



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

RESUMEN

El desarrollo del trabajo consistirá en tomar los planos arquitectónicos de una empresa, analizar su proceso productivo y desarrollar una alternativa de iluminación natural energéticamente eficiente.

La empresa escogida está dedicada a la elaboración de productos cosméticos, abarcando desde geles, champús y demás productos de higiene y aseo hasta incluso cremas, lociones solares, y otros productos de protección dérmica y personal.

Como se ha descrito previamente, en primer lugar se analizará la distribución en planta de la empresa y el proceso productivo de la misma, con objeto de analizar las necesidades de iluminación de cada zona.

El gran esfuerzo dentro del trabajo ha sido la conceptualización de las distintas soluciones. Se llevarán a cabo numerosas propuestas con el fin de extraer datos útiles para el desarrollo de una solución viable y eficiente.

Previamente a la exposición de los resultados lumínicos y a la elección de la opción viable más recomendada, se situará al lector en el contexto de iluminación para facilitar la comprensión de dicho apartado. Además a lo largo del trabajo se irán planteando una serie de conceptos y expresiones analíticas que faciliten la comprensión de los cálculos empleados.

En tercer lugar se llevarán a cabo las simulaciones luminotécnicas mediante el software DIALux y se expondrán los resultados, analizándolos y comparándolos, extrayendo de ellos los datos más significativos para seleccionar la opción más conveniente.

En la parte final del proyecto se elaborará un presupuesto para conocer el gasto que supone llevar a cabo el proyecto y comprobar también la rentabilidad del mismo, para averiguar si vale la pena desarrollarlo y en caso positivo, en qué momento se amortizará la inversión.

Palabras clave: iluminación natural, productos cosméticos, luminotecnia, presupuesto y rentabilidad.

RESUM

El desenrotllament del treball consistirà a prendre els plans arquitectònics d'una empresa, analitzar el seu procés productiu i desenrotllar una alternativa d'il·luminació natural energèticament eficient.

L'empresa triada està dedicada a l'elaboració de productes cosmètics, comprenent des de gels, champús i la resta de productes d'higiene i neteja fins i tot cremes, locions solars, i altres productes de protecció dèrmica i personal.

Com s'ha descrit prèviament, en primer lloc s'analitzarà la distribució en planta de l'empresa i el procés productiu de la mateixa.

La gran dificultat dins del treball ha sigut la conceptualització de les diferents solucions. Es portaràn a terme diverses propostes a la fi d'extraure dades útils per al desenvolupament d'una solució viable y eficient.

Prèviament a l'exposició dels resultats lumínics i a l'elecció de l'opció viable més recomanada, se situarà el lector en el context d'il·luminació per a facilitar la comprensió del dit apartat. A més al llarg del treball se n'aniran plantejant una sèrie de conceptes i fórmules que faciliten la comprensió dels càlculs utilitzats.

En tercer lloc es duran a terme les simulacions luminotècniques per mitjà del programari DIALux i s'exposaran els resultats, analitzant-los i comparant-los, extraient d'ells les dades més significatives per a seleccionar l'opció més convenient.

En la part final del projecte s'elaborarà un pressupost per a conèixer el cost que suposa dur a terme el projecte i comprovar també la rendibilitat del mateix, per a esbrinar si val la pena desenrotllar-ho i en cas positiu, en quin moment s'amortitzarà la inversió.

ABSTRACT

The development of the work consist of taking the architectural blueprints of a company, analyze his production process and develop an alternative of energy-efficient daylighting.

The chosen company is dedicated to the development of cosmetic products, ranging from gels, shampoos and other products of hygiene and cleanliness to even solar lotions, creams and other skin and personal protection products.

As has been previously described, first of all the distribution plant of the Company and the production process will be discussed.

The great effort of the work has been the conceptualization of the different solutions. It's carried out numerous proposals to extract the useful data for the development of a viable and efficient solution.

Before the exhibition of lighting results and the choice of the viable option more recommended, the reader will be placed in the context of lighting to facilitate the understanding of that paragraph. In addition during the work, it will expose a series of concepts and formulas that will facilitate the understanding of the calculations used.

In third place there will be lighting simulations using the DIALux software. The results will be analyzed and compared, extracting from them the most significant data to select the most desirable option to be displayed.

In the final part of the project will be used to prepare a budget for the cost of carrying out the project. It will check for the profitability of the project to know if it is worth the effort to develop it. In case of positive, it will be studied at what point will be amortized investment.

PRÓLOGO

La razón de la elección de este TFG se debe al periodo durante el que se impartió la asignatura, ya que en ese momento me encontraba realizando prácticas en una empresa de cosmética.

La impartición de la asignatura de Construcción y arquitectura industrial me pareció de lo más interesante, junto con el software utilizado y dado que este tipo de programas han llamado siempre mi atención, me decidí a escoger este proyecto.

Tras la realización y el esfuerzo invertido en el proyecto, me siento satisfecho por los resultados obtenidos a nivel personal, puesto que poseo un mayor conocimiento de una rama como es la arquitectura y la construcción y una mayor destreza en programas de simulación relacionados con la construcción.

Por último agradecer a mi tutora M^a Cristina, por un lado; la forma que ha tenido de amenizar la asignatura y por otra parte, agradecerle la ayuda proporcionada para la realización del proyecto y su presencia constante durante la misma. También agradecer a mi familia el haberme facilitado los medios necesarios para hacer posible el llegar hasta aquí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ANEXO 1. PRESUPUESTO

ANEXO 2. LUMINARIAS

ANEXO 3. PLANOS

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
2.	COSMÉTICOS	3
3.	SECTOR COSMÉTICO.....	5
3.1.	CONTEXTO ECONOMICO DEL SECTOR COSMÉTICO	5
4.	PROCESO PRODUCTIVO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	9
4.1.	PROCESO PRODUCTIVO.....	9
4.2.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.	10
5.	ILUMINACIÓN	13
5.1.	INTRODUCCIÓN	13
5.2.	REQUISITOS DE LA PLANTA	14
5.3.	MÉTODO ANALÍTICO	17
5.4.	PROPUESTAS DE ILUMINACIÓN.	19
5.5.	PROPUESTA SELECCIONADA.....	36
5.6.	ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	42
5.6.1.	EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	43
6.	PRESUPUESTO	47
6.2.	BALANCE ECONÓMICO.....	47
6.3.	ILUMINACION 100% ARTIFICIAL.....	49
6.3.1.	Facturación mensual de la planta con un uso del 100% de iluminación artificial.....	50
6.3.2.	Facturación anual con un uso del 100% de iluminación artificial	52
6.4.	ILUMINACION MIXTA	54
6.4.1.	30% DE LUZ ARTIFICIAL Y 70% DE LUZ NATURAL	54
6.4.1.1.	FACTURACIÓN MENSUAL DE LA PLANTA CON 30% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	55
6.4.1.2.	FACTURACIÓN ANUAL DE LA PLANTA CON 30% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	57
6.4.2.	10% DE LUZ ARTIFICIAL Y 90% DE LUZ NATURAL	60

6.4.2.1.	FACTURACIÓN MENSUAL DE LA PLANTA CON 10% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	60
6.4.2.2.	FACTURACIÓN ANUAL DE LA PLANTA CON 10% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	62
6.5.	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	65
7.	CONCLUSIONES	69
8.	BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de consumo entre primeros semestres de 2015 y 2016 [8].	7
Tabla 2. Requerimientos de iluminación por zonas [10].	15
Tabla 3. Factores característicos de los lucernarios.	17
Tabla 4. Datos para el cálculo de superficie de ventanas.	18
Tabla 5. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 1.	19
Tabla 6. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 1.	20
Tabla 7. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 2.	21
Tabla 8. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 2.	22
Tabla 9. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 3.	23
Tabla 10. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 3.	24
Tabla 11. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 4.	25
Tabla 12. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 4.	26
Tabla 13. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 5.	27
Tabla 14. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 5.	28
Tabla 15. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 6.	29
Tabla 16. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 6.	30
Tabla 17. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 7.	31
Tabla 18. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 7.	32
Tabla 19. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 8.	33
Tabla 20. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 8.	34
Tabla 21. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 9.	35
Tabla 22. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 9.	36
Tabla 23. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta elegida.	39
Tabla 24. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta elegida.	40
Tabla 25. Valores de iluminación con luminarias al 100%.	43

Tabla 26. Valores de eficiencia energética para un uso del 100% de luz artificial.....	43
Tabla 27. Valores de eficiencia energética para un uso del 10% de luz artificial.....	44
Tabla 28. Valores de eficiencia energética para un uso del 30% de luz artificial.....	45
Tabla 29. Cálculo de la potencia total de la planta.	47
Tabla 30. Horas de trabajo mensual.....	49
Tabla 31. Tabla de precios de potencia y energía []......	50
Tabla 32. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 100% de iluminación artificial. ..	51
Tabla 33. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 100% de iluminación artificial.	51
Tabla 34. Tabla resumen mensualidades en invierno.	52
Tabla 35. Tabla resumen mensualidades en verano.	52
Tabla 36. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales.	53
Tabla 37. Tabla de cálculo de términos de energía anuales.	53
Tabla 38. Tabla resumen facturación anual.	53
Tabla 42. Tabla de costes totales con uso del 100% de iluminación artificial.	54
Tabla 43. Cálculo de la nueva potencia total de la planta.....	55
Tabla 44. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 30% de iluminación artificial.	56
Tabla 45. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 30% de iluminación artificial.	56
Tabla 46. Tabla resumen mensualidades en invierno con un 30% de luz artificial.....	57
Tabla 47. Tabla resumen mensualidades en verano con un 30% de luz artificial.....	57
Tabla 48. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales con un 30% de luz artificial.	58
Tabla 49. Tabla de cálculo de términos de energía anuales utilizando un 30% de luz artificial.	58
Tabla 50. Tabla resumen facturación anual con un 30% de luz artificial.	58
Tabla 51. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias [24].	59
Tabla 52. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.....	59
Tabla 53. Cuadro de precios parciales para la instalación de 6 luminarias.....	59
Tabla 54. Tabla de costes totales con uso del 30% de iluminación artificial.	60
Tabla 55. Cálculo de la nueva potencia total de la planta.....	60
Tabla 56. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 10% de iluminación artificial.	61
Tabla 57. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 10% de iluminación artificial.	61
Tabla 58. Tabla resumen mensualidades en invierno con un 10% de luz artificial.....	62
Tabla 59. Tabla resumen mensualidades en verano con un 10% de luz artificial.....	62

Tabla 60. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales con un 10% de luz artificial.	63
Tabla 61. Tabla de cálculo de términos de energía anuales utilizando un 10% de luz artificial.	63
Tabla 62. Tabla resumen facturación anual.	63
Tabla 63. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias [25].	64
Tabla 64. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.	64
Tabla 65. Cuadro de precios parciales para la instalación de 2 luminarias.	64
Tabla 66. Tabla de costes totales con uso del 10% de iluminación artificial.	65
Tabla 67. Beneficio económico de los distintos porcentajes de uso de luz natural frente a luz artificial.	65
Tabla 68. Cálculo del valor añadido neto para el 30% de luz artificial.	66
Tabla 69. Cálculo de la tasa interna de rendimiento para el 30% de luz artificial.	67
Tabla 70. Cálculo del valor añadido neto para el 10% de luz artificial.	67
Tabla 71. Cálculo de la tasa interna de rendimiento para el 10% de luz artificial.	67
Tabla 72. Cuadro de precios descompuestos para la construcción de la abertura.	74
Tabla 73. Cuadro de precios descompuestos para el acondicionamiento del hueco.	74
Tabla 74. Cuadro de precios descompuestos para la partida de instalación de lucernarios.	75
Tabla 75. Cuadro de precios descompuestos para el soldado.	75
Tabla 76. Cuadro de mediciones para la construcción de aberturas.	75
Tabla 77. Cuadro de mediciones para el acondicionamiento de los huecos.	76
Tabla 78. Cuadro de mediciones para acristalamiento con policarbonato celular.	76
Tabla 79. Cuadro de mediciones para el soldado de las placas.	76
Tabla 80. Cuadro de precios parciales para la instalación de los lucernarios.	76
Tabla 81. Cuadro de precios descompuestos para el mantenimiento de lucernarios.	77
Tabla 82. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.	77
Tabla 83. Cuadro de precios parciales para la instalación de luminarias.	77
Tabla 39. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias.	78
Tabla 40. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.	78
Tabla 41. Cuadro de precios parciales para la instalación de luminarias.	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso productivo.....	10
Ilustración 2. Plano distribución en planta de la planta baja.	11
Ilustración 3. Plano distribución en planta de la primera planta.	12
Ilustración 4. Tipos de entrada de luz natural.....	14
Ilustración 5. Distribución de zonas de la planta.	15
Ilustración 6. Incidencia de luz directa sobre el trabajador y grado de deslumbramiento[12].....	16
Ilustración 7. Distribución ventanas propuesta 1.	19
Ilustración 8. Distribución ventanas propuesta 2.	21
Ilustración 9. Distribución ventanas propuesta 3.	23
Ilustración 10. Distribución ventanas propuesta 4.	25
Ilustración 11. Distribución ventanas propuesta 5.	27
Ilustración 12. Distribución ventanas propuesta 6.Distribución ventanas propuesta 6.	29
Ilustración 13. Distribución ventanas propuesta 7.	31
Ilustración 14. Distribución ventanas propuesta 8.	33
Ilustración 15. Distribución ventanas propuesta 9.	35
Ilustración 16. Disposición de lucernarios en la propuesta elegida.....	37
Ilustración 17. Iluminación natural de la propuesta seleccionada durante época estival.....	37
Ilustración 18. Iluminación con falsos colores de la propuesta seleccionada durante época estival...	38
Ilustración 19. Iluminación natural de la propuesta seleccionada durante época invernal.	38
Ilustración 20. Iluminación con falsos colores de la propuesta seleccionada durante época invernal.	39
Ilustración 21. Zonas de posible deslumbramiento en puesto de trabajo.....	41
Ilustración 22. Posición de deslumbramiento en puesto de trabajo.	41
Ilustración 23. Distribución de luminarias en la planta.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de cosméticos dedicados a cada sector durante 2015 [1].	5
Gráfico 2. Volumen de consumo de productos cosméticos en España durante 2015 [3].	6
Gráfico 3. Evolución del consumo de cosméticos en España de 2005 a 2015 [5].	6
Gráfico 4. Volumen de exportación de productos cosméticos en España durante 2015 [6].	7
Gráfico 5. Gráfico de aprovechamiento de luz exterior en función de la latitud [18].	44
Gráfico 6. Tarifas aplicadas según franja horaria [20].	48

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este apartado se marcarán las metas a alcanzar con la realización del proyecto.

- Poner en práctica, los conceptos aprendidos durante el desarrollo de la asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial.
- Elegir una nave industrial y diseñar un sistema de iluminación natural eficiente a partir de lucernarios, teniendo en cuenta la normativa vigente de iluminación de interiores.
- Realizar para ello una serie de simulaciones mediante el software DIALux y analizar los distintos resultados, seleccionando el caso óptimo.
- Comprobar la eficiencia energética del proyecto mediante la combinación de sistemas de iluminación artificiales y naturales.
- Elaborar un presupuesto para la puesta en marcha del proyecto.
- Estudiar la viabilidad y rentabilidad económica del proyecto propuesto.

2. COSMÉTICOS

Según se puede encontrar en el Real Decreto 1599/1997 del BOE (Boletín Oficial del Estado), “un cosmético es cualquier sustancia que al entrar en contacto con las distintas partes superficiales de nuestro cuerpo, tiene el único objetivo de limpiarlas, perfumarlas, modificar su aspecto, corregir los olores corporales, protegerlos o mantener una buena apariencia”.

Dentro de los cosméticos se pueden encontrar multitud de productos. Geles, champús, perfumes, cremas, lociones, aceites, protectores solares o maquillajes, son solo algunos de ellos.

La elaboración de cada tipo de cosmético es totalmente distinta, pero está basada en unos factores comunes: principios activos, excipientes, aditivos y correctores.

El cosmético debe tener unos principios activos que sean los que proporcionen el particular beneficio al consumidor. Un ejemplo de principio activo conocido sería el colágeno, muy común en los actuales tratamientos de belleza, cuya principal función es la de hidratar y dar mayor firmeza a la piel.

Estos principios activos deben disolverse o integrarse en un excipiente o vehículo, como puede ser el alcohol, la glicerina o el más común de todos, el agua. Se trata del excipiente más común por su alta capacidad de disolución y por su pH, que al ser neutro es el más inocuo para el cabello y para la piel.

Los aditivos en los cosméticos hacen referencia a conservantes y colorantes, para aumentar su vida útil y dotarlos de un aspecto más agradable.

En cuanto a los correctores, son, principalmente, modificadores de pH. Aquí hay algo curioso, y es que tanto geles como champús llevan exactamente la misma elaboración, la única diferencia aparece en el pH, o en la adición del corrector. Los geles tienen un pH aproximado de 5,5, similar al de la piel, para no dañarla, en cambio un champú común, posee un pH es más alto, rondando el 6,5, para eliminar la grasa del cuero cabelludo.

3. SECTOR COSMÉTICO

3.1. CONTEXTO ECONOMICO DEL SECTOR COSMÉTICO

Se puede decir que el sector cosmético en España se encuentra en auge, y no precisamente por su consumo, el cual comenzó en 2015 a mostrar valores positivos que no se daban desde 2008, sino más bien por las exportaciones. Durante los últimos 10 años se ha disparado el consumo de este tipo de productos, que principalmente sirven para proteger y dar un mejor aspecto a nuestra apariencia. Seguramente el principal motivo sea este, ya que a día de hoy el aspecto personal es un factor diferenciador.

El mero hecho de mostrar una buena apariencia puede abrir muchas puertas. En una entrevista de trabajo, el hecho de manifestar una correcta imagen puede irradiar la confianza que uno siente en sí mismo y enfrentar la situación con mayor seguridad.

Del mismo modo, internet se encuentra también en su máximo esplendor y cientos de personas se encuentran a diario, ganándose la vida a partir de blogs de imagen, videos o simplemente subiendo fotos en las distintas plataformas digitales.

Estos sólo son algunos ejemplos de la importancia que puede llegar a tener la imagen en la vida diaria.

A continuación se procederá a analizar datos reales sobre la economía cosmética.

Por ejemplo, Stanpa, la asociación nacional de perfumería y cosmética, registra datos reales sobre el consumo, la exportación o la categoría a la que van destinados los productos cosméticos.

Según informa Stanpa, los destinos más habituales para los cosméticos serían:

Distribución de cosméticos en 2015

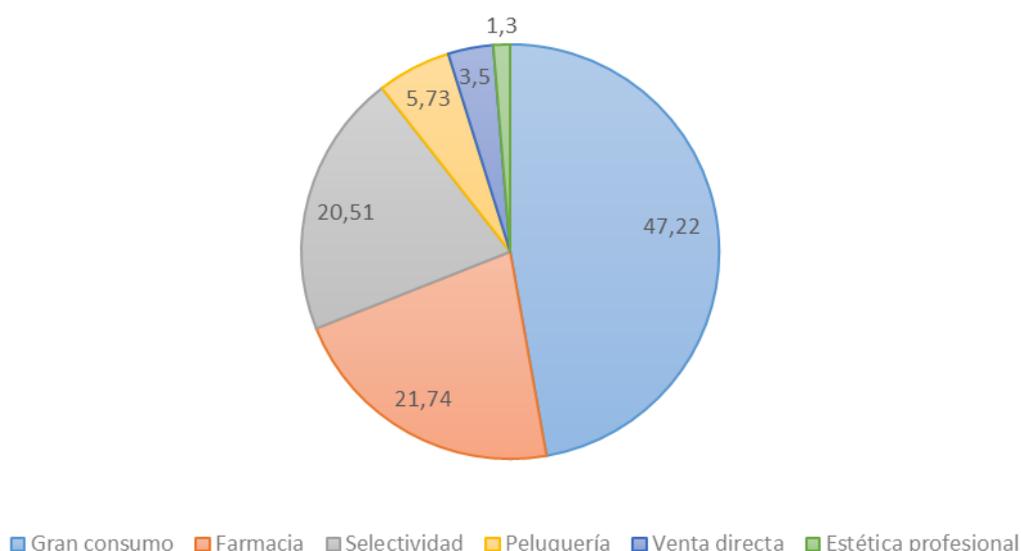


Gráfico 1. Porcentaje de cosméticos dedicados a cada sector durante 2015 [1].

