 43. Precio factura eléctrica antes del IVA, caso 3.*

<b>Meses</b>	<b>Te+Ie</b>
Enero	3,49 €
Febrero	3,68 €
Marzo	4,23 €
Abril	3,86 €
Mayo	3,86 €
Junio	4,04 €
Julio	4,04 €
Agosto	4,04 €
Septiembre	4,04 €
Octubre	3,68 €
Noviembre	3,86 €
Diciembre	3,86 €
<b>TOTAL</b>	<b>46,68 €</b>

Finalmente, el precio final de la factura eléctrica al año es el siguiente:

*Tabla 44. Precio final de la factura eléctrica, caso 2.*

TOTAL	46,68 €
IVA (21%)	9,80 €
<b>TOTAL+IVA</b>	<b>56,48 €</b>

## 10.2. Gastos anuales

Respecto a los gastos anuales estos están compuestos tanto por los gastos de la factura eléctrica como por el gasto en mantenimiento de luminarias y lucernarios. A continuación, se muestra una tabla donde se indica un resumen de la facturación eléctrica para cada caso de estudio.

*Tabla 45. Gastos anuales totales en electricidad.*

<b>Concepto</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
Termino de energía	444,06 €	133,22 €	44,41 €
Impuesto eléctrico	22,70 €	6,81 €	2,27 €
TOTAL (Te+Ie)	466,76 €	140,03 €	46,68 €
IVA	98,02 €	29,41 €	9,80 €
<b>TOTAL+IVA</b>	<b>564,79 €</b>	<b>169,44 €</b>	<b>56,48 €</b>

Seguidamente, se va a hacer un desglose por casos de los gastos anuales totales por cada caso descrito, incluyendo los gastos en mantenimiento, los cuales se especifican detalladamente en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

- Caso 1: 100% iluminación artificial.

*Tabla 46. Gastos anuales totales, caso 1.*

<b>Caso 1</b>	
Gasto eléctrico total	564,79 €
Gasto renovación luminarias	5.011,80 €
<b>Gasto anual total</b>	<b>5.576,58 €</b>

- Caso 2: 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural.

*Tabla 47. Gastos anuales totales, caso 2.*

<b>Caso 2</b>	
Gasto eléctrico total	169,44 €
Gasto renovación luminarias	1.503,54 €
Gasto mantenimiento lucernarios	110,53 €
<b>Gasto anual total</b>	<b>1.783,51 €</b>

- Caso 3: 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural.

*Tabla 48. Gastos anuales totales, caso 3.*

<b>Caso 3</b>	
Gasto eléctrico total	56,48 €
Gasto renovación luminarias	501,18 €
Gasto mantenimiento lucernarios	110,53 €
<b>Gasto anual total</b>	<b>668,19 €</b>

### 10.3. Ahorro

Llegados a este punto, se va a llevar a cabo una comparación entre los distintos casos de iluminación estudiados en cuanto a ahorro en electricidad, ahorro en la renovación de las luminarias y el ahorro total calculado. Todo ello se muestra en las siguientes tablas.

*Tabla 49. Ahorro anual en la facturación eléctrica.*

<b>Ahorro en el gasto eléctrico</b>		
	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
Gasto eléctrico 100% iluminación artificial	564,79 €	-
Gasto eléctrico 30% iluminación artificial	169,44 €	395,35 €
Gasto eléctrico 10% iluminación artificial	56,48 €	508,31 €

*Tabla 50. Ahorro anual en la renovación de luminarias.*

<b>Ahorro en renovación de luminarias</b>		
	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
Coste 100% iluminación artificial	5.011,80 €	-
Coste 30% iluminación artificial	1.503,54 €	3.508,26 €
Coste 10% iluminación artificial	501,18 €	4.510,62 €

*Tabla 51. Ahorro anual total.*

<b>Ahorro total</b>		
	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
Gasto anual total Caso 1	5.576,58 €	-
Gasto anual total Caso 2	1.783,51 €	3.793,08 €
Gasto anual total Caso 3	668,19 €	4.908,39 €

Se observan, por tanto, valores bastante importantes en cuanto al ahorro anual en los casos de iluminación mixta. El aprovechamiento de la luz natural en este tipo de edificación es muy importante, ya que como se observa se puede llegar a ahorrar una gran cantidad de dinero al año.