Como se puede apreciar en el Gráfico 1, la mayor parte de los cosméticos está destinado al gran consumo que hace referencia a los productos consumidos por el ciudadano de a pie, productos de las grandes marcas como L’Oreal, Unilever o Procter & Gamble que se pueden encontrar en cualquier supermercado.

En cuanto al consumo, España se sitúa en el quinto puesto europeo con unas ventas aproximadas de 6400 millones de euros durante el último año [2].

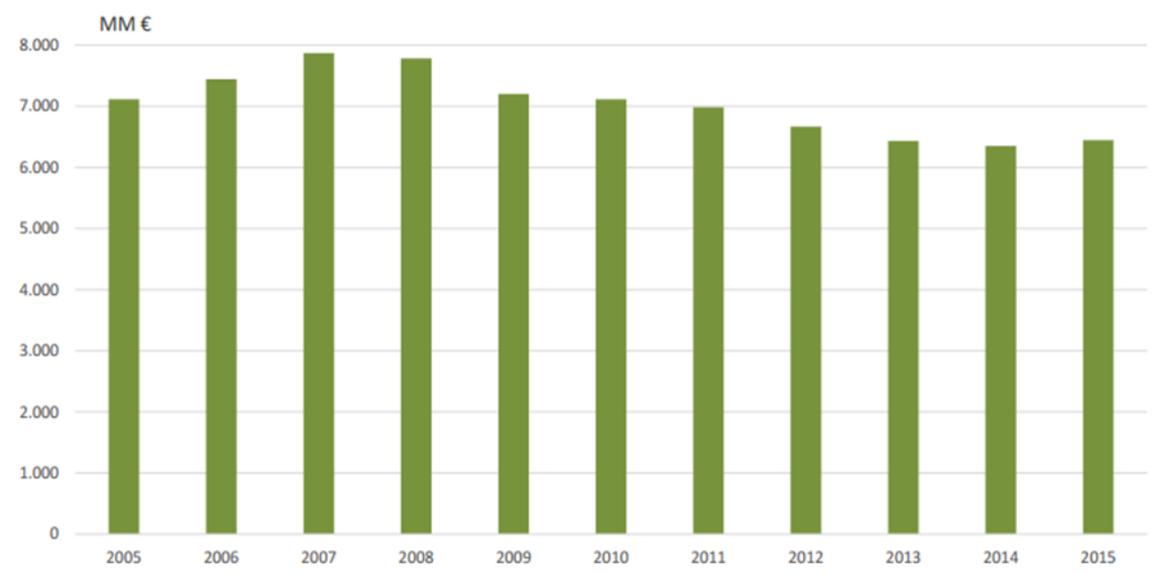


Gráfico 2. Volumen de consumo de productos cosméticos en España durante 2015 [3].

Como se puede observar, en el Gráfico 2, aparece representado el volumen de consumo de cosméticos en millones de euros desde el año 2005. En este caso, no ha habido aumento respecto a años anteriores, sino que se puede decir que el consumo ha dejado de disminuir. Lo que cabe destacar es que el pasado año fue el primer año con datos positivos desde 2008 [4], como se comentaba al comienzo del apartado y que se puede verificar en el Gráfico 3.



Gráfico 3. Evolución del consumo de cosméticos en España de 2005 a 2015 [5].

Antes se comentaba el actual auge del sector cosmético. En el Gráfico 4 se verá mejor representado a lo que se hacía referencia principalmente.

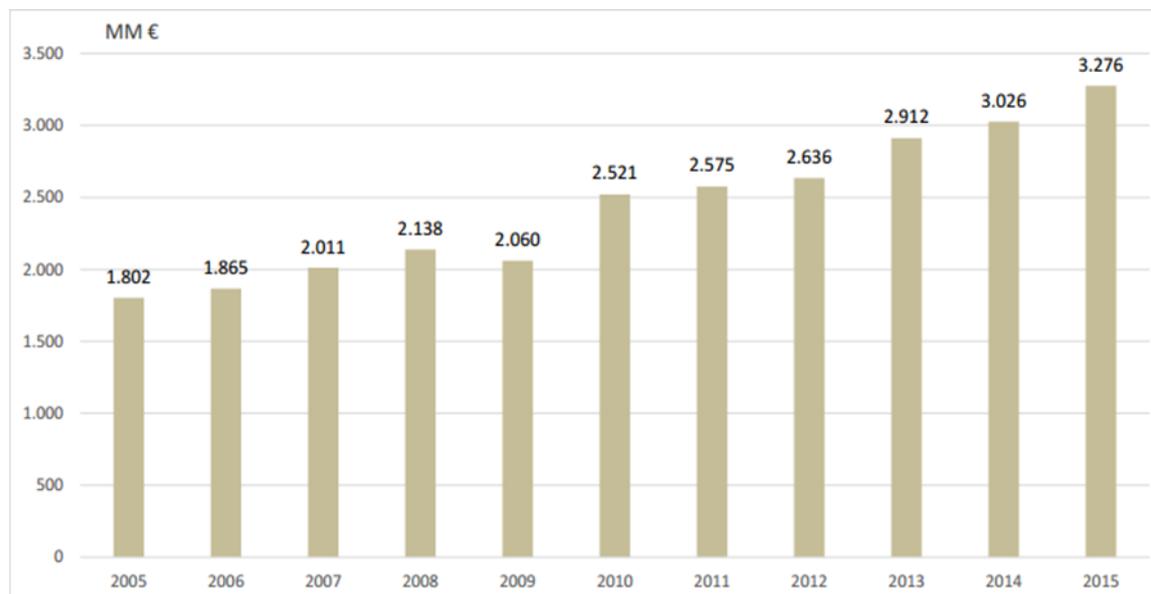


Gráfico 4. Volumen de exportación de productos cosméticos en España durante 2015 [6].

En el Gráfico 4, obtenido de la web oficial de Stanpa, se puede comprobar el tremendo aumento de las exportaciones, aumentando un 8,26% respecto al pasado año o incluso un 59,03% desde 2009. Estos números sitúan a España en la sexta posición de exportadores de cosméticos, con presencia en más de 150 países [7].

Apuestas como el Black Friday o la temporada de Navidad fueron los períodos que más impulsaron este sector durante el pasado año.

Este año todavía está finalizando y aún no están disponibles los balances económicos del sector. Lo que sí es posible comparar es el primer semestre del presente año respecto al primer semestre de 2015.

	2015 (Millones de €)	2016 (Millones de €)	Variación (%)
Perfumes y fragancias	439,30	477,30	8,65%
Cosmética de color	284,50	304,40	7,00%
Cuidado de la piel	950,80	963,00	1,29%
Cuidado del cabello	441,20	440,50	-0,15%
Aseo e higiene personal	727,10	736,60	1,30%
Total	2842,90	2921,80	2,78%

Tabla 1. Comparación de consumo entre primeros semestres de 2015 y 2016 [8].

A expensas de finalizar el año, los datos mostrados por Stanpa son bastante alentadores, puesto que el consumo de todos los cosméticos, salvo los destinados al cuidado del cabello, ha aumentado considerablemente y quedan las anteriormente mencionadas campañas de Navidad y el Black Friday.

4. PROCESO PRODUCTIVO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La empresa escogida es una industria cosmética dedicada a la fabricación de productos destinados a la higiene y belleza personal. Se procederá a continuación a explicar en qué consiste su proceso productivo y cómo es su distribución de planta. Hay que tener en cuenta que se trata de una empresa familiar, con una producción anual de 50.000 kg de producto terminado, por lo que se puede decir que no produce a gran escala [9].

4.1. PROCESO PRODUCTIVO

En cuanto al proceso productivo, éste se desarrolla del siguiente modo:

- Recepción de la materia prima.
- La materia prima puede llegar por cualquiera de las dos puertas sur de la nave, posteriormente indicado en la Ilustración 2, dependiendo del tamaño y del tipo de esta. En caso de tratarse de camiones que traen gran cantidad de material para guardar en cisternas, entrarán por la puerta sudoeste y transferirán el material con manguera hasta las cisternas. En caso contrario, de tratarse de contenedores, pueden ir tanto por la puerta sudoeste como sudeste, dependiendo también de la asiduidad con que se utilice dicha materia prima.
 - Si la materia prima se utiliza con más regularidad irá a la puerta sudeste, más cercana a la zona de producción.
 - Si el recipiente que contiene la materia prima se encuentra en buen estado, se procede al análisis.
 - En el laboratorio tiene lugar el primer control calidad y microbiológico de la materia prima, tomando una muestra del producto para comprobar que no se encuentre contaminado y observando que el aspecto físico concuerda con el esperado.
 - Almacenamiento. En caso de ser positivos los análisis mencionados, es decir, que la materia prima se encuentre en perfecto estado, esta se almacena definitivamente para su futuro uso.
 - Fabricación de cosméticos. A partir de las expresiones analíticas proporcionadas por el químico de la empresa, dos operarios van seleccionando y pesando el material para añadirlo a las cubas de fabricación. Según normativa, es necesario al menos un par de empleados para comprobar que el procedimiento y la pesada de producto sean correctos.
 - Control de calidad y control microbiológico del producto final. Una vez acabado el producto, los químicos tomarán una muestra del producto final para comprobar que el color, el olor y la textura sean los deseados, además de comprobar que el producto se encuentra libre de patógenos.
 - Envasado y etiquetado del producto final. En caso de obtener un resultado favorable en los análisis de control de calidad, se procede al almacenamiento temporal del producto, hasta que llegue el momento de su envasado y etiquetado.
 - La mayoría de veces, se trabaja por encargo, debido al tamaño de la empresa y a que las tiradas de producción suelen ser las justas, por lo que el tiempo de espera no suele ser muy largo. El

almacenamiento previo al envasado suele ocupar el tiempo que tarda en enfriar el producto y comprobar que no ha sufrido ningún cambio y está listo para ser enviado.

- Distribución y venta. Envasado y etiquetado el producto, este se reserva apilado en palés, por lo general, en el almacén principal. Desde este punto, cuando llega el camión de recogida, un elevador va cargando el producto en el camión, que llevará el producto hasta su destino.

A continuación se muestra un diagrama de bloques con un resumen de lo previamente expuesto:

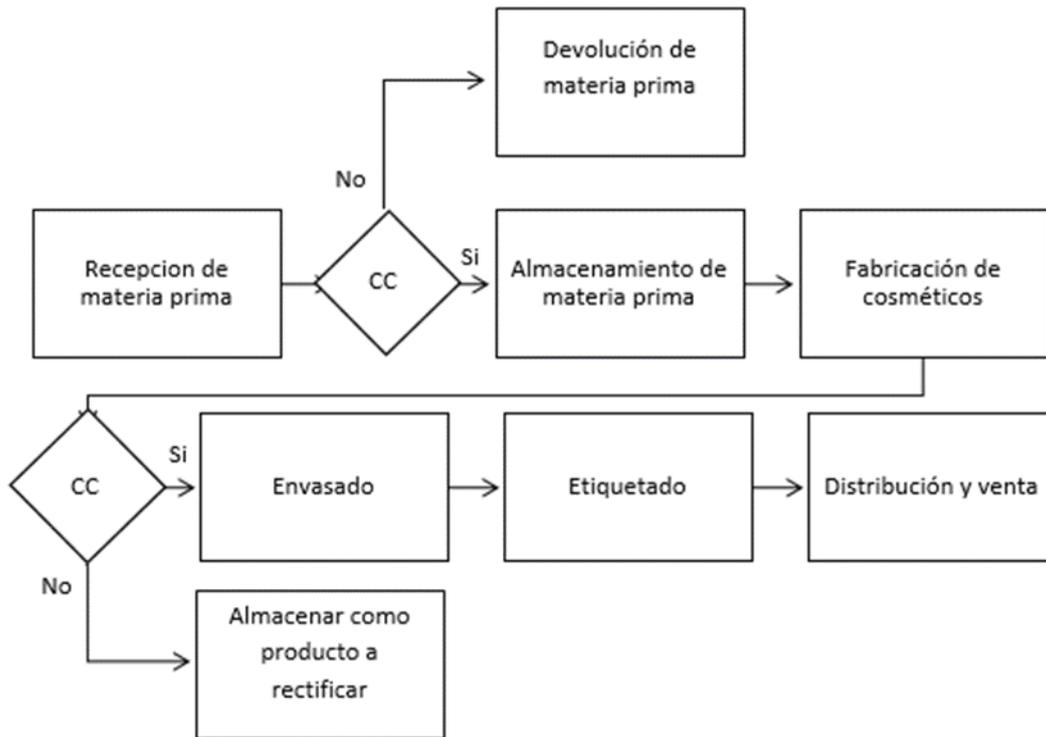


Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso productivo.

4.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.

La entrada norte es de acceso peatonal para los empleados, mientras que las entradas sur, están destinadas al ingreso de la materia prima, en función del tipo y del tamaño de la misma, ya que de esto dependerá su futuro emplazamiento.

La distribución en planta podría atender a las dos siguientes representaciones, una por cada altura.

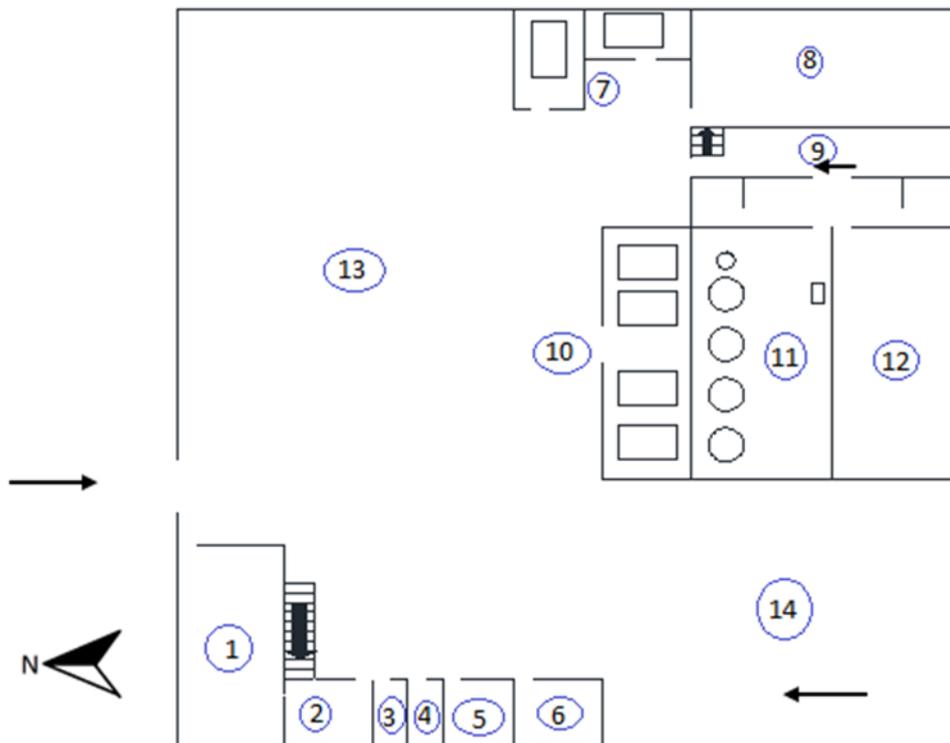


Ilustración 2. Plano distribución en planta de la planta baja.

La distribución de la planta baja, se puede organizar del siguiente modo:

- 1/2/3/4/5/6: Zonas auxiliares como secretaría, despacho principal, baños, control de albaranes, comedor y control de albaranes, respectivamente.
- 7/10: Zona de etiquetado y envasado del producto final.
- 8: Laboratorio, donde se realizan los controles de calidad y los ensayos previos de los futuros productos.
- 9: Hall de distribución de materia prima, al cual llegará ésta y se almacenará en el almacén contiguo;
 - 11: La zona de fabricación para la elaboración de los distintos cosméticos, con 4 cubas de 1000 litros y una más pequeña de 400 litros;
 - 12: Almacén de materia prima lista para la fabricación;
 - 13: Almacén principal, donde se encuentran envases vacíos y algunos productos terminados listos para distribuir;
 - 14: Parte de expedición, desde donde sale el producto terminado. También se utiliza una pequeña parte para almacenamiento de materia prima.

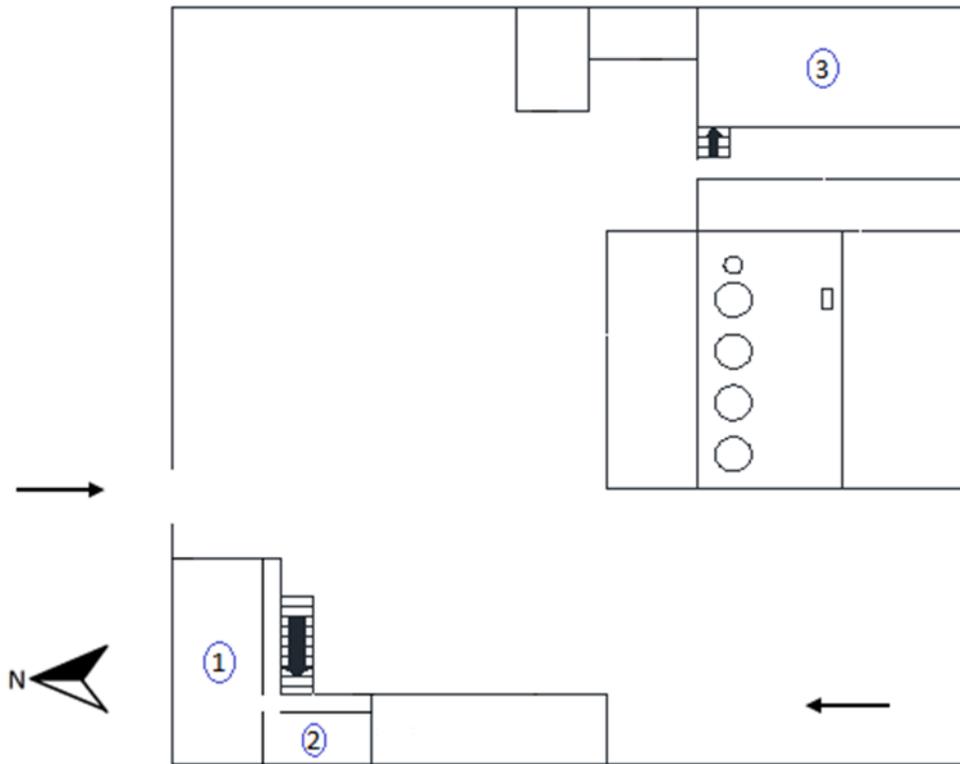


Ilustración 3. Plano distribución en planta de la primera planta.

La distribución de la primera planta, corresponde a:

- 1/2: Oficina principal de dirección y oficina de comercio;
- 3: Almacén provisional de materia prima y producto final. Parte de la materia prima que llega a la fábrica permanece allí hasta que sea necesaria y el producto almacenado en bidones de 250, 500 y 1000 litros se almacena aquí hasta que se vaya a envasar y etiquetar.

Para más información sobre las dimensiones reales de la planta, se recomienda consultar Plano 1 y Plano 2 del Anexo 3. Planos.

5. ILUMINACIÓN

5.1. INTRODUCCIÓN

La iluminación natural no es solo una ventaja económica, a día de hoy hay otros factores que hacen que esta forma de iluminación sea preferible ante la iluminación artificial, como son la conservación del medio ambiente o el propio bienestar de los empleados.

Además del ahorro económico que implica el empleo de iluminación natural antes que iluminación artificial, al ser necesaria menos horas de gasto energético, también se ayuda al medio ambiente con menores emisiones de agentes contaminantes resultado de las emisiones eléctricas. También se puede considerar el hecho de que una iluminación natural es más favorable para el empleado, permite definir los colores perfectamente, produce menor fatiga visual y proporciona vitamina D, necesaria para nuestro organismo, que la iluminación artificial no puede emitir.

Es posible hacer una primera clasificación de la iluminación en función del tipo de luz proporcionada según su procedencia:

- Luz natural: procedente de la luz diurna.
- Luz artificial: procedente de fuentes luminosas artificiales.
- Mixta: cuando se combinan los dos tipos anteriores.

Según la forma en que la iluminación incide en la planta, esta puede ser localizada, general o general-localizada. La iluminación será localizada cuando la luz incida en una zona concreta de la zona de trabajo; podrá ser general cuando la luz se reparta de forma general sobre toda la zona de trabajo; y general-localizada cuando se ilumine toda la zona de trabajo de forma general y con más intensidad una zona concreta con objeto, por ejemplo, de realizar un trabajo más especializado.

Según la situación en la planta de los lucernarios, estos se pueden clasificar en:

- Cenitales: cuando están situados en los faldones de cubierta.
- Laterales: cuando se sitúan sobre las cubiertas laterales.
- Mixtos: cuando se da la combinación de los casos anteriores simultáneamente.

En la Ilustración 4 perteneciente a la unidad de Iluminación natural de Construcción y arquitectura industrial, se pueden apreciar los distintos tipos de lucernarios:

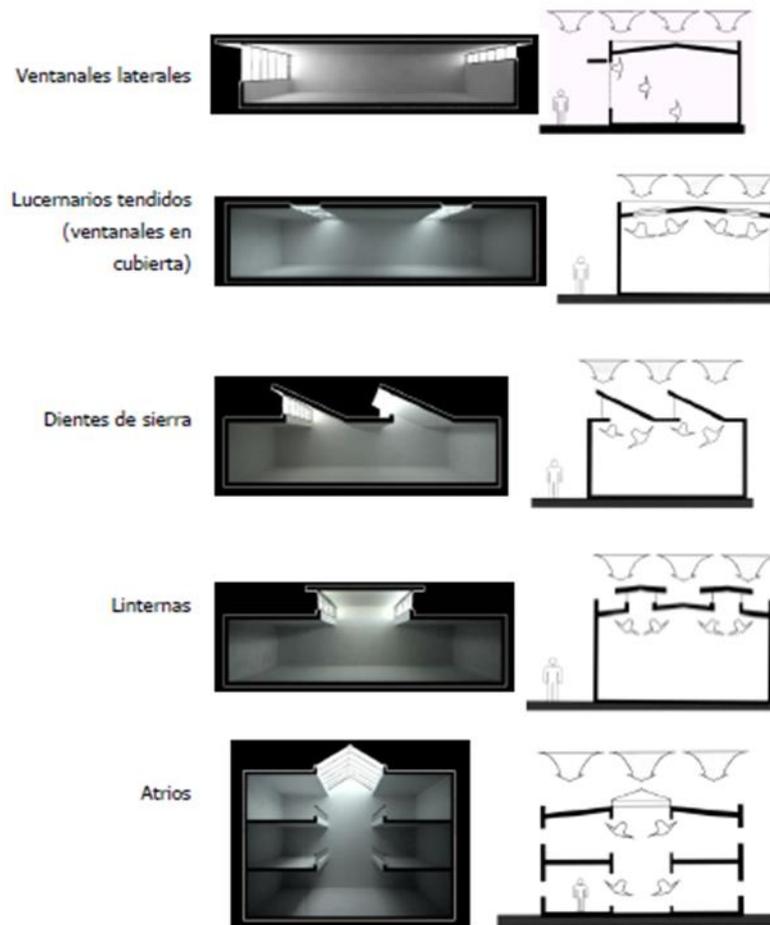


Ilustración 4. Tipos de entrada de luz natural.

La variación de la posición de la tierra y del sol a lo largo del año provoca variaciones en la iluminación, tanto de posición como de intensidad, por este motivo a la hora de realizar las simulaciones de las propuestas se realizarán dos simulaciones por propuesta para tener esto en cuenta. Una, correspondiente al día más largo del año y otra correspondiente al día más corto.

5.2. REQUISITOS DE LA PLANTA

A la hora de realizar el diseño de iluminación se tomarán como datos relevantes, el cumplimiento de la iluminación media requerida, la uniformidad media por zonas y evitar los deslumbramientos en la medida de lo posible.

Como las zonas de la planta correspondientes a la elaboración de producto se encuentran compartimentadas, el sistema de iluminación estará centrado en las zonas de almacenamiento y de circulación de trabajadores que son las que se nutren de luz natural.

La planta estará distribuida según la Ilustración 5 en cuatro zonas para analizar los datos relevantes:

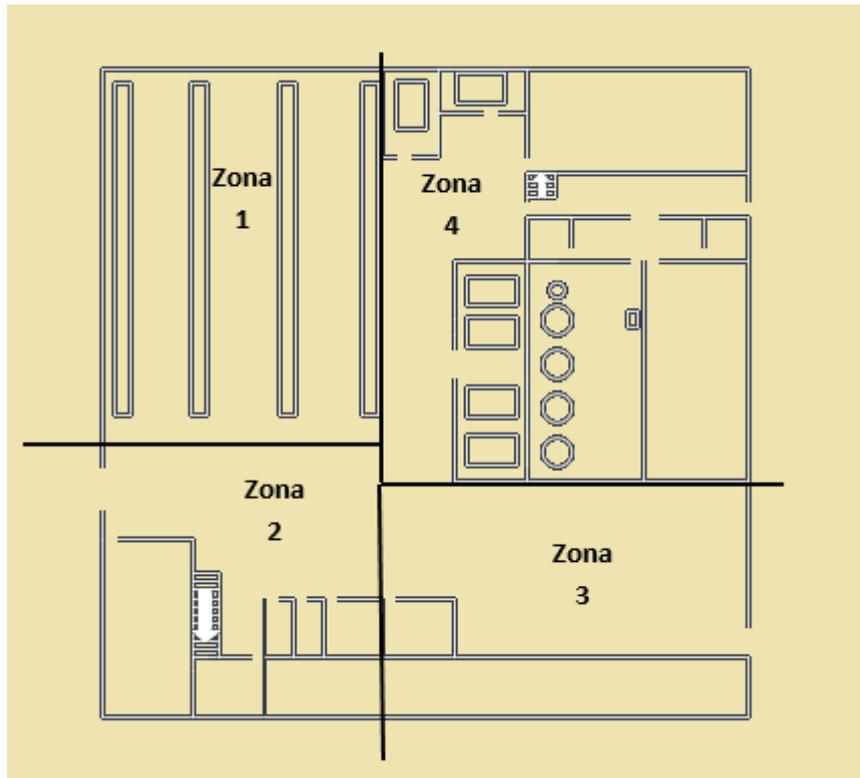


Ilustración 5. Distribución de zonas de la planta.

A continuación se procede a describir brevemente los conceptos relevantes que se tendrán en cuenta en el análisis de las propuestas.

- Iluminación media

Para la iluminación media se recurrirá a la Norma UNE 12464.1 (Norma Europea sobre Iluminación para Interiores). En función del tipo de producto elaborado, la planta estará dentro de un sector determinado y los requerimientos de iluminación variarán.

Según las diferentes zonas de la nave estos requerimientos también serán determinados. A continuación se indicarán en la Tabla 2, obtenida de la normativa UNE 12464.1, los niveles de iluminación media mínima requerida para cada una de las zonas de la planta:

Zona de la planta	Actividad	Iluminación media requerida (EM) (lux)
1	Almacenamiento y pasillos	150 (limita la EM más alta)
2	Circulación y pasillos	100
3	Almacenamiento y expedición	300
4	Circulación y pasillos	100

Tabla 2. Requerimientos de iluminación por zonas [10].

- Uniformidad

La uniformidad relaciona la máxima y la menor iluminación de la superficie de trabajo. Este parámetro ha de maximizarse para ser positivo, ya que una uniformidad próxima a la unidad implica que haya menores picos de intensidad entre zonas en la superficie de trabajo.

Factores como la orientación, los colores claros en suelos y paredes favorecen la uniformidad.

- Deslumbramientos

En cuanto a los deslumbramientos no hay todavía un método sencillo para su determinación que sea aceptado universalmente. Como método sencillo se dirá que existen deslumbramientos cuando el ángulo entre el plano teórico, la horizontal situada a la altura del observador y la trayectoria de la luz sea menor a treinta grados, como se representa en la Ilustración 6.

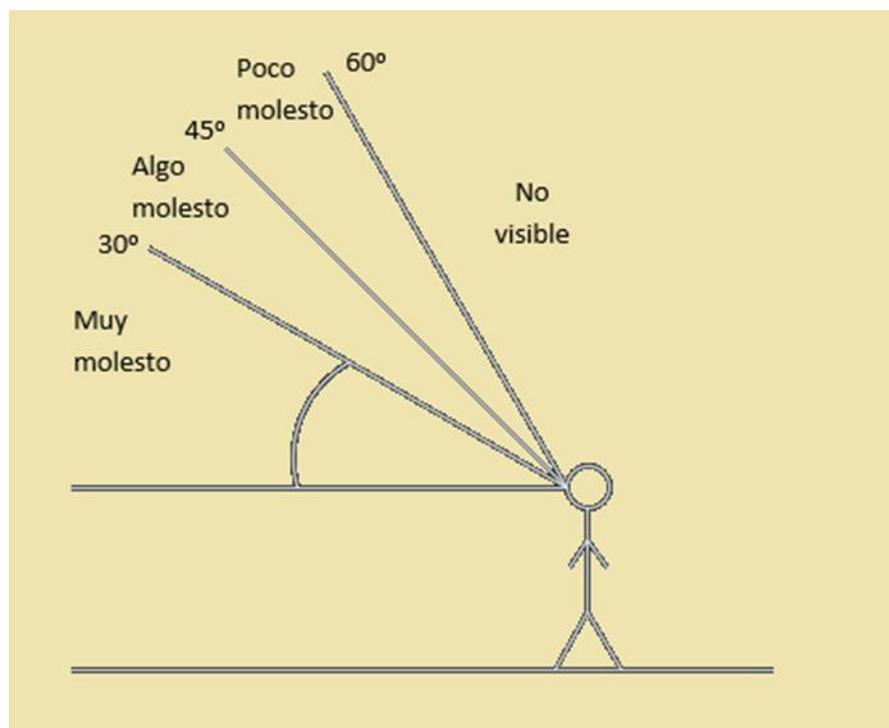


Ilustración 6. Incidencia de luz directa sobre el trabajador y grado de deslumbramiento [12].

Los deslumbramientos, por lo general, pueden ser directos, cuando la luz incide directamente sobre el trabajador; o bien pueden ser indirectos, cuando el deslumbramiento se ha producido tras reflejar en algún objeto, mobiliario o maquinaria del interior del local. Para evitar este segundo tipo de deslumbramiento, se pintarán las superficies de esos posibles objetos de color mate.

Para realizar las simulaciones se ha optado por el uso de un modelo de cielo cubierto, puesto que es un modelo que garantiza un mínimo de luz durante la mayor parte del año. Este modelo consistiría en el uso de cielos despejados y lucernarios translúcidos, que serían los encargados de filtrar la luz con el fin de simular un cielo cubierto. Para agilizar el procesamiento de las simulaciones por parte del programa DIALux supondremos lucernarios transparentes y cielo cubierto [13].

Para poder simular siguiendo el modelo elegido, habrá que dotar a los lucernarios de distintos factores de diseño, como pueden ser los grados de reflexión o de transparencia. En la Tabla 3 se muestran todos:

	Grado de transmisión	Factor de contaminación	Factor de división con travesaños	Factor de ventanas	Grado de reflexión	Grado de transparencia
Valor	45%	0,5	0,9	0.94	10%	45%

Tabla 3. Factores característicos de los lucernarios.

Estos factores pueden relacionarse de la siguiente manera:

- El grado de transmisión hace referencia al material de los lucernarios, estos son de policarbonato celular, por este motivo el grado de transmisión es tan bajo.
- El factor de contaminación corresponde al ambiente en el que se encuentra la planta, en este caso una zona de alta contaminación.
- El factor de división de travesaños está relacionado con la cantidad de elementos que obstruyen la radiación de luz.
- El valor del factor de ventanas viene dado por la inclinación de la cubierta o cubierta lateral respecto a la incidencia de luz.

5.3. MÉTODO ANALÍTICO

En primer lugar habrá que estimar la superficie de ventana requerida para proporcionar la iluminación media mínima necesaria al local. Antes de nada se sacará la iluminación media de cada una de las cuatro zonas en las que se ha dividido la planta según la expresión analítica (1)[14]:

$$E_{M_i} = \frac{\text{Superficie de trabajo a iluminar}}{\text{Superficie total de la zona}} \quad (1)$$

Una vez obtenidas las cuatro E_{M_i} , se obtendrá la media de éstas y con ese resultado se podrá estimar la superficie de ventanas necesaria para iluminar la planta [15]:

$$E_{\text{int}} = \frac{E_{M_i}}{4} \quad (2)$$

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

Donde:

- Eint: hace referencia a la iluminación media obtenida con la media aritmética de iluminaciones medias requeridas por cada una de las zonas de la planta.
- Ea: es el nivel de iluminación exterior horizontal.
- f: factor de ventanas (reducción por luz de incidencia no vertical).
- f': factor característico de reducción ventana-muro.
- η: rendimiento del recinto.
- Sv: superficie de los ventanales o lucernarios.
- SS: superficie de suelo del recinto sin compartimentar.

El factor de ventanas, como previamente se ha definido, tiene en cuenta la pendiente de la cubierta a la hora de penetrar la luz a través de las aberturas. Como para el diseño de la nave escogida, se ha optado por seguir un modelo de iluminación basado en lucernarios de cubierta, se tendrá en cuenta la pendiente de la misma. Se utilizará la expresión analítica (4) para obtener este dato:

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

Donde α es el ángulo que forma la pendiente con respecto a la horizontal. En este caso, la pendiente de la nave forma 170° respecto a la horizontal, unos 10° de pendiente, obteniendo así un factor de 0,94.

El factor característico de reducción ventana-muro está definido para industria con un valor de 1 y el rendimiento se estima en un 40%, ya que para recintos rectangulares de paredes claras el rendimiento elegido oscila entre un 40 y un 50% [16].

Se considera que el rendimiento ronda estos valores, dado que no toda la luz entrante incide eficazmente sobre la superficie de trabajo, sino que conforme incide en el interior del edificio, va perdiendo intensidad.

	Eint (lux)	Ea (lux)	f	f'	η (%)	SS (m2)
Valor	210,57	3000	0,94	1	40	1936

Tabla 4. Datos para el cálculo de superficie de ventanales.

Utilizando los datos proporcionados en la Tabla 4 y sustituyendo en la expresión analítica 3 se ha obtenido un valor de 361,41 m² para la superficie de ventanales necesaria para la planta.

A partir de este dato, se plantearán diferentes propuestas con el fin de comparar los efectos producidos al iluminar la planta en función de la distribución de los ventanales cenitales, buscando finalmente la opción más conveniente.

5.4. PROPUESTAS DE ILUMINACIÓN.

Se han planteado un total de 9 propuestas de iluminación cenital. Se acompañará cada una de las opciones junto a una tabla de datos obtenidos y un dibujo explicativo.

- Propuesta 1

La primera propuesta consiste en 16 ventanales tendidos discontinuos de 3 m por 8 m distribuidos en cubierta por igual en los cuatro faldones. La distribución quedaría de la siguiente forma:

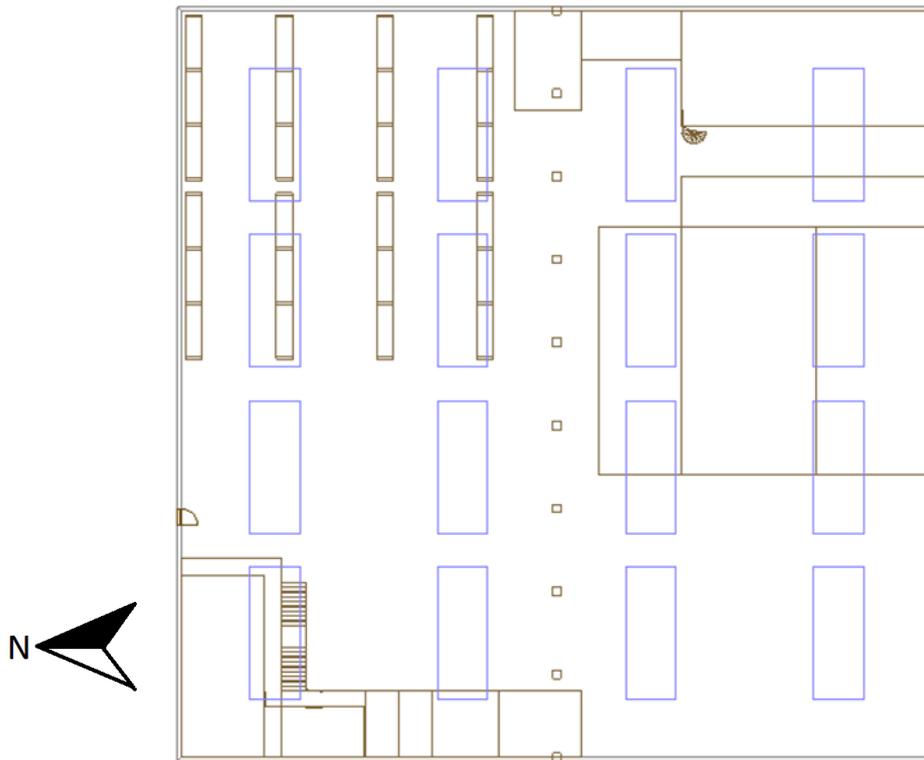


Ilustración 7. Distribución ventanas propuesta 1.

Los resultados obtenidos en las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	Emax GLOBAL	Emin GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	585	948	50
21-dic 12:00 pm		298	483	26

Tabla 5. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 1.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _{em}	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	475,417	671	233	0,490	0,347
	1.2		319,625	539	164	0,513	0,304
	1.3		630,667	815	316	0,501	0,388
	2	100	700,769	887	88	0,126	0,099
	3	300	631,167	753	442	0,700	0,587
	4	100	543,279	869	78	0,144	0,090
21-dic 12:00 pm	1.1	150	242,380	342	119	0,491	0,348
	1.2		162,960	275	84	0,515	0,305
	1.3		321,380	416	161	0,501	0,387
	2	100	357,150	452	45	0,126	0,100
	3	300	321,750	384	225	0,699	0,586
	4	100	276,840	443	40	0,144	0,090

Tabla 6. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 1.

En esta propuesta no obtenemos problemas con el cumplimiento de la iluminación global media mínima, ni siquiera en invierno.

El problema es que la iluminación media en verano es excesiva, ya que esta llega a ser superior al doble, incluso al triple de la requerida. Esto se podría evitar encapsulando al trabajador o instalando elementos intermedios.

En cuanto a la uniformidad, hay valores bastante dispares. En la zona 1 se alcanza el 50% y se llega incluso al 70% en la zona 3. En cambio, en las zonas 2 y 4 no se supera el 15%.

- Propuesta 2.