### 10.4. Rentabilidad del proyecto

Calculado el ahorro anual que se puede llegar a obtener con un sistema de iluminación mixta, se debe realizar un estudio sobre la rentabilidad del proyecto, es decir, de la instalación del sistema de iluminación natural escogido en el punto 7.4. Propuesta final.

En primer lugar, se debe de calcular el VAN (Valor Actual Neto) que representa el valor neto de los flujos de caja que se originan por una inversión realizada. Este valor se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^t \frac{V_t}{(1+i)^t}$$

*Ecuación 8. VAN.*

Donde:

- $I_0$ : inversión inicial.
- $V_t$ : flujos de caja en el periodo t.
- $i$ : TIN (Tipo de Interés Nominal).
- $t$ : periodo de tiempo.

Hay que tener en cuenta que:

VAN > 0	Generará ganancias
VAN = 0	No generará ganancias ni pérdidas
VAN < 0	Generará pérdidas

En segundo lugar, otro factor que se debe de calcular para estudiar la rentabilidad del proyecto es el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). Este es el valor del tipo de interés  $i$  que anule el VAN, y cuando mayor es este valor, mayor será la rentabilidad del proyecto.

A continuación, se muestran las tablas con los resultados del VAN y TIR.

*Tabla 52. Datos iniciales para el cálculo del VAN y TIR.*

	Flujo de caja	Inversión Inicial
Caso 2. 30%	3.793,08 €	55.011,70 €
Caso 3. 10%	4.908,39 €	55.011,70 €

*Tabla 53. Resultados del cálculo del VAN, casos 2 y 3.*

	VAN (i=0,02)	VAN (i=0,04)	VAN (i=0,06)	VAN (i=0,08)	VAN (i=0,1)
Caso 2	19.042,27 €	4.244,05 €	-6.523,45 €	-14.521,45 €	-20.581,79 €
Caso 3	40.817,12 €	21.667,62 €	7.734,05 €	-2.615,69 €	-10.458,01 €

*Tabla 54. Resultados del cálculo del TIR, casos 2 y 3.*

	Flujo de caja	Inversión Inicial	TIR
Caso 2	3.793,08 €	55.011,70 €	4,7%
Caso 3	4.908,39 €	55.011,70 €	7,4%

El cálculo de estos dos valores indicativos se realiza para 25 periodos, es decir, hasta un  $t = 25$  en la Ecuación 8 y se observa que con los resultados obtenidos en los dos casos se trata de un proyecto rentable. Respecto al VAN se obtienen resultados por encima de 0 sobre todo en el Caso 3, lo que significa que se generaran ganancias, en el Caso 2 el proyecto no tiene tanta rentabilidad ya que en este caso se utiliza más cantidad de energía eléctrica y por tanto se gasta más. Por otra parte, en el caso del TIR, se obtienen valores considerablemente altos, pero como en el VAN, en el Caso 3 se obtiene un mayor valor que en el Caso 2.

## 11. Conclusiones

De todos los resultados obtenidos en el estudio del sistema de iluminación natural se extraen las siguientes conclusiones.