La siguiente propuesta tiene 36 ventanales tendidos discontinuos de 4.5 m por 2.3 m distribuidos en cubierta por igual en los cuatro faldones. La distribución quedaría de la siguiente forma:

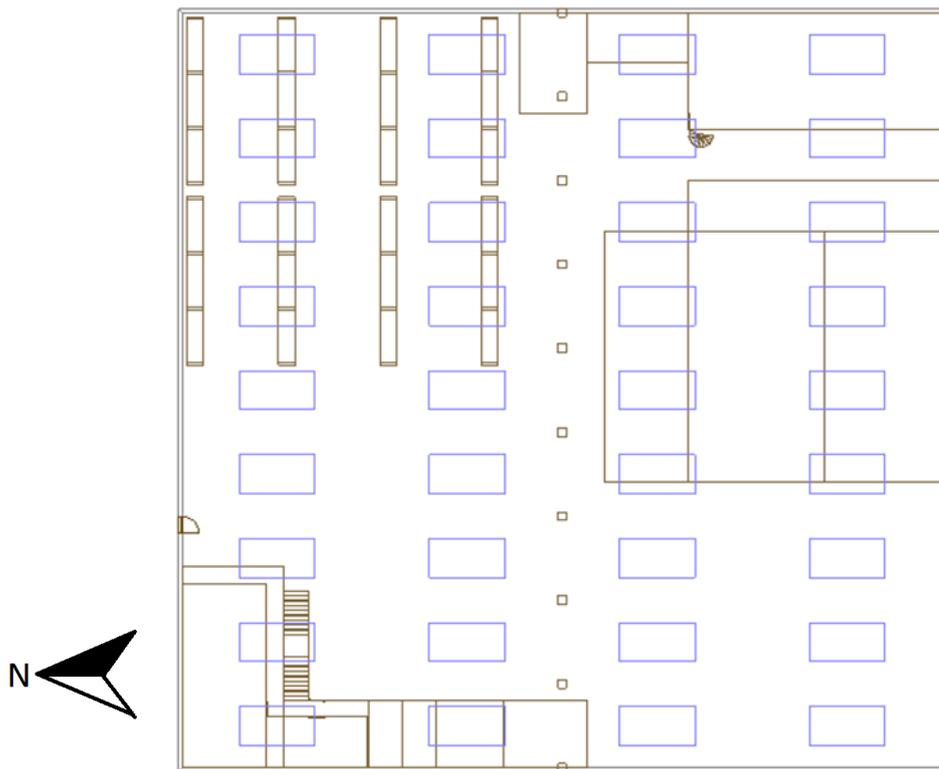


Ilustración 8. Distribución ventanas propuesta 2.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	552	807	49
21-dic 12:00 pm		281	412	25

Tabla 7. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 2.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	432,125	619	319	0,738	0,515
	1.2		332,625	568	235	0,707	0,414
	1.3		539,458	693	394	0,730	0,569
	2	100	636,077	774	97	0,152	0,125
	3	300	627,250	702	521	0,831	0,742
	4	100	495,605	766	146	0,295	0,191
21-dic 12:00 pm	1.1	150	220,290	316	163	0,740	0,516
	1.2		169,630	290	120	0,707	0,414
	1.3		275,040	353	201	0,731	0,569
	2	100	328,770	395	50	0,152	0,127
	3	300	311,500	358	265	0,851	0,740
	4	100	252,530	390	74	0,293	0,190

Tabla 8 . Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 2.

En esta propuesta sucede como en el caso anterior y no se obtiene ningún problema con la iluminación requerida. Un punto a favor es que la diferencia entre la iluminación requerida y el exceso obtenido es bastante menor. Aun así, se obtienen valores altos de iluminación en verano.

La iluminación media global es casi el doble en verano, como sucedía también en el caso anterior, pero al igual que sucede con la iluminación artificial necesaria, la diferencia entre el exceso de iluminación obtenida y la iluminación media necesaria, es menor.

La uniformidad es potencialmente mejor que en el caso anterior, dado que se llega a alcanzar un 85% en la zona 3. En la zona 4 prácticamente se alcanza el 30% y el único problema surge en la zona 2, que solo aumenta hasta un 15% respecto al ejemplo anterior.

- Propuesta 3:

La siguiente propuesta tiene 6 ventanales tendidos corridos de 1.5 m por 40.1 m distribuidos en los faldones centrales de cubierta, con la siguiente distribución:

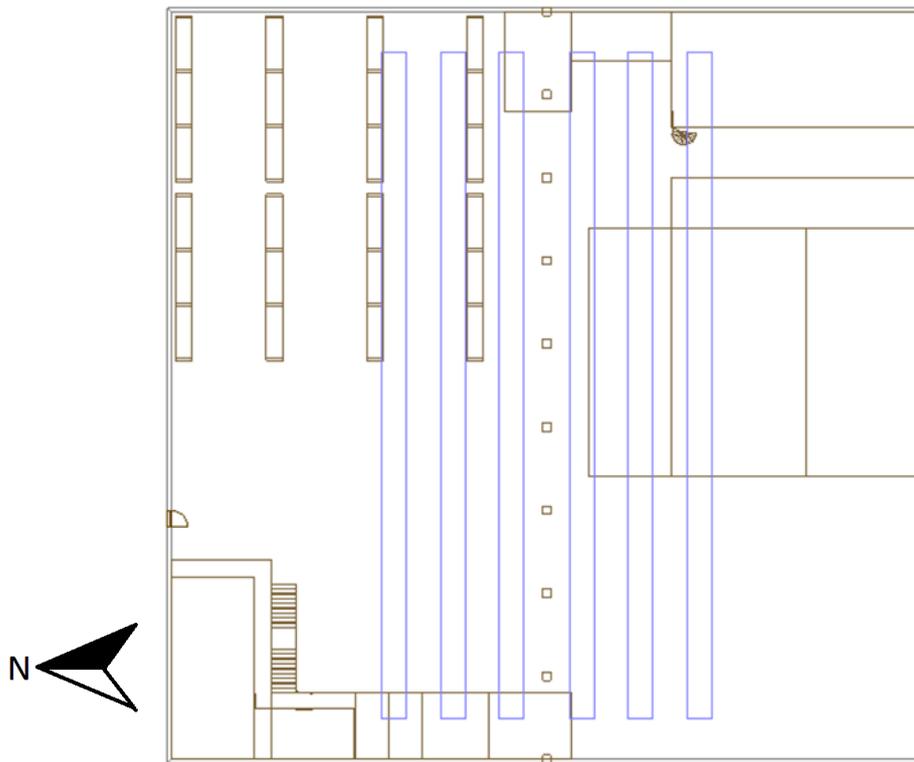


Ilustración 9. Distribución ventanas propuesta 3.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	610	1302	25
21-dic 11:00 am		262	559	12

Tabla 9. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 3.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	63,750	171	39	0,612	0,228
	1.2		143,375	428	79	0,551	0,185
	1.3		813,042	1081	436	0,536	0,403
	2	100	774,846	1254	104	0,134	0,083
	3	300	619,250	1240	154	0,249	0,124
	4	100	764,744	1164	119	0,156	0,102
21-dic 11:00 am	1.1	150	27,460	73	17	0,619	0,233
	1.2		61,580	184	34	0,552	0,185
	1.3		348,790	464	187	0,536	0,403
	2	100	332,620	538	45	0,135	0,084
	3	300	265,580	532	66	0,249	0,124
	4	100	328,260	500	51	0,155	0,102

Tabla 10. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 3.

Esta propuesta presenta bastantes problemas.

Por una parte, en las simulaciones estivales la iluminación media obtenida, es mucho mayor a la requerida en las zonas 2, 3 y 4, incluso en el tercer pasillo de la zona 1, la iluminación obtenida es mucho mayor a la necesaria. Además de esto, ni en la simulación estival, ni en la simulación invernal se llega al mínimo de iluminación en los dos primeros pasillos de la zona 1, estando muy por debajo del objetivo.

Además, la iluminación de la zona 3 está algo por debajo de la requerida.

La uniformidad es bastante baja, salvo en la zona 1, que es bastante alta. Por ello, haría falta iluminación artificial para obtener una iluminación más acorde, el problema sería que al iluminar artificialmente se alteraría la uniformidad.

- Propuesta 4:

La siguiente propuesta se ha diseñado con 54 ventanales tendidos discontinuos de 1 m por 7 m distribuidos en los faldones centrales de cubierta, con la siguiente distribución:

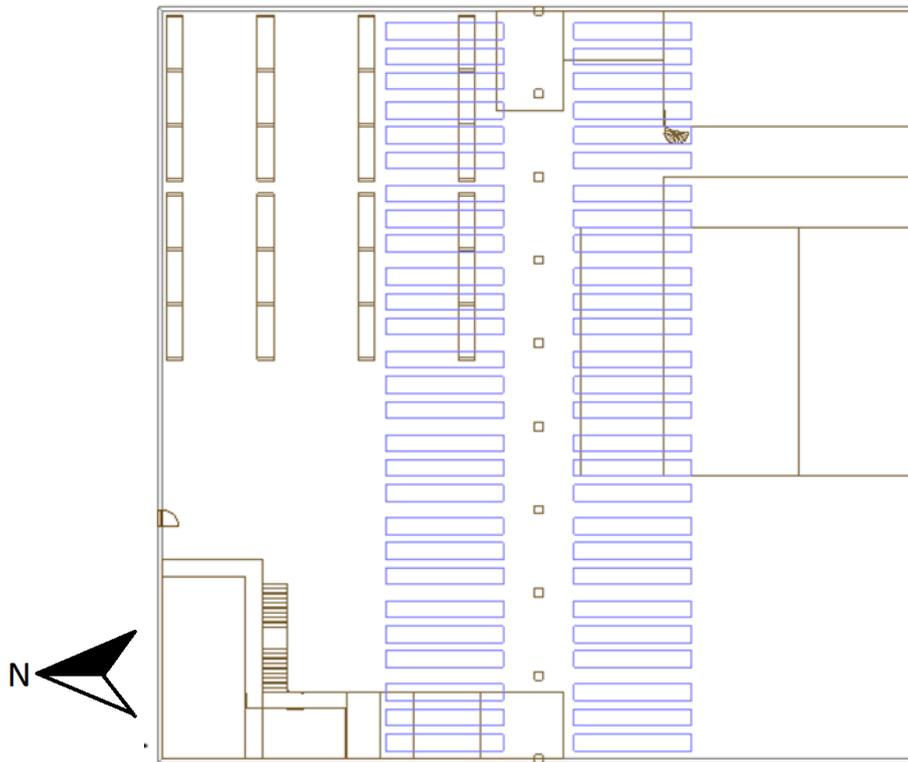


Ilustración 10. Distribución ventanas propuesta 4.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	Emax GLOBAL	Emin GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	610	1289	27
21-dic 11:00 am		262	553	12

Tabla 11. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 4.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	70,667	156	46	0,651	0,295
	1.2		146,750	395	100	0,681	0,253
	1.3		862,208	1097	622	0,721	0,567
	2	100	760,462	1179	130	0,171	0,110
	3	300	636,417	1166	151	0,237	0,130
	4	100	779,907	1248	118	0,151	0,095
21-dic 11:00 am	1.1	150	30,290	67	20	0,660	0,299
	1.2		62,920	169	43	0,683	0,254
	1.3		370,040	471	267	0,722	0,567
	2	100	326,310	506	56	0,172	0,111
	3	300	265,580	532	66	0,249	0,124
	4	100	328,260	500	51	0,155	0,102

Tabla 12. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 4.

En esta solución sucede básicamente lo mismo que en el anterior caso y continúa con problemas.

El exceso entre la iluminación requerida y la obtenida es todavía mayor que antes.

Su mejoría respecto al anterior caso se nota en el aumento de uniformidad, aspecto notable en los pasillos de la zona 1 y algo menos pronunciado en la zona 2.

- Propuesta 5:

Esta solución posee una distribución algo similar a la solución 4. Se ha llevado a cabo para comprobar el efecto producido en la iluminación al cambiar la situación de los ventanales.

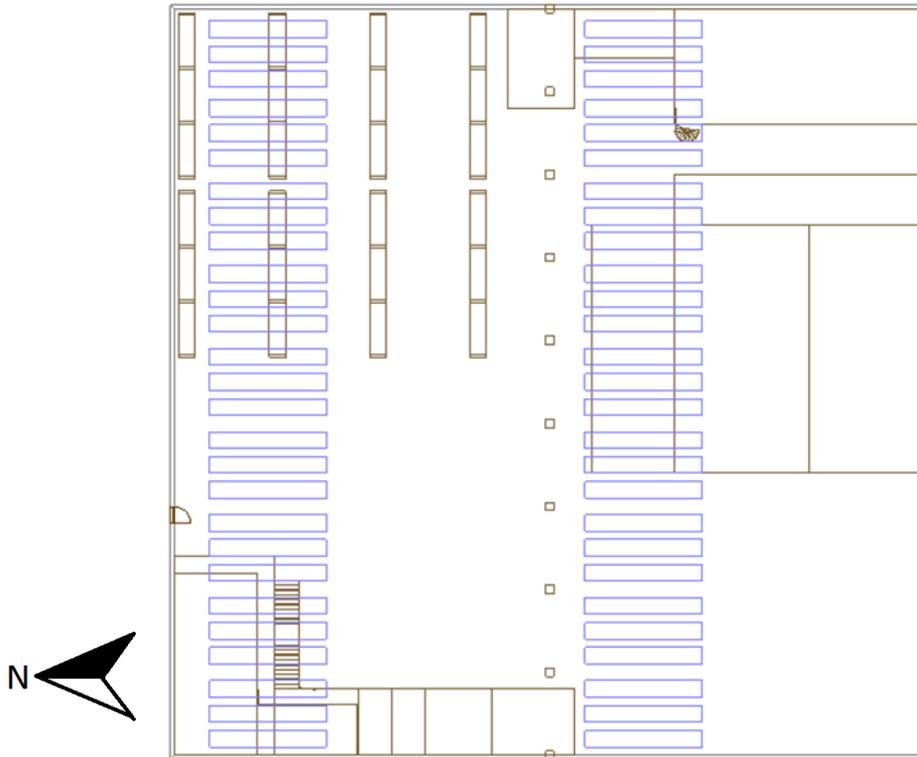


Ilustración 11. Distribución ventanas propuesta 5.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	Emax GLOBAL	Emin GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	552	1202	56
21-dic 12:00 pm		281	612	28

Tabla 13. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 5.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	743,750	1018	519	0,698	0,510
	1.2		568,333	839	385	0,677	0,459
	1.3		162,750	345	111	0,682	0,322
	2	100	581,077	1123	67	0,115	0,060
	3	300	567,417	945	134	0,236	0,142
	4	100	406,884	1133	67	0,165	0,059
21-dic 12:00 pm	1.1	150	379,130	519	265	0,699	0,511
	1.2		289,790	428	196	0,676	0,458
	1.3		83,040	176	57	0,686	0,324
	2	100	296,150	572	34	0,115	0,059
	3	300	289,080	481	68	0,235	0,141
	4	100	207,350	577	34	0,164	0,059

Tabla 14. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 5.

En esta solución la uniformidad disminuye un poco, pero es prácticamente idéntica. La ventaja de esta propuesta respecto a la anterior es que se llega a cubrir la iluminación requerida en los pasillos, requisito que no se cumplía antes.

- Propuesta 6:

La propuesta 6 consta de 8 lucernarios tendidos discontinuos en total, 2 por faldón, con medidas de 4,5 metros por 10 metros. La representación sería la siguiente:

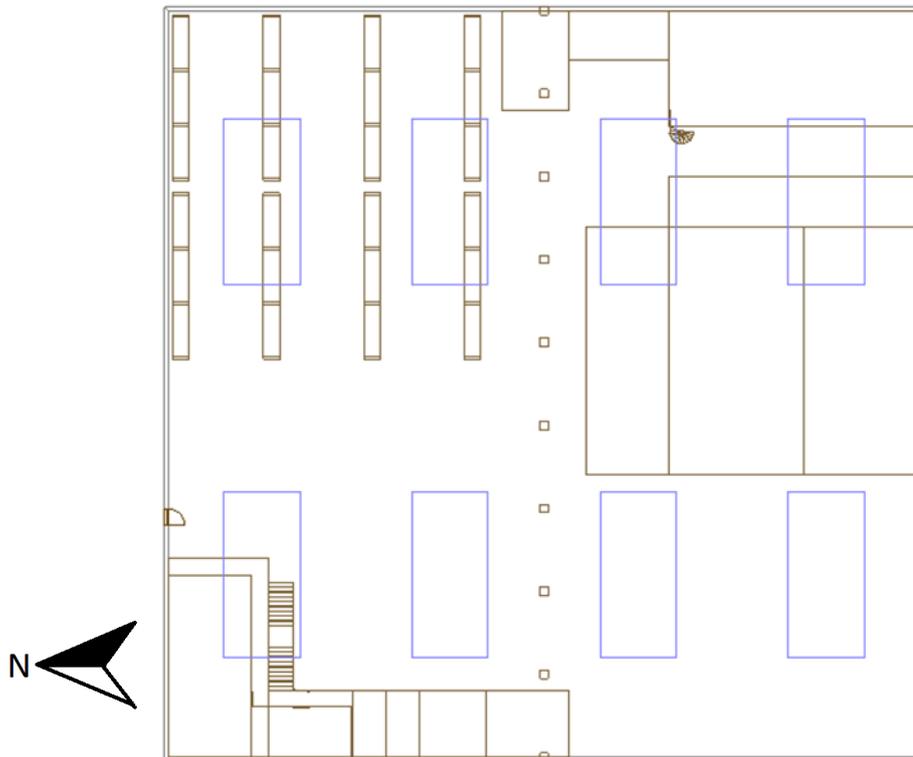


Ilustración 12. Distribución ventanas propuesta 6. Distribución ventanas propuesta 6.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	595	1157	51
21-dic 11:00 am		256	497	22

Tabla 15. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 6.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	422,000	662	163	0,386	0,246
	1.2		318,375	502	142	0,446	0,283
	1.3		534,167	862	207	0,388	0,240
	2	100	771,538	1109	112	0,145	0,101
	3	300	729,000	941	396	0,543	0,421
	4	100	566,419	1062	91	0,161	0,086
21-dic 11:00 am	1.1	150	215,170	338	83	0,386	0,246
	1.2		162,210	256	72	0,444	0,281
	1.3		272,250	439	105	0,386	0,239
	2	100	393,310	565	57	0,145	0,101
	3	300	371,500	480	202	0,544	0,421
	4	100	288,720	541	47	0,163	0,087

Tabla 16. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 6.

Esta solución de lucernarios cumple todos los requisitos en cuanto a mínimos de iluminación en zonas de trabajo.

Tiene una uniformidad bastante regular durante todo el año y salvo en las zonas 2 y 4, cumple con unos valores bastante buenos, desde un 38% llegando hasta un 54%. En las zonas 2 y 4 posee algunos picos de iluminación que producen una uniformidad entre el 14% y el 16%.

- Propuesta 7:

Los lucernarios de esta propuesta tienen las mismas proporciones que los de la propuesta 6, el cambio reside en la orientación de los mismos. Incluso la distribución sobre los faldones es la misma, habiendo 8 lucernarios en total.

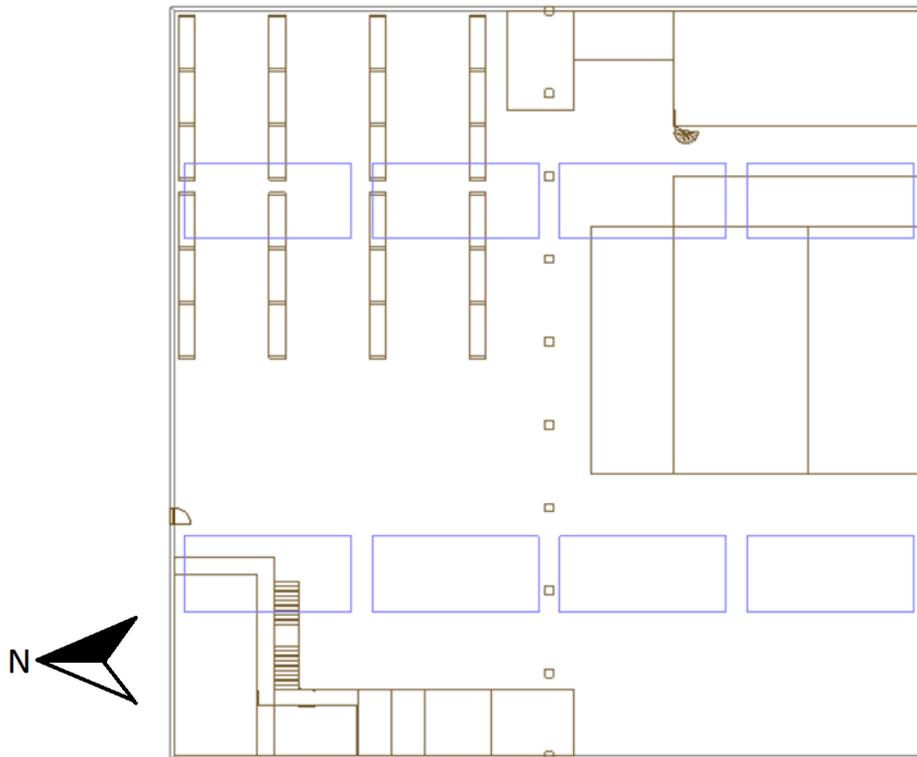


Ilustración 13. Distribución ventanas propuesta 7.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	588	1171	49
21-dic 11:00 am		260	519	22

Tabla 17. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 7.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	368,042	728	125	0,340	0,172
	1.2		365,292	722	130	0,356	0,180
	1.3		431,042	847	142	0,329	0,168
	2	100	768,385	1149	96	0,125	0,084
	3	300	726,417	998	342	0,471	0,343
	4	100	552,093	1094	81	0,147	0,074
21-dic 11:00 am	1.1	150	162,920	322	55	0,338	0,171
	1.2		161,750	320	58	0,359	0,181
	1.3		190,710	375	63	0,330	0,168
	2	100	340,310	509	43	0,126	0,084
	3	300	321,670	442	152	0,473	0,344
	4	100	244,440	484	36	0,147	0,074

Tabla 18. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 7.

Esta solución aumenta en general la iluminación máxima, mientras que disminuye la iluminación media y mínima.

Esto provoca que haya picos más notables y la uniformidad disminuya.

A pesar de esto, la iluminación mínima media se cumple en todos los sectores.

- Propuesta 8:

En esta propuesta se han querido introducir los lucernarios corridos en todos los faldones de cubierta. Las dimensiones de los mismos para cubrir toda la superficie de ventana son de 1,15 metros por 40 metros, habiendo un total de 8 lucernarios tendidos corridos. La representación quedaría del siguiente modo:

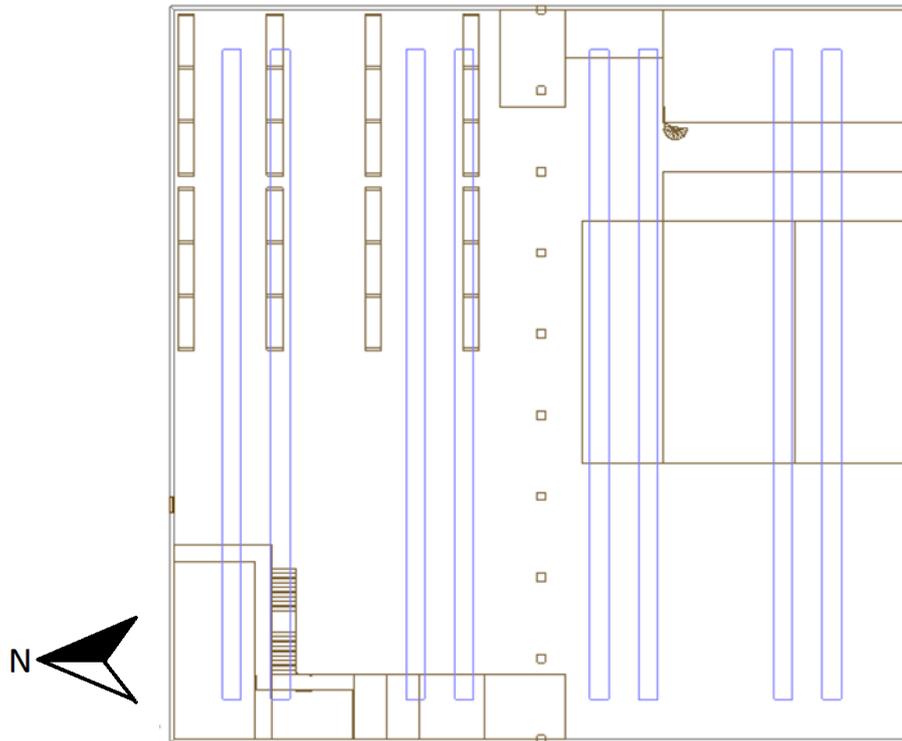


Ilustración 14. Distribución ventanas propuesta 8.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	558	850	49
21-dic 12:00 pm		284	434	25

Tabla 19. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 8.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	433,958	652	212	0,489	0,325
	1.2		335,875	578	183	0,545	0,317
	1.3		601,583	775	320	0,532	0,413
	2	100	667,308	848	97	0,145	0,114
	3	300	600,750	756	431	0,717	0,570
	4	100	506,977	772	72	0,142	0,093
21-dic 12:00 pm	1.1	150	221,130	332	108	0,488	0,325
	1.2		171,250	295	93	0,543	0,315
	1.3		306,670	395	163	0,532	0,413
	2	100	340,150	432	50	0,147	0,116
	3	300	306,250	385	220	0,718	0,571
	4	100	258,440	393	37	0,143	0,094

Tabla 20. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 8.

En esta solución se cumplen los requisitos de iluminación media mínima y se obtiene una uniformidad bastante buena, salvo en las zonas 2 y 4 que no se supera en ninguna época el 15%.

- Propuesta 9:

En esta última propuesta se han distribuido por igual sobre toda la superficie de cubierta 32 lucernarios de 3 metros por 4 metros, quedando una distribución como la siguiente:

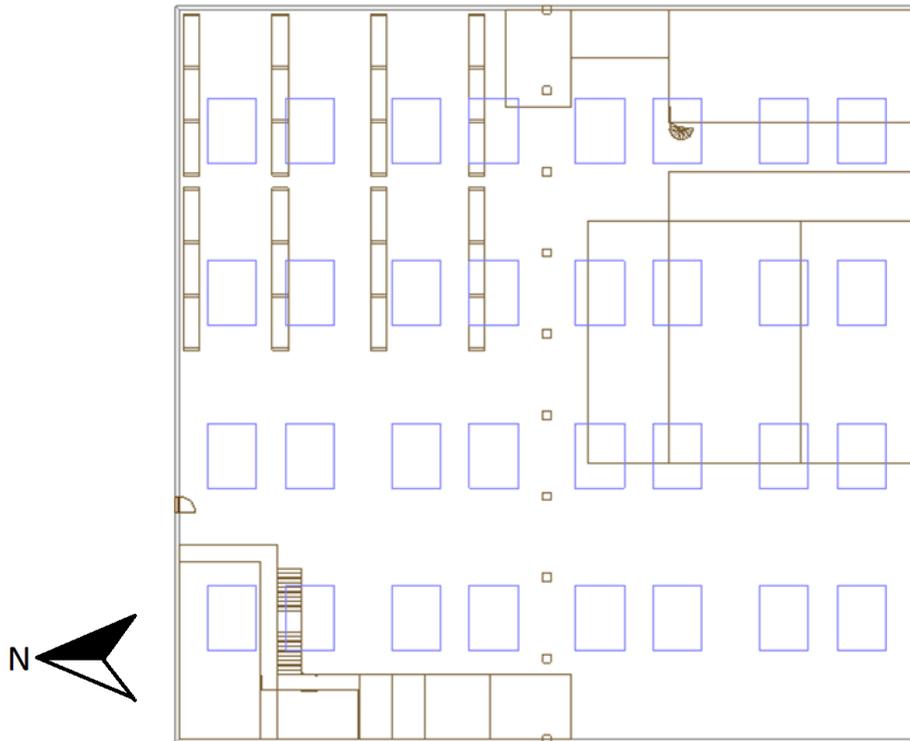


Ilustración 15. Distribución ventanas propuesta 9.

Los resultados numéricos de las simulaciones de esta planta se recogen en las siguientes tablas:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	589	899	52
21-dic 11:00 am		253	386	22

Tabla 21. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta 9.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	404,750	537	182	0,450	0,339
	1.2		408,042	566	196	0,480	0,346
	1.3		471,375	609	214	0,454	0,351
	2	100	695,923	840	91	0,131	0,108
	3	300	630,583	802	419	0,664	0,522
	4	100	527,140	809	142	0,269	0,176
21-dic 11:00 am	1.1	150	173,792	230	78	0,449	0,339
	1.2		175,083	243	84	0,480	0,346
	1.3		202,375	261	92	0,455	0,352
	2	100	298,538	360	39	0,131	0,108
	3	300	270,583	344	180	0,665	0,523
	4	100	226,163	347	61	0,270	0,176

Tabla 22. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta 9.

En esta simulación se obtienen problemas con la iluminación media mínima en la zona 3. La diferencia hasta la iluminación requerida es pequeña, y se podría solucionar con iluminación artificial.

La uniformidad es regular durante todo el año y cumple salvo en las zonas 2 y 4, teniendo esta segunda zona una diferencia muy pequeña con el objetivo deseado.

5.5. PROPUESTA SELECCIONADA.

Con la realización de todas las propuestas anteriores se ha buscado ver y diferenciar las ventajas y desventajas de cada tipo de distribución, con el objetivo de seleccionar una propuesta lo más óptima posible para la planta estudiada. Al final de este apartado se expondrán las diferencias observadas.

Se ha optado por la propuesta 2, cuya dimensión de lucernarios se recoge en el Plano 3 del Anexo3. Planos y cuyo modelado en 3D presenta el siguiente aspecto:



Ilustración 16. Disposición de lucernarios en la propuesta elegida.

El aspecto de la planta iluminada mediante luz natural durante el periodo de verano, es el siguiente:

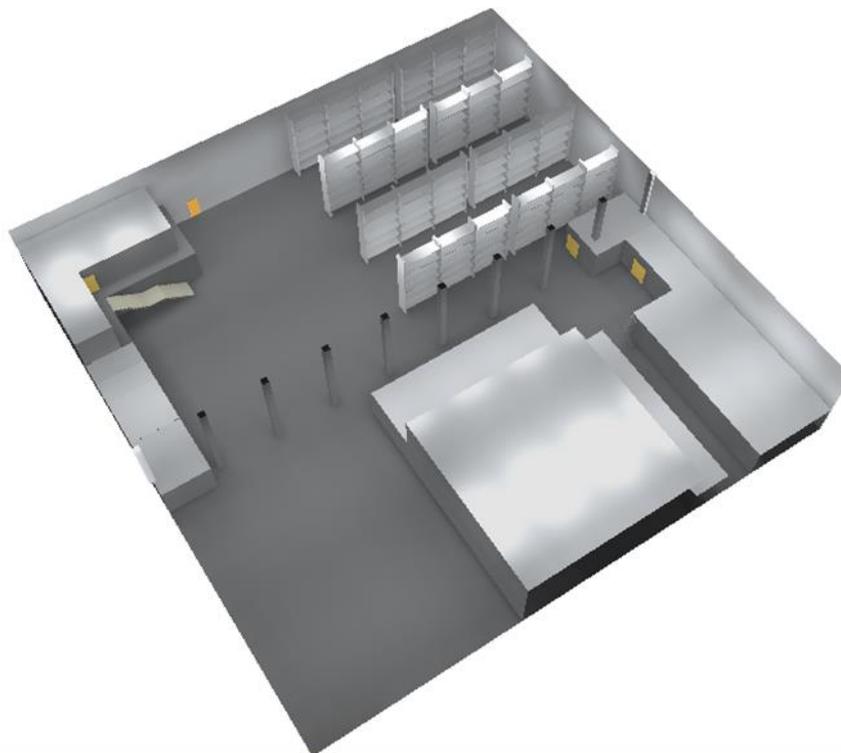


Ilustración 17. Iluminación natural de la propuesta seleccionada durante época estival.

La Ilustración 18 muestra el aspecto de la simulación anterior con tinción de falsos colores y su correspondiente leyenda en cuanto a intensidad lumínica:

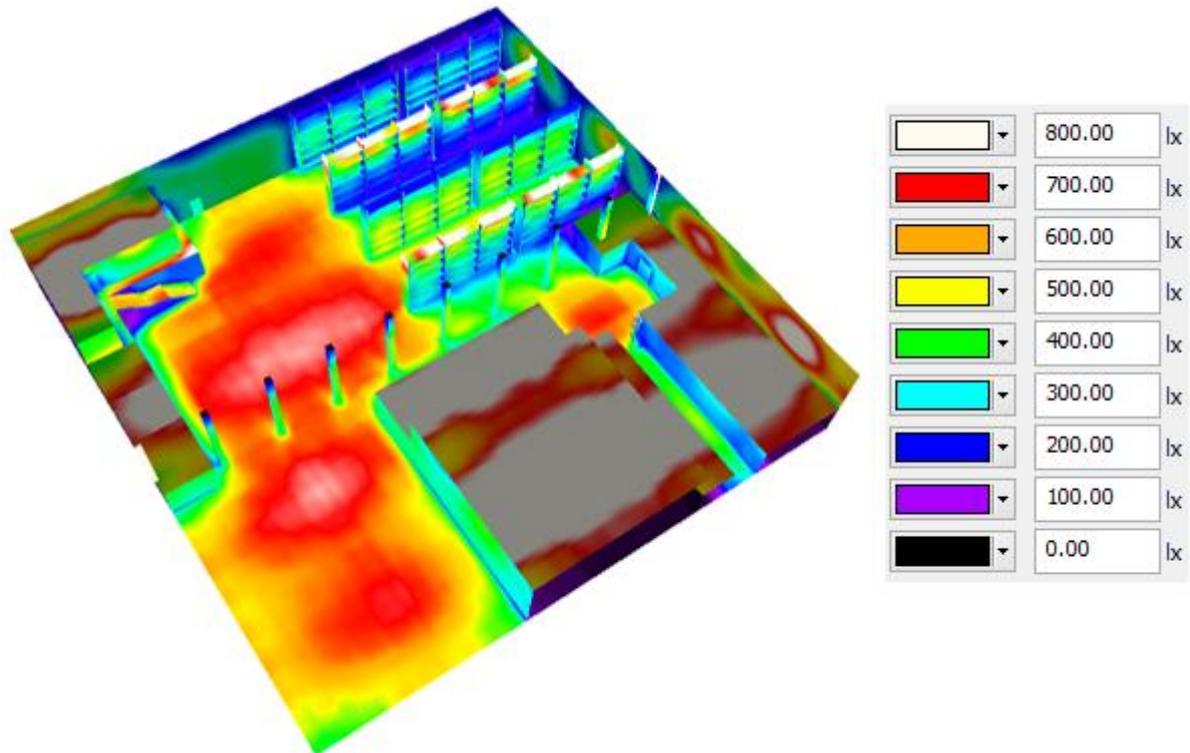


Ilustración 18. Iluminación con falsos colores de la propuesta seleccionada durante época estival.

El aspecto de la planta un día cualquiera a las 12.00 pm durante el periodo invernal, aparece en la Ilustración 19:

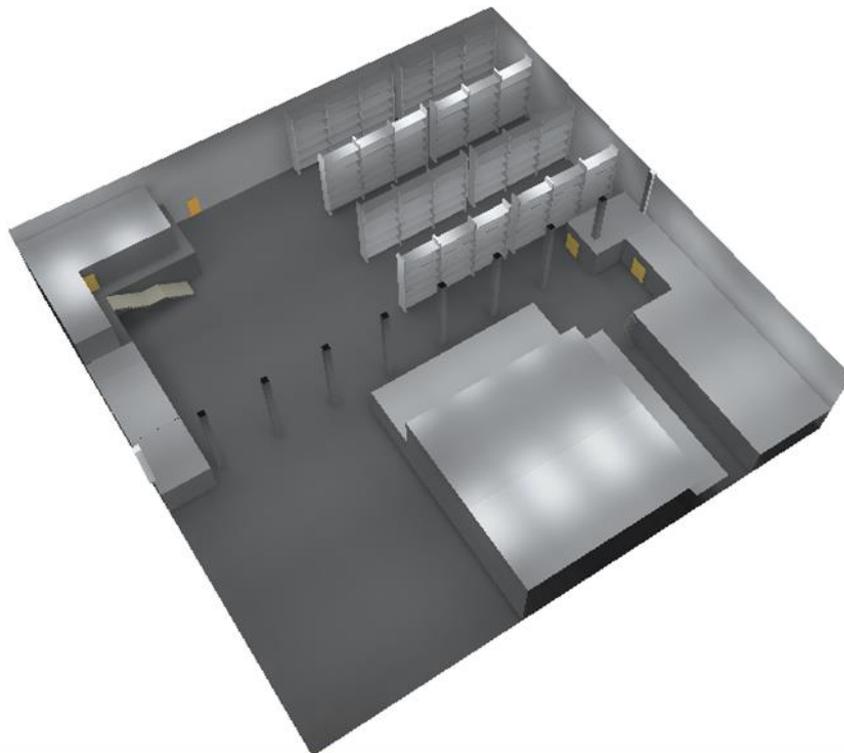


Ilustración 19. Iluminación natural de la propuesta seleccionada durante época invernal.

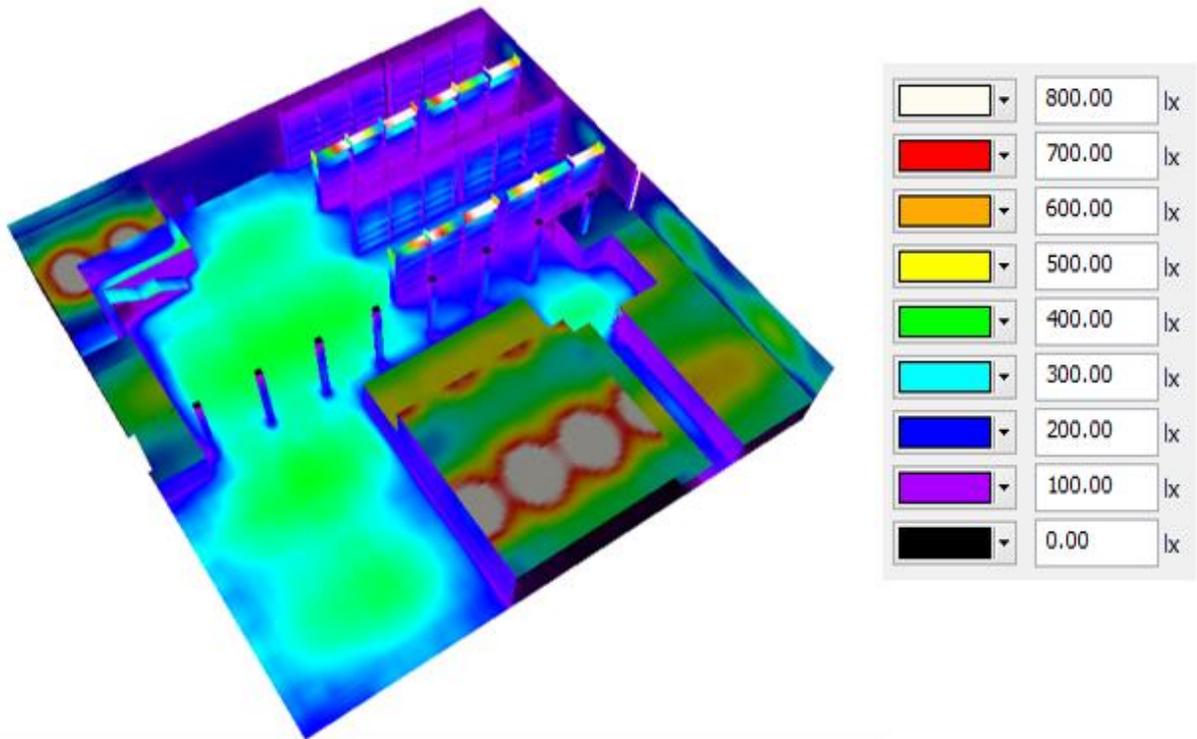


Ilustración 20. Iluminación con falsos colores de la propuesta seleccionada durante época invernal.