- De las diferentes alternativas propuestas se ha escogido una con mejores resultados obtenidos, para posteriormente mejorarla y poder llegar a los requerimientos establecidos en la normativa UNE 12464.1. Estos son, la iluminación media interior tota y por zonas de trabajo, excepto en la zona de envasado; la uniformidad de la iluminación, llegando a valores bastante elevados; iluminación máxima; y, deslumbramientos
- La propuesta finalmente escogida consta tanto de lucernarios en la cubierta como de ventanales en las cuatro fachadas laterales, lo que puede llegar a provocar deslumbramientos a una cierta distancia del cerramiento lateral. Estos se pueden evitar con distintas medidas como la colocación de los puestos de trabajo en zonas donde los elementos interiores de la nave industrial eviten estos fenómenos, es decir, apantallando esos puestos de trabajo o en la dirección opuesta a la fachada lateral por donde se provoquen los mismos.
- Como la iluminación natural es variable y dependiente de distintos factores ambientales, se considera que en el interior de la edificación siempre se va a utilizar un sistema de iluminación mixta, es decir, utilizar el sistema de iluminación natural y el sistema de iluminación artificial ya instalado, aprovechando siempre al máximo el primero.
- Se han propuesto dos alternativas de iluminación mixta, una con un 30% de utilización del sistema de iluminación artificial, y otro, con un 10% de uso. Junto a ello se ha realizado un presupuesto en cuanto a costes de instalación del sistema de iluminación natural y mantenimiento tanto de lucernarios como de luminarias en los dos casos, así como el cálculo de la facturación eléctrica, para posteriormente compararlos con el caso del 100% del uso del sistema de iluminación artificial. Se han obtenido unos valores bastante importantes en cuanto al ahorro total anual en los casos del uso del 30% y 10% de luminarias.
- En cuanto al estudio de la rentabilidad del proyecto, se concluye que el proyecto es más rentable en el caso del 10% de iluminación artificial que en el caso del 30%, ya que en el primero se han obtenido mejores resultados tanto en el VAN como en el TIR. Asimismo, en el segundo caso se ha obtenido un valor del TIR ampliamente aceptable, lo que indica que el proyecto sigue siendo rentable.

## **12. Bibliografía**

- AME, Sonepar company. (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de AME, Sonepar company:  
<https://tiendaamelectrico.sonepar.es/>
- Código Técnico de la Edificación (CTE). (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de Código Técnico de la Edificación (CTE).: <https://www.codigotecnico.org/>
- Fuentes Burges, J. L. (s.f.). *PoliformaT. Apuntes de Proyectos de Ingeniería Química*. Recuperado el mayo de 2021, de PoliformaT. Apuntes de Proyectos de Ingeniería Química.
- García Fayos, B. (s.f.). *PoliformaT. Apuntes de Procesos Industriales de Ingeniería Química*. Recuperado el mayo de 2021, de PoliformaT. Apuntes de Procesos Industriales de Ingeniería Química.
- Iberdrola. (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de Iberdrola:  
<https://www.iberdrola.es/empresas/informacion/mercado-energetico>
- IVE, Institut Valencià de l'Edificació. (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de IVE, Institut Valencià de l'Edificació: <https://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2020/>
- Los cervecistas. (s.f.). Recuperado el mayo de 2021, de Los cervecistas:  
<https://www.loscervecistas.es/>
- Ovacen. (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de Ovacen: <https://ovacen.com/>
- Santamarina Siruana, M. C. (s.f.). *PoliformaT. Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial*. Recuperado el junio de 2021, de PoliformaT. Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial.
- Tarifa eléctrica. (s.f.). Recuperado el junio de 2021, de Tarifa eléctrica: 3.1A ([tarifa-electrica.es](http://tarifa-electrica.es))
- Tres Jotas Beer Club. (s.f.). Recuperado el mayo de 2021, de Tres Jotas Beer Club:  
<https://tresjotasbeerclub.com/>
- UNE 12464.1. *Normativa Europea sobre Iluminación para Interiores*. (s.f.). Recuperado el mayo de 2021, de UNE 12464.1. Normativa Europea sobre Iluminación para Interiores.

# ANEXO 1: Ficha técnica de la luminaria



## GentleSpace gen2

### BY471P ECO320S/840 PSD WB GC SI

GentleSpace 2 - LED EconomyLine 32000 lm - 840 blanco neutro - Unidad de fuente de alimentación con interfaz DALI - Haz ancho - Cristal transparente - SI

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

#### Datos del producto

Información general		Driver/unidad de potencia/transformador	
Número de fuentes de luz	16 [ 16 piezas]	Driver incluido	PSD [ Unidad de fuente de alimentación con interfaz DALI]
Código familia de lámparas	ECO320 [ LED EconomyLine 32000 lm]	Tipo de óptica	WB [ Haz ancho]
Ángulo del haz de fuente de luz	114 °	Tipo lente/cubierta óptica	GC [ Cristal transparente]
Temperatura de color	840 blanco neutro	Apertura de haz de luz de la luminaria	44° x 42°
Base de casquillo	- [ -]	Control integrado	No [ -]
Fuente de luz sustituible	Si	Interfaz de control	DALI
Número de unidades de equipo	2	Connection	Conector externo
Equipo	Electrónico	Cable	CW5

# Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial productora de cerveza.