Se recuerdan a continuación los resultados obtenidos en la simulación escogida:

Fecha	Em GLOBAL (requerido)	Em GLOBAL	E _{max} GLOBAL	E _{min} GLOBAL
23-jun 12:00 pm	210,57	552	807	49
21-dic 12:00 pm		281	412	25

Tabla 23. Resultados de las simulaciones en toda la planta de la propuesta elegida.

MES	ZONA	Em (requerida)	Em (obtenida)	E _{max}	E _{min}	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
23-jun 12:00 pm	1.1	150	432,125	619	319	0,738	0,515
	1.2		332,625	568	235	0,707	0,414
	1.3		539,458	693	394	0,730	0,569
	2	100	636,077	774	97	0,152	0,125
	3	300	627,250	702	521	0,831	0,742
	4	100	495,605	766	146	0,295	0,191
21-dic 12:00 pm	1.1	150	220,290	316	163	0,740	0,516
	1.2		169,630	290	120	0,707	0,414
	1.3		275,040	353	201	0,731	0,569
	2	100	328,770	395	50	0,152	0,127
	3	300	311,500	358	265	0,851	0,740
	4	100	252,530	390	74	0,293	0,190

Tabla 24. Resultados de las simulaciones por zonas de la propuesta elegida.

En verano la mayoría de las propuestas cumplen con creces las exigencias mínimas para iluminar el local, algunas incluso doblando y triplicando el valor mínimo necesario.

Esta propuesta presenta los valores con menor exceso de iluminación media. Se persigue esto, dado que una excesiva iluminación natural aumenta la fatiga del empleado, bajando así su rendimiento.

De color amarillo se han resaltado en la Tabla 24 las uniformidades por debajo del 30% deseado. A pesar de estos datos, las uniformidades medias son muy altas, superando algunas incluso el 80%. Únicamente aparecen dos zonas en las que no se llega a la cifra, tanto en época estival como invernal. Se puede considerar que son los mejores datos de uniformidad obtenidos durante las simulaciones.

No se ha comentado en los resultados de las simulaciones en general, pero existe un inconveniente, común a todas las propuestas, y es que dado al tamaño de la planta, es posible la presencia de deslumbramientos. Esto tendría lugar en un caso excepcional en el que el trabajador se encontrara en uno de los extremos de los pasillos de almacenamiento, como representa la Ilustración 21.

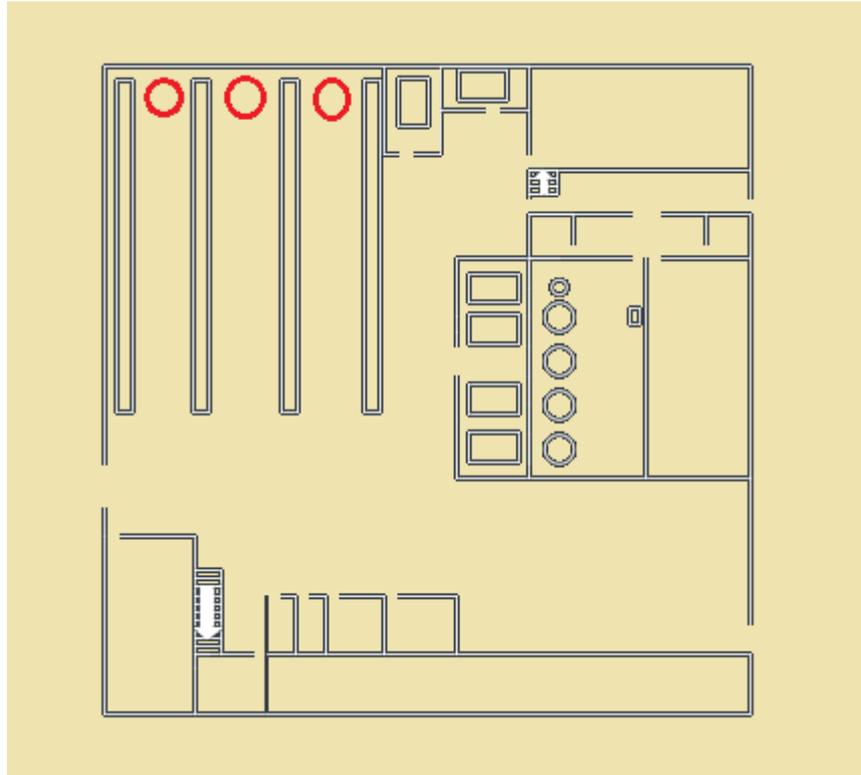


Ilustración 21. Zonas de posible deslumbramiento en puesto de trabajo.

En la Ilustración 22, se ha elaborado un dibujo con el posible deslumbramiento producido:

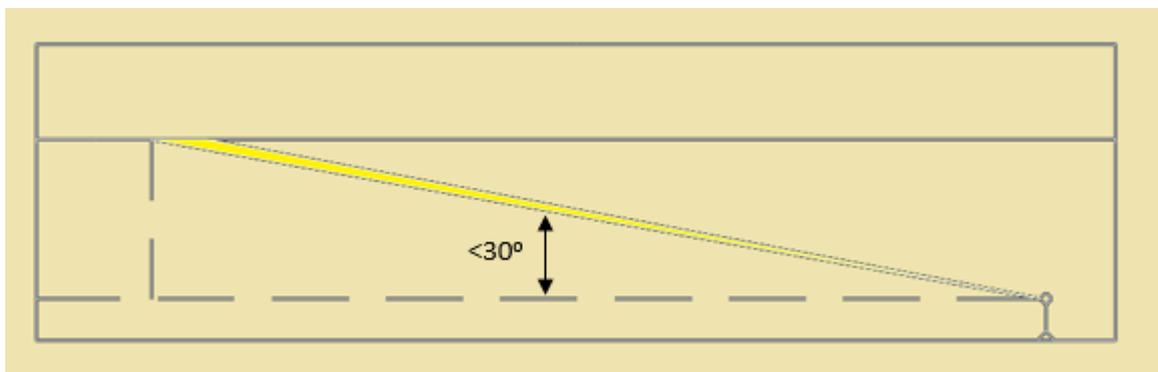


Ilustración 22. Posición de deslumbramiento en puesto de trabajo.

A pesar de los posibles deslumbramientos observados, este fenómeno puede atenuarse pintando las superficies brillantes con colores mates, en el caso de producirse deslumbramientos indirectos. Y en caso de producirse deslumbramientos directos, como se ha hablado anteriormente, se podría encapsular al trabajador o instalar elementos intermedios, como estanterías. También hay que tener en cuenta que la iluminación directa llega difusa gracias al bajo coeficiente de iluminación que posee el policarbonato celular.

Por estos motivos se ha optado por la propuesta 2 como opción final.

- Conclusiones sobre las simulaciones realizadas.

Se ha realizado este grupo de simulaciones para observar los efectos en la iluminación provocados por la variación en el tamaño y en la ubicación de los lucernarios.

Comparando por ejemplo las simulaciones 3 y 4, se puede observar la influencia de los ventanales corridos frente a los ventanales discontinuos, dado que están situados sobre los mismos faldones de cubierta. El hecho de poseer aberturas discontinuas proporciona una mayor uniformidad a la planta, aumentando el nivel de iluminación media junto con el nivel de iluminación mínima y disminuyendo el nivel de iluminación máximo.

Si se comparan las propuestas 4 y 5 se podrá ver el efecto producido al situar los mismos lucernarios en faldones de cubierta distintos. Con la distribución en solo dos faldones de cubierta hay zonas que quedan muy poco iluminadas o excesivamente iluminadas, por lo que las uniformidades se ven afectadas y disminuyen su valor respecto a una distribución uniforme sobre toda la cubierta.

Con las propuestas 6 y 7 se puede observar el efecto de la orientación respecto al nivel de iluminación. Los lucernarios de la propuesta 6 están orientados de norte a sur, mientras que los lucernarios de la propuesta 7 están orientados de este a oeste. En los resultados se comprueba que la uniformidad de la propuesta 6 es superior a la de la propuesta 7 en todos los casos. El nivel de iluminación media también es algo superior, al igual que el nivel de iluminación mínima.

Habiendo observado esto, la propuesta elegida pretende recoger los efectos favorables mencionados, empleando lucernarios discontinuos distribuidos uniformemente sobre todos los faldones de cubierta y orientándolos de norte a sur.

5.6. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.

El objetivo del proyecto es diseñar un sistema de iluminación basado en iluminación natural, con el objetivo de optimizar la utilización del sistema de iluminación artificial. El sistema de iluminación artificial se seguirá utilizando a pesar del diseño del proyecto, dado que la iluminación proporcionada por la bóveda celeste es variable y para el correcto desarrollo de actividad en la planta, es necesario garantizar un mínimo de iluminación durante todo el año [17].

De acuerdo con esto, se ha procedido a simular una situación en la que la planta funcione únicamente con iluminación artificial haciendo uso del programa DIALux Light para obtener un número aproximado de luminarias.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la planta, la distribución proporcionada y recomendada por el programa DIALux es la que procede en la Ilustración 23:

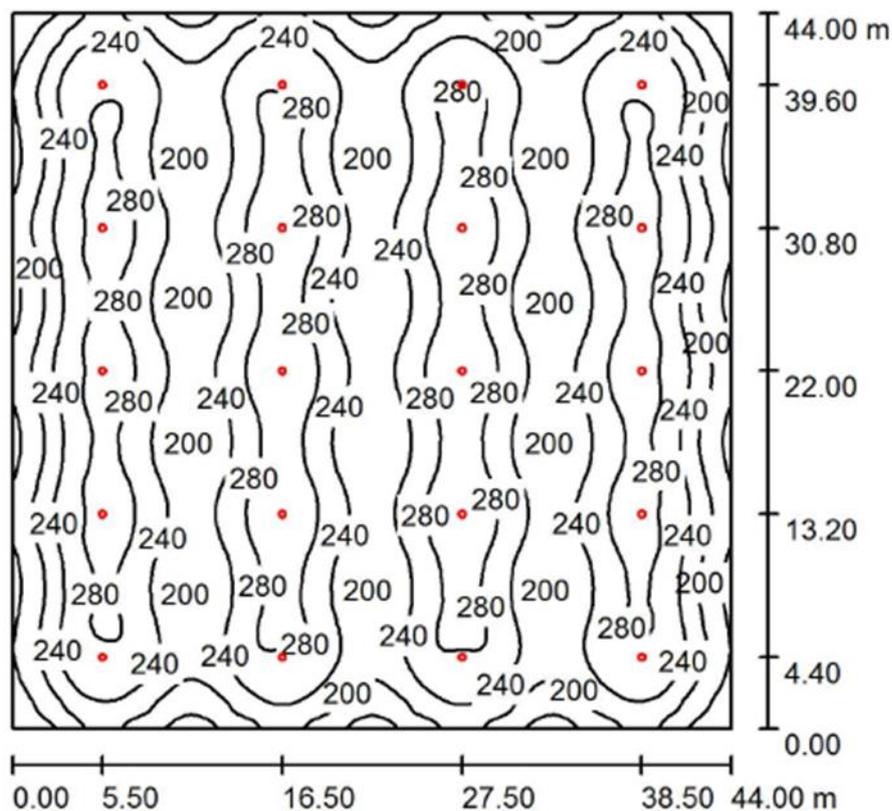


Ilustración 23. Distribución de luminarias en la planta.

Un total de 20 luminarias serían necesarias para iluminar la planta y cumplir con la iluminación media de la planta. Al tratarse de luminarias con una potencia fija y regular, la uniformidad será bastante alta.

	Em	Emin	E _{max}	Emin/Em
Plano útil	241	122	298	0,504

Tabla 25. Valores de iluminación con luminarias al 100%.

En el Anexo 2 se ha adjuntado la información de las luminarias empleadas.

5.6.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Para el caso en el que la iluminación sea 100% artificial, es decir, que se empleen las 20 luminarias en su totalidad, los valores de eficiencia energética corresponden a los valores de la Tabla 26.

VEEI (W/m ²)	VEEI (W/m ² /100)
4,34	1,80

Tabla 26. Valores de eficiencia energética para un uso del 100% de luz artificial.

Observando ahora el Gráfico 5 perteneciente a los apuntes del tema de Iluminación natural de la asignatura de Construcción y arquitectura industrial y utilizando los datos de ubicación de la planta

estudiada, se puede observar el porcentaje de iluminación natural que es posible utilizar para iluminar la planta.

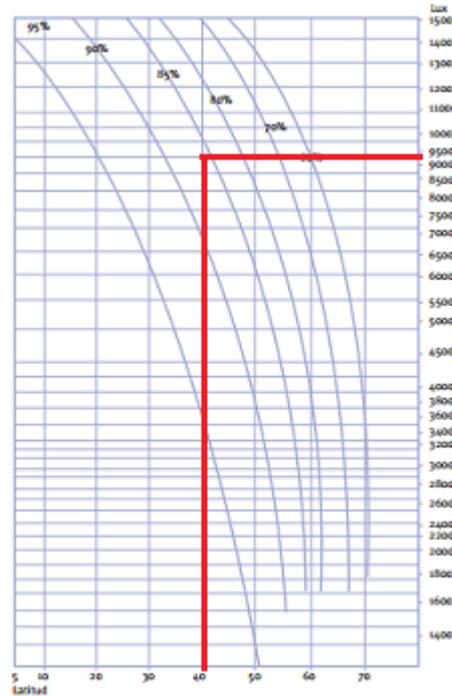


Gráfico 5. Gráfico de aprovechamiento de luz exterior en función de la latitud [18].

Teniendo en cuenta los aproximados 40° de latitud y los 9000 luxes de iluminación exterior que ya se habían utilizado para determinar la superficie de ventanas, se ha obtenido una posibilidad de uso de iluminación natural entorno al 85%.

Este porcentaje está basado en las horas laborales, es decir, no está basado en las horas totales de sol del día. El porcentaje de horas de sol diarias, ronda el 69%.

Como el uso de luz natural se encuentra en torno al 85%, se analizarán situaciones cercanas a esta en las que la iluminación artificial supondrá un 10% y un 30% de la iluminación de la planta.

Estos porcentajes hacen referencia a la utilización de horas de luz. Se supondrá que para un determinado porcentaje de utilización de luz artificial, se utilizará ese mismo porcentaje de luminarias respecto al total.

En primer lugar se va a suponer que es posible iluminar la planta con un 90% de iluminación natural, o lo que es lo mismo, con un 10% de iluminación artificial. En este caso en lugar de 20 luminarias, se utilizarán 2 luminarias equivalentes y la eficiencia obtenida sería la siguiente:

VEEI (W/m2)	VEEI (W/m2/100)
0,43	1,72

Tabla 27. Valores de eficiencia energética para un uso del 10% de luz artificial.

El siguiente caso será más caro que el anterior, ya que utiliza un 30% de luz artificial. Con el uso de 6 luminarias equivalentes los resultados de eficiencia energética serán los siguientes:

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

VEEI (W/m ²)	VEEI (W/m ² /100)
1,30	1,76

Tabla 28. Valores de eficiencia energética para un uso del 30% de luz artificial.

El valor de la eficiencia energética dependerá directamente de las luminarias utilizadas, es decir, cuanta menos luz artificial se utilice, más óptimo será el aprovechamiento energético de la planta.

Un valor nulo de eficiencia energética supondría no utilizar ninguna luminaria, por lo que al asumir que es necesario añadir luz artificial al comprender que no se puede depender solo de la luz natural, se intentará obtener el valor más cercano a 0 posible.

6. PRESUPUESTO

En el Anexo 1, se encuentra el presupuesto total de la instalación de los lucernarios según la propuesta 2, antes escogida, junto con los impuestos correspondientes.

6.2. BALANCE ECONÓMICO

En este apartado el objetivo será analizar el gasto energético de la nave en función de las luminarias, buscando una solución económica con las aberturas de luz natural. De este modo se plantearán soluciones en función del porcentaje de uso de luz artificial y luz natural.

Además del coste de la factura eléctrica, también será necesario tasar el precio de mantenimiento de las luminarias instaladas.

La tarifa contratada 3.0A es una tarifa de baja tensión con una potencia contratada mayor a 15 kW. El suministro es de potencia trifásica y el cliente decidirá cada mes lo que desea contratar siempre y cuando cumpla con la potencia superior a 15 kW.

Conociendo la potencia de la maquinaria es posible obtener la potencia total requerida por la planta:

Maquinaria	Unidades	kW/unidad	kW
Reactores de agitación 2000 L	2	7,50	15,00
Reactores de agitación 1000 L	2	4,50	9,00
Reactores de agitación 500 L	1	3,00	3,00
Bombas	4	1,12	4,48
Cinta transportadora (máx. 300kg)	4	0,37	1,48
Envasadora semiautomática de viscosos	3	3,10	9,30
Llenadora de aceite	1	3,00	3,00
Luminarias	20	4,20	84,00
Tomas de corriente	10	3,68	36,80
Tomas de corriente trifásica	3	10,00	30,00
TOTAL			196,06

Tabla 29. Cálculo de la potencia total de la planta.

En función de la potencia necesaria para la planta, el tipo de factura contratada sigue un modelo de tarifa como el del Gráfico 6:

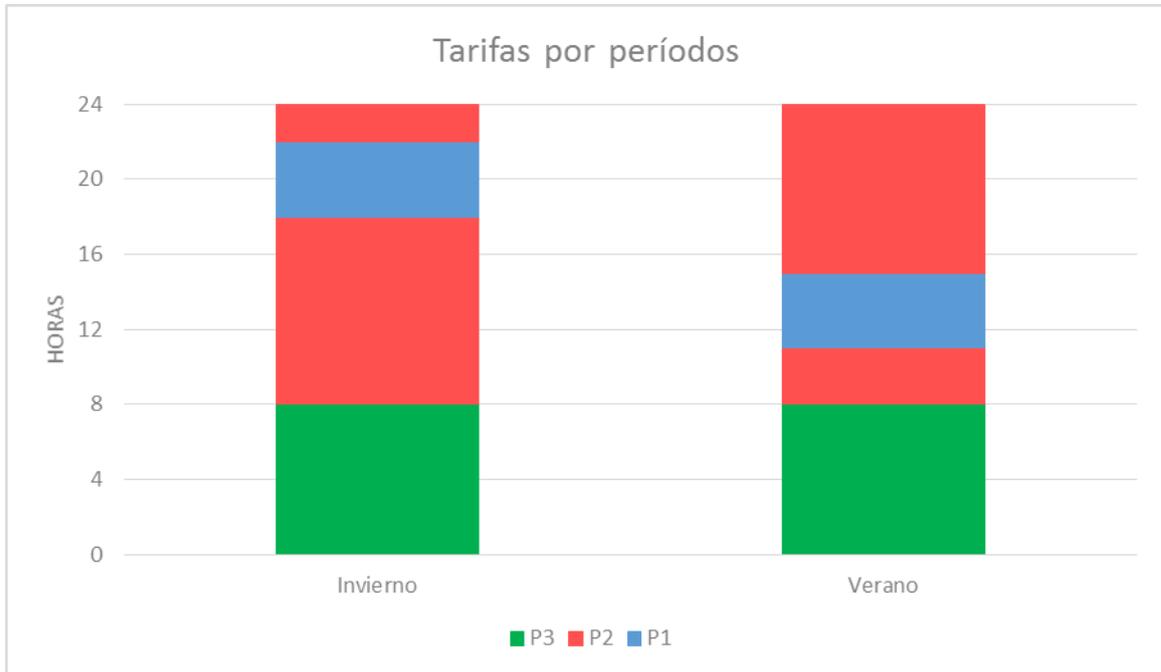


Gráfico 6. Tarifas aplicadas según franja horaria [20].

El primer periodo (P1) del Gráfico 6 representa la parte del día con demanda punta de energía. La segunda etapa (P2) representa el horario de demanda llana, mientras que el tercer periodo (P3) muestra el periodo de demanda valle.

A continuación se calculará la energía mensual consumida por las luminarias, según horario de verano o de invierno. El horario de verano consiste en 32,5 horas semanales, mientras que el horario de invierno consiste en 40,5 horas semanales.

	P1	P2	P3
Enero	0	162	0
Febrero	0	162	0
Marzo	0	162	0
Abril	0	162	0
Mayo	80	50	0
Junio	80	50	0
Julio	80	50	0
Agosto	80	50	0
Septiembre	80	50	0
Octubre	80	50	0
Noviembre	0	162	0
Diciembre	0	162	0
TOTAL ANUAL	480	1272	0

Tabla 30. Horas de trabajo mensual.

El horario de verano se comprende los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre y como horario de invierno se hará referencia a los meses desde Noviembre hasta Abril incluido [21].

6.3. ILUMINACION 100% ARTIFICIAL

Se va a estudiar el caso en el que la iluminación dependa únicamente de las luminarias instaladas, sin tener en cuenta la iluminación natural de los lucernarios.

Atendiendo a los precios de las tarifas, la facturación obtenida al utilizar el 100% de la iluminación artificial y que no supondrá ningún ahorro es la siguiente:

Periodo	Precios término de potencia (€/kW y mes)	Precios término de energía (€/kW)
Punta	3,563707	0,103168
Llano	2,165666	0,091564
Valle	1,485207	0,066389

Tabla 31. Tabla de precios de potencia y energía [].

6.3.1. Facturación mensual de la planta con un uso del 100% de iluminación artificial

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1 invierno)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 0 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 20 \text{ luminarias equiv.} = 0 \quad (5)$$

$$\text{Llano (P2 invierno)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 162 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 20 \text{ luminarias eq.} = 1360,8 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (6)$$

$$\text{Llano (P2 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 50 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 20 \text{ luminarias eq.} = 420 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (7)$$

$$\text{Punta (P1 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 80 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 20 \text{ luminarias eq.} = 672 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (8)$$

Para hallar el término de potencia, se ha utilizado la expresión analítica (9):

$$\text{Término de potencia} = \sum_i P_T(\text{kW}) \cdot P_i \left(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{año}} \right) \quad (9)$$

Donde:

- P_T : es la potencia total requerida por la planta.
- P_i : es el precio de cada periodo.
- i : hace referencia a cada periodo [P1, ..., P3].

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW mes)	Término de potencia (€)
P1	196,06	3,56	698,70
P2	196,06	2,17	424,60
P3	196,06	1,49	291,19

Tabla 32. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 100% de iluminación artificial.

Para hallar el término de energía, se ha utilizado la expresión analítica (10):

$$\text{Término de energía} = P1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) \cdot P_i \left(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{mes}} \right) \quad (10)$$

Donde:

- P1: es el consumo mensual de las luminarias de la planta calculado en las expresiones analíticas (5) (6) (7) y (8).
- Pi: es el precio de cada periodo.
- i: hace referencia a cada periodo [P1, ..., P3].

Periodo	Época	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	Invierno	0	0,103168	0	0
	Verano	672	0,103168	162	69,33
P2	Invierno	1360,80	0,091564	80	124,60
	Verano	420	0,091564	50	38,46
P3	Invierno	0	0,066389	0	0
	Verano	0	0,066389	0	0
TOTAL					232,39

Tabla 33. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 100% de iluminación artificial.

Resumen de facturación mensual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	0	124,60	0	124,60
Término de potencia (€)	698,70	424,60	291,19	1414,49
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				78,69
Alquiler de equipos (1,17 € · 30)				35,1
Total (€)				1652,88

Tabla 34. Tabla resumen mensualidades en invierno.

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	69,33	38,46	0	107,79
Término de potencia (€)	698,70	424,60	291,19	1414,49
Impuesto sobre electricidad				77,83
Alquiler de equipos				35,1
Total (€)				1635,21

Tabla 35. Tabla resumen mensualidades en verano.

6.3.2. Facturación anual con un uso del 100% de iluminación artificial

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 480 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 20 \text{ luminarias eq.} = 4032 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (11)$$

$$\text{Llano (P2)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 1272 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 20 \text{ luminarias eq.} = 10684,8 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (12)$$

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW año)	Término de potencia (€)
P1	196,06	42,76	8383,53
P2	196,06	25,99	5095,60
P3	196,06	17,82	3493,79

Tabla 36. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales.

Periodo	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	4032	0,10	480	415,70
P2	10684,8	0,09	1272	973,00
P3	0	0,07	0	0
TOTAL				1388,70

Tabla 37. Tabla de cálculo de términos de energía anuales.

Resumen de facturación anual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	415,70	973,00	0	1388,70
Término de potencia (€)	8383,53	5095,60	3493,79	16972,92
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				938,77
Alquiler de equipos (1,17 € · 30 · 12)				421,20
Total (€)				19721,59

Tabla 38. Tabla resumen facturación anual.

Además de la facturación habrá que tener en cuenta el mantenimiento de estas luminarias, cuya información se recuerda que está en el Anexo 2.

Actualmente las lámparas de vapor de sodio de alta presión tienen una vida media de 20000 horas y una vida útil entre 8000 y 12000 horas [23].

Si se tiene en cuenta que la planta se encuentra en funcionamiento al cabo del año unas 1752 horas, será necesario cambiar las luminarias al cabo de 5,7 años.

$$\text{Vida útil} = \frac{\text{vida útil de la lámpara}}{\text{horas de funcionamiento anuales}} = \frac{10000}{1752} = 5,7 \text{ años} \quad (13)$$

El presupuesto para el coste de instalación de las luminarias se encuentra en el Anexo 1.

Además de la instalación de las luminarias, cada 5 años se debe de realizar una limpieza de los lucernarios, por lo que hay que contabilizar el coste de su mantenimiento. Dicho presupuesto se encuentra también en el Anexo 1.

Por lo que contabilizando los costes totales, se obtendrá un coste total de:

Gasto total de energía eléctrica anual	19721,59 €
Gasto total de reemplazo luminarias anual	363,56 €
Gasto total de mantenimiento de lucernarios anual	229,12 €
Gasto total anual	20314,27 €

Tabla 39. Tabla de costes totales con uso del 100% de iluminación artificial.

6.4. ILUMINACION MIXTA

Con los datos arrojados en el apartado de 5.6.1 de eficiencia energética sobre la luz natural utilizable, se estudiarán dos casos adicionales en los que se utilice parte de la luz natural y parte de la luz artificial.

6.4.1. 30% DE LUZ ARTIFICIAL Y 70% DE LUZ NATURAL

En este caso el número de luminarias empleadas para iluminar la planta será de 6.

Será necesario volver a calcular el gasto energético de la planta y presupuestar de nuevo el proyecto.

Maquinaria	Unidades	kW/unidad	kW
Reactores de agitación 2000 L	2	7,50	15,00
Reactores de agitación 1000 L	2	4,50	9,00
Reactores de agitación 500 L	1	3,00	3,00
Bombas	4	1,12	4,48
Cinta transportadora (máx. 300kg)	4	0,37	1,48
Envasadora semiautomática de viscosos	3	3,10	9,30
Llenadora de aceite	1	3,00	3,00
Luminarias	6	4,20	25,20
Tomas de corriente	10	3,68	36,80
Tomas de corriente trifásica	3	10,00	30,00
TOTAL			137,26

Tabla 40. Cálculo de la nueva potencia total de la planta.

6.4.1.1. FACTURACIÓN MENSUAL DE LA PLANTA CON 30% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 0 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 0 \quad (24)$$

$$\text{Llano (P2 invierno)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 162 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 408,24 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (25)$$

$$\text{Punta (P1 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 80 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 201,6 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (26)$$

$$\text{Llano (P2 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 50 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 126 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (27)$$

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW mes)	Término de potencia (€)
P1	137,26	3,56	488,65
P2	137,26	2,17	297,85
P3	137,26	1,49	204,52

Tabla 41. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 30% de iluminación artificial.

Periodo	Época	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	Invierno	0	0,103168	0	0
	Verano	201,6	0,103168	162	20,80
P2	Invierno	408,24	0,091564	80	37,38
	Verano	126	0,091564	50	11,54
P3	Invierno	0	0,066389	0	0
	Verano	0	0,066389	0	0
TOTAL					69,72

Tabla 42. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 30% de iluminación artificial.

Resumen de facturación mensual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	0	37,38	0	37,38
Término de potencia (€)	488,65	297,85	204,52	991,02
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				52,58
Alquiler de equipos (1,17 € · 30)				35,1
Total (€)				1116,08

Tabla 43. Tabla resumen mensualidades en invierno con un 30% de luz artificial.

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	20,80	11,54	0	32,34
Término de potencia (€)	488,65	297,85	204,52	991,02
Impuesto sobre electricidad				52,32
Alquiler de equipos				35,10
Total (€)				1110,78

Tabla 44. Tabla resumen mensualidades en verano con un 30% de luz artificial.

6.4.1.2. FACTURACIÓN ANUAL DE LA PLANTA CON 30% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 480 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 1209,60 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (28)$$

$$\text{Llano (P2)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 1272 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 6 \text{ luminarias eq.} = 3205,44 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (29)$$

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW año)	Término de potencia (€)
P1	137,26	42,76	5869,24
P2	137,26	25,99	3567,39
P3	137,26	17,82	2445,97

Tabla 45. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales con un 30% de luz artificial.

Periodo	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	1209,60	0,10	480	124,79
P2	3205,44	0,09	1272	293,50
P3	0	0,07	0	0
TOTAL				418,29

Tabla 46. Tabla de cálculo de términos de energía anuales utilizando un 30% de luz artificial.

Resumen de facturación anual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	124,79	293,50	0	418,29
Término de potencia (€)	5869,24	3567,39	2445,97	11882,6
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				628,91
Alquiler de equipos (1,17 € · 30 · 12)				421,20
Total (€)				13350,99

Tabla 47. Tabla resumen facturación anual con un 30% de luz artificial.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias				
	Ud.	Luminaria	1	60,00	60,00	
	h	Oficial 1ª electricidad	0,2898	16,58	4,81	
	h	Peón electricidad	0,2898	13,18	3,82	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,748	
	%	Costes directos complementarios	0,02	69,377	1,388	
						70,77 €

Tabla 48. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias [24].

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias						
	m2	Luminaria	6				6	
								6

Tabla 49. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.

Cód.	Descripción	Subtotal	Total
01.01	Instalación de luminarias	424,62	
			424,62 €

Tabla 50. Cuadro de precios parciales para la instalación de 6 luminarias.

$$\text{Presupuesto de ejecución material} = 424,62 \text{ €} \quad (30)$$

$$\text{Presupuesto de ejec. por contrata} = \text{PEM} + \text{PEM} \cdot 0,15 + \text{PEM} \cdot 0,06 = 89,17 \text{ €} \quad (31)$$

$$\text{IVA} = \text{PEC} \cdot 0,21 = 107,90 \text{ €} \quad (32)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = \text{PEC} + \text{IVA} = 621,69 \text{ €} \quad (33)$$

$$\text{Presupuesto base licitación anual} = \frac{\text{PBL}}{5,7 \text{ años}} = 109,07 \text{ €} \quad (34)$$

Gasto total de energía eléctrica anual	13350,99 €
Gasto total de mantenimiento anual	109,07 €
Gasto total de mantenimiento de lucernarios anual	229,12 €
Gasto total anual	13689,18 €

Tabla 51. Tabla de costes totales con uso del 30% de iluminación artificial.

6.4.2. 10% DE LUZ ARTIFICIAL Y 90% DE LUZ NATURAL

En este caso el número de luminarias empleadas para iluminar la planta será de 2.

Será necesario volver a calcular el gasto energético de la planta y presupuestar de nuevo el proyecto.

Maquinaria	Unidades	kW/unidad	kW
Reactores de agitación 2000 L	2	7,50	15,00
Reactores de agitación 1000 L	2	4,50	9,00
Reactores de agitación 500 L	1	3,00	3,00
Bombas	4	1,12	4,48
Cinta transportadora (máx. 300kg)	4	0,37	1,48
Envasadora semiautomática de viscosos	3	3,10	9,30
Llenadora de aceite	1	3,00	3,00
Luminarias	2	4,20	8,40
Tomas de corriente	10	3,68	36,80
Tomas de corriente trifásica	3	10,00	30,00
TOTAL			120,46

Tabla 52. Cálculo de la nueva potencia total de la planta.

6.4.2.1. FACTURACIÓN MENSUAL DE LA PLANTA CON 10% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1 invierno)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 0 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 0 \quad (35)$$

$$\text{Llano (P2 invierno)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 162 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 136,08 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (36)$$

$$\text{Punta (P1 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 80 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 67,2 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (37)$$

$$\text{Llano (P2 verano)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 50 \frac{\text{hrs}}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 42 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \quad (38)$$

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW mes)	Término de potencia (€)
P1	120,46	3,56	428,84
P2	120,46	2,17	261,40
P3	120,46	1,49	179,49

Tabla 53. Tabla de cálculo de términos de potencia mensuales con 10% de iluminación artificial.

Periodo	Época	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	Invierno	0	0,103168	0	0
	Verano	67,20	0,103168	162	6,93
P2	Invierno	136,08	0,091564	80	12,46
	Verano	42,00	0,091564	50	3,85
P3	Invierno	0	0,066389	0	0
	Verano	0	0,066389	0	0
TOTAL					23,24

Tabla 54. Tabla de cálculo de términos de energía mensuales con 10% de iluminación artificial.

Resumen de facturación mensual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	0	12,46	0	12,46
Término de potencia (€)	428,84	261,40	179,49	869,73
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				45,10
Alquiler de equipos (1,17 € · 30)				35,1
Total (€)				962,39

Tabla 55. Tabla resumen mensualidades en invierno con un 10% de luz artificial.

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	6,93	3,85	0	10,78
Término de potencia (€)	428,84	261,40	179,49	869,73
Impuesto sobre electricidad				45,02
Alquiler de equipos				35,10
Total (€)				960,63

Tabla 56. Tabla resumen mensualidades en verano con un 10% de luz artificial.

6.4.2.2. FACTURACIÓN ANUAL DE LA PLANTA CON 10% DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El consumo en los periodos punta y llano será el siguiente:

$$\text{Punta (P1)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 480 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 403,2 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (39)$$

$$\text{Llano (P2)} = 0,42 \frac{\text{kW}}{\text{hora}} \cdot 1272 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot 2 \text{ luminarias eq.} = 1068,5 \frac{\text{kW}}{\text{año}} \quad (40)$$

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

Periodo	PT (kW)	Pi (€/kW año)	Término de potencia (€)
P1	120,46	42,76	5150,87
P2	120,46	25,99	3130,76
P3	120,46	17,82	2146,60

Tabla 57. Tabla de cálculo de términos de potencia anuales con un 10% de luz artificial.

Periodo	Consumo (kW/mes)	Pi (€/kW)	hi (horas)	Término de energía (€)
P1	403,2	0,10	480	41,60
P2	1068,5	0,09	1272	97,84
P3	0	0,07	0	0
TOTAL				139,44

Tabla 58. Tabla de cálculo de términos de energía anuales utilizando un 10% de luz artificial.

Resumen de facturación anual:

Periodo	P1	P2	P3	TOTAL (€)
Término de energía (€)	41,60	97,84	0	139,44
Término de potencia (€)	5150,87	3130,76	2146,60	10428,23
Impuesto sobre electricidad (1,05113 · 4,864%)				540,29
Alquiler de equipos (1,17 € · 30 · 12)				421,20
Total (€)				11529,16

Tabla 59. Tabla resumen facturación anual.

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias				
	Ud.	Luminaria	1	60,00	60,00	
	h	Oficial 1ª electricidad	0,2898	16,58	4,81	
	h	Peón electricidad	0,2898	13,18	3,82	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,748	
	%	Costes directos complementarios	0,02	69,377	1,388	
						70,77

Tabla 60. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias [25].

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias						
	m2	Luminaria	2				2	
								2

Tabla 61. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.

Cód.	Descripción	Subtotal	Total
01.01	Instalación de luminarias	141,54	
			141,54

Tabla 62. Cuadro de precios parciales para la instalación de 2 luminarias.

$$\text{Presupuesto de ejecución material} = 141,54 \text{ €} \quad (41)$$

$$\text{Presupuesto de ejecución p. contrata} = \text{PEM} + \text{PEM} \cdot 0,15 + \text{PEM} \cdot 0,06 = 29,72 \text{ €} \quad (42)$$

$$\text{IVA} = \text{PEC} \cdot 0,21 = 35,97 \text{ €} \quad (43)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = \text{PEC} + \text{IVA} = 207,23 \text{ €} \quad (44)$$

$$\text{Presupuesto base licitación anual} = \frac{\text{PBL}}{5,7 \text{ años}} = 36,36 \text{ €} \quad (45)$$

Gasto total de energía eléctrica anual	11529,16 €
Gasto total de mantenimiento anual	36,36 €
Gasto total de mantenimiento de lucernarios anual	229,12 €
Gasto total anual	11794,64 €

Tabla 63. Tabla de costes totales con uso del 10% de iluminación artificial.

6.5. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El objetivo en este apartado es el de averiguar si el hecho de disminuir la cantidad de luz artificial en favor de la luz natural, favorecerá económicamente a la planta industrial.

Con los presupuestos realizados en el apartado anterior, se procede a analizar el balance económico global.

	Gasto total anual	Beneficio
Uso del 100% de luz artificial	20314,27 €	0
Uso del 30% de luz artificial y 70% de luz natural	13689,18 €	6625,09 €
Uso del 10% de luz artificial y 90% de luz natural	11794,64 €	8519,63 €

Tabla 64. Beneficio económico de los distintos porcentajes de uso de luz natural frente a luz artificial.

Con estos datos se calculará la rentabilidad del proyecto. Se emplearán el TIR (Tasa Interna de Rendimiento) y el VAN (Valor Actual Neto), que es el mejor indicador de rentabilidad para un proyecto.

La expresión analítica necesaria para calcular el VAN es la siguiente:

$$\text{VAN} = -I + \sum_{t=0}^T \frac{\text{CF}}{(1+i)^t} \quad (46)$$

Siendo:

- CF : los flujos de caja.
- I : la inversión inicial.
- i : el interés en tanto por 1.
- T : es el horizonte temporal.

Ahora se procederá a su cálculo, esperando un valor positivo del mismo que indique que el proyecto es rentable.

Para la utilización del 30% de iluminación artificial y 70% de iluminación natural, los resultados son los siguientes:

$$VAN = - 53740,61 + \sum_{t=0}^T \frac{6625,09}{(1+i)^t} \quad (47)$$

Inversión inicial (€)	Flujos de caja (€)	Interés (%)	VAN (€)
53740,61	6625,09	2	54589,11
53740,61	6625,09	4	36296,53
53740,61	6625,09	6	22248,65
53740,61	6625,09	8	11305,50
53740,61	6625,09	10	2662,52
53740,61	6625,09	12	-4254,87

Tabla 65. Cálculo del valor añadido neto para el 30% de luz artificial.

Para calcular el TIR se empleará la misma expresión analítica.