## GentleSpace gen2

Clase de protección IEC	Seguridad clase I
Montaje	SMT [ Conjunto doble de suspensión, triángulo]
Revestimiento	No
Test del hilo incandescente	Temperatura 650 °C, duración 5 s
Marca de inflamabilidad	D [ D]
Marca CE	Marcado CE
Certificado ENEC	Marcado ENEC
Apto para zonas deportivas	No
Certificado Ganador del premio de diseño	DAW-2014
Periodo de garantía	5 años
Accesorios para suspensión	No [ -]
Comentarios	* -Per Lighting Europe guidance paper "Evaluating performance of LED based luminaires - January 2018": statistically there is no relevant difference in lumen maintenance between B50 and for example B10. Therefore the median useful life (B50) value also represents the B10 value.
Flujo luminoso constante	No
Número de productos en MCB	6
Conforme con EU RoHS	Si
Product Family Code	BY47IP [ GentleSpace 2]
Índice de deslumbramiento unificado CEN	25
<b>Operativos y eléctricos</b>	
Tensión de entrada	220-240 V
Frecuencia de entrada	50 a 60 Hz
Voltaje de señal de control	0-16 V DC DALI
Corriente de arranque	9,6 A
Tiempo de irrupción	2,3 ms
Factor de potencia (mín.)	0,9
<b>Controles y regulación</b>	
Regulable	Si
<b>Mecánicos y de carcasa</b>	
Material de la carcasa	Aluminio
Material del reflector	-
Material óptico	AC
Material cubierta óptica/lente	Vidrio
Material de la bandeja portaequipos	Acero
Material de fijación	Acero inoxidable
Acabado cubierta óptica/lente	Clara
Longitud total	600 mm
Anchura total	450 mm
Altura total	150 mm

Color	Si
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	150 x 450 x 600 mm (5.9 x 17.7 x 23.6 in)
<b>Aprobación y aplicación</b>	
Código de protección de entrada	IP65 [ Protección frente a la penetración de polvo, protección frente a chorros de agua a presión]
Índice de protección frente a choque mecánico	IK07 [ IK07]
<b>Rendimiento inicial (conforme con IEC)</b>	
Flujo lumínico inicial	32000 lm
Tolerancia de flujo lumínico	+/-7%
Eficiencia de la luminaria LED inicial	147 lm/W
Corr. inic. de temperatura de color	4000 K
Inic. Índice de reproducción del color	≥80
Cromacidad inicial	(0.38, 0.38) SDCM <3
Potencia de entrada inicial	218 W
Tolerancia de consumo de energía	+/-11%
<b>Rendimiento en el tiempo (conforme con IEC)</b>	
Índice de fallos del equipo de control con una vida útil mediana de 50.000 h	5 %
Índice de fallos del equipo de control con una vida útil mediana de 100.000 h	10 %
Mantenimiento lumínico con una vida útil mediana* de 50.000 h	L80
Mantenimiento lumínico con una vida útil mediana* de 100.000 h	L65
<b>Condiciones de aplicación</b>	
Rango de temperatura ambiente	-30 °C a +45 °C
Performance ambient temperature Tq	25 °C
Nivel máximo de regulación	10%
Apta para encendidos y apagados aleatorios	No
<b>Datos de producto</b>	
Código de producto completo	871869634796600
Nombre de producto del pedido	BY47IP ECO320S/840 PSD WB GC SI
EAN/UPC - Producto	8718696347966
Código de pedido	34796600
Cantidad por paquete	1
Numerador - Paquetes por caja exterior	1
N.º de material (12NC)	910925863385
Peso neto (pieza)	15,600 kg





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



**PRESUPUESTO:  
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA  
PLANTA INDUSTRIAL PRODUCTORA DE  
CERVEZA**

AUTOR:       NEGRE GARRIGUES, ARNAU

TUTOR:       SANTAMARINA SIRUANA, MARÍA CRISTINA



Curso Académico: 2020-21



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>2</b>
1. Presupuesto instalación del sistema de iluminación natural .....	3
2. Presupuesto asociado al mantenimiento de los lucernarios.....	5
3. Presupuesto asociado a la renovación de las luminarias. ....	6

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de precios descompuestos, instalación del sistema de iluminación natural. ....	3
Tabla 2. Cuadro de mediciones, instalación del sistema de iluminación natural.....	4
Tabla 3. Cuadro de precios parciales, instalación del sistema de iluminación natural.....	4
Tabla 4. Cuadro de presupuestos finales, instalación del sistema de iluminación natural.....	5
Tabla 5. Cuadro de precios descompuestos, mantenimiento de lucernarios. ....	5
Tabla 6. Cuadro de mediciones, mantenimiento de lucernarios.....	5
Tabla 7. Cuadro de precios parciales, mantenimiento de lucernarios.....	6
Tabla 8. Cuadro de presupuestos finales, mantenimiento de lucernarios. ....	6
Tabla 9. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 1. ....	7
Tabla 10. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 1.....	7
Tabla 11. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 1. ....	7
Tabla 12. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 1. ....	7
Tabla 13. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 2. ....	8
Tabla 14. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 2.....	8
Tabla 15. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 2. ....	8
Tabla 16. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 2. ....	8
Tabla 17. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 3.....	9
Tabla 18. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 3.....	9
Tabla 19. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 3. ....	9
Tabla 20. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 3. ....	9

Recordar que la propuesta final del sistema de iluminación natural consta de:

- 1 ventanal de 25m de ancho y 1,5m de alto, con un total de 37,5m<sup>2</sup>.
- 1 ventanal de 22,5m de ancho y 1,5m de alto, con un total de 33,75m<sup>2</sup>.
- 1 ventanal de 37,5m de ancho y 1,5m de alto, con un total de 56,25m<sup>2</sup>.
- 1 ventanal de 11,25m de ancho y 1,5m de alto, con un total de 16,875m<sup>2</sup>.
- 10 lucernarios de 2,5m de ancho y 7m de largo, con un total del 175m<sup>2</sup>.

### 1. Presupuesto instalación del sistema de iluminación natural

*Tabla 1. Cuadro de precios descompuestos, instalación del sistema de iluminación natural.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	<b>m2</b>	<b>Preparación del hueco para lucernarios y ventanales</b>				
	hr	Oficial 1ª metal	0,25	18,11 €	4,53 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,084	156,55 €	13,15 €	
	%	Costes directos	0,03	17,68 €	0,53 €	
						<b>18,21 €</b>
<b>01.02</b>	<b>m2</b>	<b>Colocación de carpintería metálica</b>				
	ud	Premarco de aluminio	1	8,37 €	8,37 €	
	hr	Oficial 1ª metal	0,25	18,11 €	4,53 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,066	156,55 €	10,33 €	
	%	Costes directos	0,03	23,23 €	0,70 €	
						<b>23,93 €</b>
<b>01.03</b>	<b>m2</b>	<b>Instalación de paneles de policarbonato</b>				
	m2	Panel de policarbonato celular	1	53,40 €	53,40 €	
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,4	15,27 €	6,11 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,0063	156,55 €	0,99 €	
	%	Costes directos	0,03	60,49 €	1,81 €	
						<b>62,31 €</b>
<b>01.04</b>	<b>m2</b>	<b>Soldado de paneles de policarbonato</b>				
	hr	Oficial 1ª metal	0,15	16,58 €	2,49 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,066	156,55 €	10,33 €	
	%	Costes directos	0,03	12,82 €	0,38 €	
						<b>13,20 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial productora de cerveza.*

*Tabla 2. Cuadro de mediciones, instalación del sistema de iluminación natural.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	<b>Preparación del hueco para lucernarios y ventanales</b>						
	m2	Lucernarios	10	2,5	7	-	175	
	m2	Ventanal	1	1,5	25	-	37,5	
	m2	Ventanal	1	1,5	22,5	-	33,75	
	m2	Ventanal	1	1,5	37,5	-	56,25	
	m2	Ventanal	1	1,5	11,25	-	16,875	
								319,375
01.02	m2	<b>Colocación de carpintería metálica</b>						
	m2	Lucernarios	10	2,5	7	-	175	
	m2	Ventanal	1	1,5	25	-	37,5	
	m2	Ventanal	1	1,5	22,5	-	33,75	
	m2	Ventanal	1	1,5	37,5	-	56,25	
	m2	Ventanal	1	1,5	11,25	-	16,875	
								319,375
01.03	m2	<b>Instalación de paneles de policarbonato</b>						
	m2	Lucernarios	10	2,5	7	-	175	
	m2	Ventanal	1	1,5	25	-	37,5	
	m2	Ventanal	1	1,5	22,5	-	33,75	
	m2	Ventanal	1	1,5	37,5	-	56,25	
	m2	Ventanal	1	1,5	11,25	-	16,875	
								319,375
01.04	m2	<b>Soldado de paneles de policarbonato</b>						
	m2	Lucernarios	10	2,5	7	-	175	
	m2	Ventanal	1	1,5	25	-	37,5	
	m2	Ventanal	1	1,5	22,5	-	33,75	
	m2	Ventanal	1	1,5	37,5	-	56,25	
	m2	Ventanal	1	1,5	11,25	-	16,875	
								319,375

*Tabla 3. Cuadro de precios parciales, instalación del sistema de iluminación natural.*

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Preparación del hueco para lucernarios y ventanales	5.815,19 €	
01.02	colocación de carpintería metálica	7.641,59 €	
01.03	Instalación de paneles de policarbonato	19.899,97 €	
01.04	Soldado de paneles de policarbonato	4.216,99 €	
			37.573,73 €

Con la suma de los precios parciales se obtiene el Presupuesto de Ejecución del Material (PEM), con un total de 37.573,73 €. A este presupuesto el contratista le debe de añadir un porcentaje del 15% asignado a los gastos generales que son ajenos a la ejecución de la obra. Asimismo, le debe añadir un 6% más por el Beneficio Industrial, destinado al propio contratista. Con la suma de estos porcentajes, se obtiene el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).

Finalmente, a este último presupuesto, se le añade el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) estipulado en un 21% del PEC y con ello se obtiene el Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 4. Cuadro de presupuestos finales, instalación del sistema de iluminación natural.*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>37.573,73 €</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	<b>45.464,22 €</b>
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>55.011,70 €</b>

El presupuesto final de la instalación del sistema de iluminación natural asciende a ***cincuenta y cinco mil once euros con setenta céntimos.***

## 2. Presupuesto asociado al mantenimiento de los lucernarios.

En este punto se va a calcular el presupuesto del mantenimiento de los lucernarios del sistema de iluminación natural escogido. Destacar que el mantenimiento solo se realiza en los lucernarios y no en los ventanales, por la razón que los lucernarios al estar en cubierta están mucho más expuestos. Este mantenimiento se realiza cada 5 años.

*Tabla 5. Cuadro de precios descompuestos, mantenimiento de lucernarios.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	<b>Mantenimiento paneles de policarbonato</b>				
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,05	15,27 €	0,76 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,0085	156,55 €	1,33 €	
	%	Costes directos	0,03	2,09 €	0,063 €	
						2,16 €

*Tabla 6. Cuadro de mediciones, mantenimiento de lucernarios.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	<b>Mantenimiento paneles de policarbonato</b>						
	m2	Lucernarios	10	2,5	7	-	175	
								175

*Tabla 7. Cuadro de precios parciales, mantenimiento de lucernarios.*

<b>COD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>01.01</b>	Mantenimiento paneles de policarbonato	377,48 €	
			377,48 €

De la misma forma como se ha descrito anteriormente, al PEM se le debe sumar los porcentajes de Gastos Generales (15%) y de Beneficio Industrial (6%) para obtener el PEC. Y a este último, se le debe de añadir el 21% del IVA.

*Tabla 8. Cuadro de presupuestos finales, mantenimiento de lucernarios.*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	377,48 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	456,74 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>552,66 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	552,66 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>110,53 €</b>

El presupuesto final asociado al mantenimiento de lucernarios asciende a **ciento diez euros con cincuenta y tres céntimos**.

### 3. Presupuesto asociado a la renovación de las luminarias.

Finalmente, se calcula el presupuesto de la renovación de las luminarias, las cuales dependiendo de su modelo se deben renovar tras un tiempo de uso. En el caso de las luminarias escogidas para este proyecto, su vida útil es de 50.000 horas. Sabiendo que se trabajan 254 días al año y 16 horas al día, el periodo de vida útil de las luminarias se calcula de la siguiente forma.

$$Vida\ útil = \frac{50000\ h}{4064\ \frac{h}{año}} = 12,3\ años$$

Conocido el periodo de vida útil, se va a calcular el presupuesto de renovación de las luminarias para cada caso estudiado.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial productora de cerveza.*

---

- Caso 1: 100% iluminación artificial.

*Tabla 9. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 1.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	ud	<b>Renovación de luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1	1015	1.015 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,3	18,83 €	5,65 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,01	156,55 €	1,57 €	
	%	Costes directos	0,03	1022,21	30,67 €	
						1.053 €

*Tabla 10. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 1.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	ud	<b>Renovación de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	40	-	-	-	40	
								40

*Tabla 11. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 1.*

COD	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	Renovación de luminarias	42.115 €	
			42.115 €

Sumándole al PEM los porcentajes de Beneficio Industrial (6%) y de Gastos Generales (15%) se obtiene el PEC. Luego se le debe de añadir a este último el 21% de IVA para obtener finalmente el Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 12. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 1.*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	42.115,24 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	50.959,44 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>61.660,92 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	61.660,92 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>5.011,80 €</b>

El presupuesto asociado a la renovación de luminarias del caso 1 asciende a **cinco mil once euros con ochenta céntimos**.

- Caso 2: 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural.

*Tabla 13. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 2.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	ud	<b>Renovación de luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1	1015	1.015 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,3	18,83 €	5,65 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,01	156,55 €	1,57 €	
	%	Costes directos	0,03	1022,21	30,67 €	
						1.053 €

*Tabla 14. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 2.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	ud	<b>Renovación de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	12	-	-	-	12	
								12

*Tabla 15. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 2.*

COD	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	Renovación de luminarias	12.635 €	
			12.635 €

Sumándole al PEM los porcentajes de Beneficio Industrial (6%) y de Gastos Generales (15%) se obtiene el PEC. Luego se le debe de añadir a este último el 21% de IVA para obtener finalmente el Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 16. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 2.*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	12.634,57 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	15.287,83 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>18.498,28 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	18.498,28 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>1.503,54 €</b>

El presupuesto asociado a la renovación de luminarias del caso 2 asciende a **mil quinientos tres euros con cincuenta y cuatro céntimos**.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial productora de cerveza.*

---

- Caso 3: 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural.

*Tabla 17. Cuadro de precios descompuestos, renovación de luminarias Caso 3.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	<b>Renovación de luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1	1015	1.015 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,3	18,83 €	5,65 €	
	dia	Plataforma elevadora articulada	0,01	156,55 €	1,57 €	
	%	Costes directos	0,03	1022,21	30,67 €	
						1.053 €

*Tabla 18. Cuadro de mediciones, renovación de luminarias Caso 3.*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	<b>Renovación de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	4	-	-	-	4	
								4

*Tabla 19. Cuadro de precios parciales, renovación de luminarias Caso 3.*

COD	DESCRIPCION	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Renovación de luminarias	4.212 €	
			4.212 €

Sumándole al PEM los porcentajes de Beneficio Industrial (6%) y de Gastos Generales (15%) se obtiene el PEC. Luego se le debe de añadir a este último el 21% de IVA para obtener finalmente el Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 20. Cuadro de presupuestos finales, renovación de luminarias Caso 3.*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	4.211,52 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	5.095,94 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>6.166,09 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	6.166,09 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>501,18 €</b>

El presupuesto asociado a la renovación de luminarias del caso 3 asciende a **quinientos un euros con diez y ocho céntimos**.