El TIR hace referencia a la tasa de rendimiento del proyecto y es posible calcularlo sustituyendo el VAN por 0 y despejando el valor del interés.

$$0 = - I + \sum_{t=0}^T \frac{CF}{(1 + TIR)^t} \quad (48)$$

Para el caso del uso de 30% de luz artificial el valor del TIR es el siguiente:

Inversión inicial (€)	Flujos de caja (€)	TIR (%)
53740,61	6625,09	10.7

Tabla 66. Cálculo de la tasa interna de rendimiento para el 30% de luz artificial.

Del mismo modo, para la situación de 10% de luz artificial, los resultados son los siguientes:

Inversión inicial (€)	Flujos de caja (€)	Interés (%)	VAN (€)
53740,61	8519,63	2	85567,55
53740,61	8519,63	4	62043,94
53740,61	8519,63	6	43978,88
53740,61	8519,63	8	29906,37
53740,61	8519,63	10	18791,80
53740,61	8519,63	12	9896,29
53740,61	8519,63	14	2686,01
53740,61	8519,63	16	-3229,08

Tabla 67. Cálculo del valor añadido neto para el 10% de luz artificial.

Y el valor del TIR para la situación de 10% de luz artificial resulta:

Inversión inicial (€)	Flujos de caja (€)	TIR (%)
53740,61	8519,63	14.9

Tabla 68. Cálculo de la tasa interna de rendimiento para el 10% de luz artificial.

Con los datos obtenidos, las conclusiones sobre la rentabilidad del proyecto son las siguientes:

- En la situación de iluminación mixta con 30% de luz artificial y 70% de luz natural, el proyecto será rentable siempre y cuando la tasa de interés sea menor a 10,7%.
- En cambio, para la situación en la que la iluminación mixta está formada por un 10% de luz artificial y un 90% de luz natural, el proyecto será rentable siempre y cuando los intereses sean menores a 14,9%.

7. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de las 9 propuestas se ha llegado a la conclusión de que la mejor distribución de lucernarios tendidos en cubierta es aquella en la que se distribuyen orientados de norte a sur y de forma discontinua sobre todos los faldones. Además se optó desde un principio por la iluminación cenital que proporciona mayor profundidad de iluminación al encontrarse en un lugar elevado.
- Se ha comprobado que se cumplían los factores que se quería tener en cuenta, como son la iluminación media requerida por cada zona de la planta y la uniformidad de la iluminación en cada zona de la planta.
- No es posible asegurar con total veracidad que no se producirán deslumbramientos, aunque de producirse, sería en una situación muy excepcional como se ha mencionado en el apartado 5.5. En caso de producirse, la solución sería instalar algún elemento intermedio o encapsular al trabajador.
- La tarifa contratada para esta planta es de baja tensión, concretamente una tarifa 3.0a. Este puede ser el motivo de los altos porcentajes de VAN y TIR, ya que esta tarifa posee unos altos costes respecto a otras del mercado. Se podría aconsejar la contratación de una tarifa de media tensión, para rebajar los costes.
- Mediante los conceptos de valor anual neto y tasa interna de interés se ha comprobado la buena rentabilidad de ejecución proyecto.
- Se ha mejorado la destreza con el empleo de la herramienta DIALux para realizar las simulaciones de iluminación.

8. BIBLIOGRAFÍA

[20] [21]

Audax. (2016). *Horarios Tarifas Audax energía*. Obtenido de:
<http://es.support.somenergia.coop/article/176-que-horarios-tienen-los-periodos-de-la-tarifa-3-0a>

[11] [12] [13] [16] [17] [18]

CEI, I. e. (2005). *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Obtenido de:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_c7e314e8.pdf

[14] [15]

Fruhling, D. (s.f.). *Método del rendimiento, Norma DIN 5034*.

[9]

García, J. (Octubre de 2016). Producción anual planta cosméticos. (A. P. Lomando, Entrevistador)

[19] [24] [25]

Instituto Valenciano de la Edificación. (2016). Obtenido de:
<http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base16/index.htm>

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]

Stanpa Asociación Nacional de Cosméticos y Perfumería. (s.f.). *Stanpa*. Obtenido de
<http://www.stanpa.com>

[22]

Tarifas Audax Energía. (2016). Obtenido de: <https://www.kelisto.es/electricidad/proveedores/audax-energia/164>

[10]

(2002). *UNE 12464.1 Norma Europea sobre iluminación para interiores*.

[23]

Wikipedia. *Lamparas de vapor de sodio de alta presión*. (2016). Obtenido de:
https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_de_vapor_de_sodio

ANEXO 1. PRESUPUESTO

- Análisis económico.

En primer lugar, es preciso realizar una estimación económica del coste de instalación de los lucernarios para tantear su precio.

Los costes de cada unidad de obra se han obtenido de la base de datos del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación) de 2016.

Se considerará para la construcción de la abertura correspondiente a cada lucernario una duración de 3 horas y media por hueco.

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.01	m2	Construcción abertura				
	h	Oficial 1ª carpintería	0,338	16,49	5,574	
	h	Ayudante carpintería	0,338	12,95	4,377	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,014	61,80	0,8652	
	%	Costes directos complementarios	0,02	10,816	0,216	
						11,03

Tabla 69. Cuadro de precios descompuestos para la construcción de la abertura.

Para el acondicionamiento del hueco se estima una duración de 3 horas.

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.02	m2	Acondicionamiento del hueco				
	h	Oficial 1ª carpintería	0,2898	16,49	4,779	
	h	Ayudante carpintería	0,2898	12,95	3,753	
	m	Perfil al universal c/ goma-trap	1,00	8,37	8,37	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,7478	
	%	Costes directos complementarios	0,02	17,65	0,353	
						18,00

Tabla 70. Cuadro de precios descompuestos para el acondicionamiento del hueco.

Para la colocación de los lucernarios se considera una duración de 3 horas.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.03	m2	Acrilamiento policarbonato celular				
	h	Oficial 1ª vidrio	0,2898	12,91	3,741	
	h	Peón ordinario vidrio	0,2898	10,28	2,979	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,7478	
	m2	Placa PC celular opal 10mm	1,00	46,35	46,35	
	%	Costes directos complementarios	0,02	53,818	1,076	
						54,89

Tabla 71. Cuadro de precios descompuestos para la partida de instalación de lucernarios.

Para el soldado de las placas de policarbonato se ha tenido en cuenta una duración de 5 horas.

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.04	m2	Soldado de la placa				
	h	Especialista metal	0,483	14,10	6,81	
	h	Ayudante carpintería	0,483	12,95	6,255	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0201	61,80	1,242	
	%	Costes directos complementarios	0,02	14,307	0,286	
						14,59

Tabla 72. Cuadro de precios descompuestos para el soldado.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.01	m2	Construcción abertura						
	m2	Lucernario	36	4,5	2,3		372,6	
								372,6

Tabla 73. Cuadro de mediciones para la construcción de aberturas.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.02	m2	Acondicionamiento del hueco						
	m2	Lucernario	36	4,5	2,3		372,6	
								372,6

Tabla 74. Cuadro de mediciones para el acondicionamiento de los huecos.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.03	m2	Acrilamiento policarbonato celular						
	m2	Lucernario	36	4,5	2,3		372,6	
								372,6

Tabla 75. Cuadro de mediciones para acristalamiento con policarbonato celular.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.04	m2	Soldado de la placa						
	m2	Lucernario	36	4,5	2,3		372,6	
								372,6

Tabla 76. Cuadro de mediciones para el soldado de las placas.

Cód.	Descripción	Subtotal	Total
01.01	Construcción abertura	4110,52	
01.02	Acondicionamiento del hueco	6706,80	
01.03	Acrilamiento policarbonato celular	20452,01	
01.04	Soldado de la placa	5436,23	
			36705,56

Tabla 77. Cuadro de precios parciales para la instalación de los lucernarios.

Para obtener el presupuesto definitivo se utilizará un 6% de Beneficio industrial, un 15% de Gastos generales y un 21% de IVA.

Presupuesto de ejecución material = 36705,56 €

(49)

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

$$\text{Presupuesto de ejec. por contrata} = \text{PEM} + \text{PEM} \cdot 0,15 + \text{PEM} \cdot 0,06 = 7708,17 \text{ €} \quad (50)$$

$$\text{IVA} = \text{PEC} \cdot 0,21 = 9326,88 \text{ €} \quad (51)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = \text{PEC} + \text{IVA} = 53740,61 \text{ €} \quad (52)$$

Para el correcto mantenimiento de los lucernarios, cada 5 años se deberá de realizar una limpieza de los mismos, por lo que hay que contabilizar el coste de su mantenimiento:

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.01	m2	Mantenimiento de lucernarios				
	h	Peón ordinario construcción	0,1	13,11	1,31	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,748	
	%	Costes directos complementarios	0,02	2,06	0,04	
						2,10

Tabla 78. Cuadro de precios descompuestos para el mantenimiento de lucernarios.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.01	m2	Mantenimiento de lucernarios						
	m2	Lucernarios	36	4,5	2,3		372,6	
								372,6

Tabla 79. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.

Cód.	Descripción	Subtotal	Total
01.01	Mantenimiento de lucernarios	782,46	
			782,46

Tabla 80. Cuadro de precios parciales para la instalación de luminarias.

$$\text{Presupuesto de ejecución material} = 782,46 \text{ €} \quad (19)$$

$$\text{Presupuesto de ejec. por contrata} = \text{PEM} + \text{PEM} \cdot 0,15 + \text{PEM} \cdot 0,06 = 946,78 \text{ €} \quad (20)$$

$$\text{IVA} = \text{PEC} \cdot 0,21 = 198,82 \text{ €} \quad (21)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = \text{PEC} + \text{IVA} = 1145,60 \text{ €} \quad (22)$$

$$\text{Presupuesto base licitación anual} = \frac{\text{PBL}}{5 \text{ años}} = 229,12 \text{ €} \quad (23)$$

Ahora se calculará el coste de instalación de las luminarias:

Cód.	Ud.	Descripción	Rend.	Precio unit.	Subtot.	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias				
	Ud.	Luminaria	1	60,00	60,00	
	h	Oficial 1ª electricidad	0,2898	16,58	4,81	
	h	Peón electricidad	0,2898	13,18	3,82	
	d	Plataforma elevadora tijera	0,0121	61,80	0,748	
	%	Costes directos complementarios	0,02	69,377	1,388	
						70,77

Tabla 81. Cuadro de precios descompuestos para la instalación de luminarias.

Cód.	Ud.	Descripción	N	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
01.01	m2	Instalación de luminarias						
	m2	Luminaria	20				20	
								20

Tabla 82. Cuadro de mediciones para instalación de luminarias.

Cód.	Descripción	Subtotal	Total
01.01	Instalación de luminarias	1415,40	
			1415,40

Tabla 83. Cuadro de precios parciales para la instalación de luminarias.

$$\text{Presupuesto de ejecución material} = 1415,40 \text{ €} \quad (14)$$

$$\text{Presupuesto de ejec. por contrata} = \text{PEM} + \text{PEM} \cdot 0,15 + \text{PEM} \cdot 0,06 = 297,23 \text{ €} \quad (15)$$

$$\text{IVA} = \text{PEC} \cdot 0,21 = 359,65 \text{ €} \quad (16)$$

$$\text{Presupuesto base licitación} = \text{PEC} + \text{IVA} = 2072,28 \text{ €} \quad (17)$$

$$\text{Presupuesto base licitación anual} = \frac{\text{PBL}}{5,7 \text{ años}} = 363,56 \text{ €} \quad (18)$$

ANEXO 2. LUMINARIAS

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

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



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

SDK 102-400 WHC Hallen-Reflektorleuchte mit Natriumdampf-Lampe

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

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

Integrierte Universal-Aluminium-Montageschiene. Anschlußfertig verdreht mit wärmebeständigen Leitungen, fest montierte Schraubanschlußklemme 5 x 4 mm². Leitungseinführung durch Kabelverschraubung PG16. Durchgangsverdrehung über ausbrechbare Öffnung für zweite PG16-Verschraubung möglich.

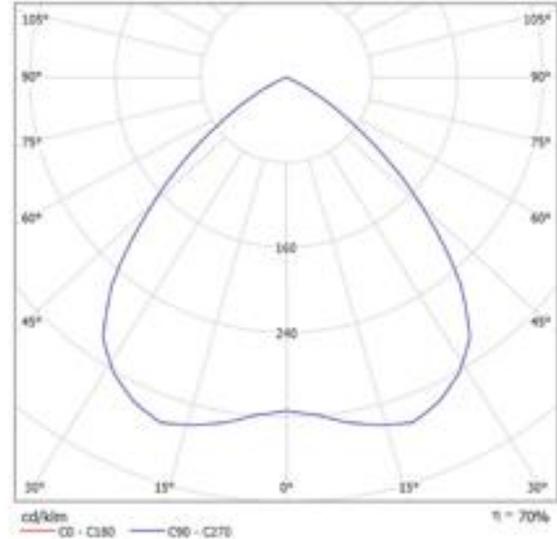
Aluminium-Reflektor semihochglänzend eloxiert, halofelatrahlend. Bajonettverschraubung Aufnahme des rotationsymmetrischen Reflektors.

Offene Ausführung:
Zwangsventilation im Reflektorleuchtenkörper durch ausbrechbare Öffnungen im Kunststoffgehäuse oberhalb der Keramikfassung E 40 erlaubt den Einsatz in Umgebungstemperaturen bis 45°C. Gleichzeitiger Selbstreinigungseffekt durch vertikale Staubableitung.

Geschlossene Ausführung:
Für Umgebungstemperaturen bis 40°C auch wahlweise mit Abdeckung aus temperaturwechselbeständigem Sicherheitsglas mit umlaufender Profildichtung und werkzeuglos bedienbaren Verschlüssen aus rostfreiem Stahl zur Erhöhung der Schutzart auf IP 54.

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

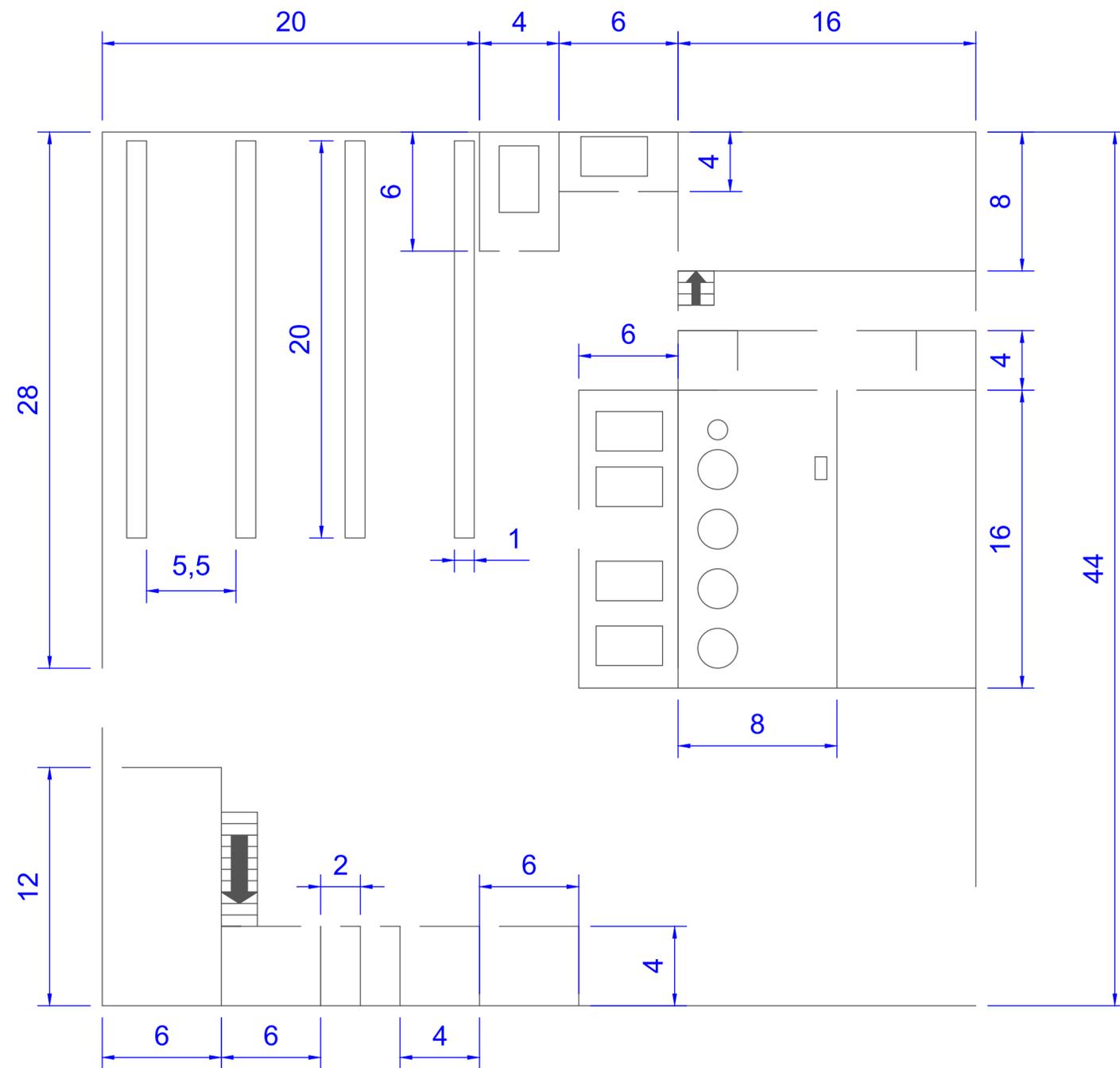
Emission de luz 1:



Emission de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
h	70	70	50	30	30	70	70	50	30	30	
h Techo	90	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
h Paredes	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
h Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del área x y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2m	2x	26,3	27,5	26,8	27,7	27,9	26,3	27,5	26,8	27,7	27,9
	3x	26,4	27,3	26,7	27,5	27,8	26,4	27,3	26,7	27,5	27,8
	4x	26,3	27,2	26,6	27,4	27,7	26,3	27,2	26,6	27,4	27,7
	6x	26,3	27,0	26,6	27,3	27,6	26,3	27,0	26,6	27,3	27,6
	8x	26,2	26,9	26,6	27,2	27,6	26,2	26,9	26,6	27,2	27,6
4m	2x	26,2	26,9	26,5	27,2	27,5	26,2	26,9	26,5	27,2	27,5
	3x	26,0	27,3	26,8	27,5	27,8	26,5	27,3	26,8	27,5	27,8
	4x	26,4	27,0	26,7	27,4	27,7	26,4	27,0	26,7	27,4	27,7
	6x	26,3	26,9	26,7	27,2	27,6	26,3	26,9	26,7	27,2	27,6
	8x	26,2	26,7	26,6	27,1	27,5	26,2	26,7	26,6	27,1	27,5
8m	2x	26,2	26,7	26,6	27,0	27,4	26,2	26,7	26,6	27,0	27,4
	3x	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4
	4x	26,1	26,5	26,6	26,9	27,4	26,1	26,5	26,6	26,9	27,4
	6x	26,1	26,4	26,5	26,8	27,3	26,1	26,4	26,5	26,8	27,3
	8x	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3
12m	2x	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4
	3x	26,1	26,4	26,5	26,8	27,3	26,1	26,4	26,5	26,8	27,3
	4x	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3
	6x	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4	26,2	26,6	26,6	27,0	27,4
	8x	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3	26,0	26,3	26,5	26,8	27,3
Resultado de la posición del espectador para operaciones 1 entre luminarias											
S = 1,0m	+1,1 / -2,2					+1,1 / -2,2					
S = 1,5m	+2,6 / -6,5					+2,6 / -6,5					
S = 2,0m	+4,4 / -11,8					+4,4 / -11,8					
Tamaño estándar	8000					8000					
Sumando de deslumbramiento	6,8					6,8					
Fuente de deslumbramiento completo en relación a 1000lm (tipo luminaire total)											

ANEXO 3. PLANOS



cotas en metros

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALÈNCIA

Abel Pérez Lomando
Autor proyecto

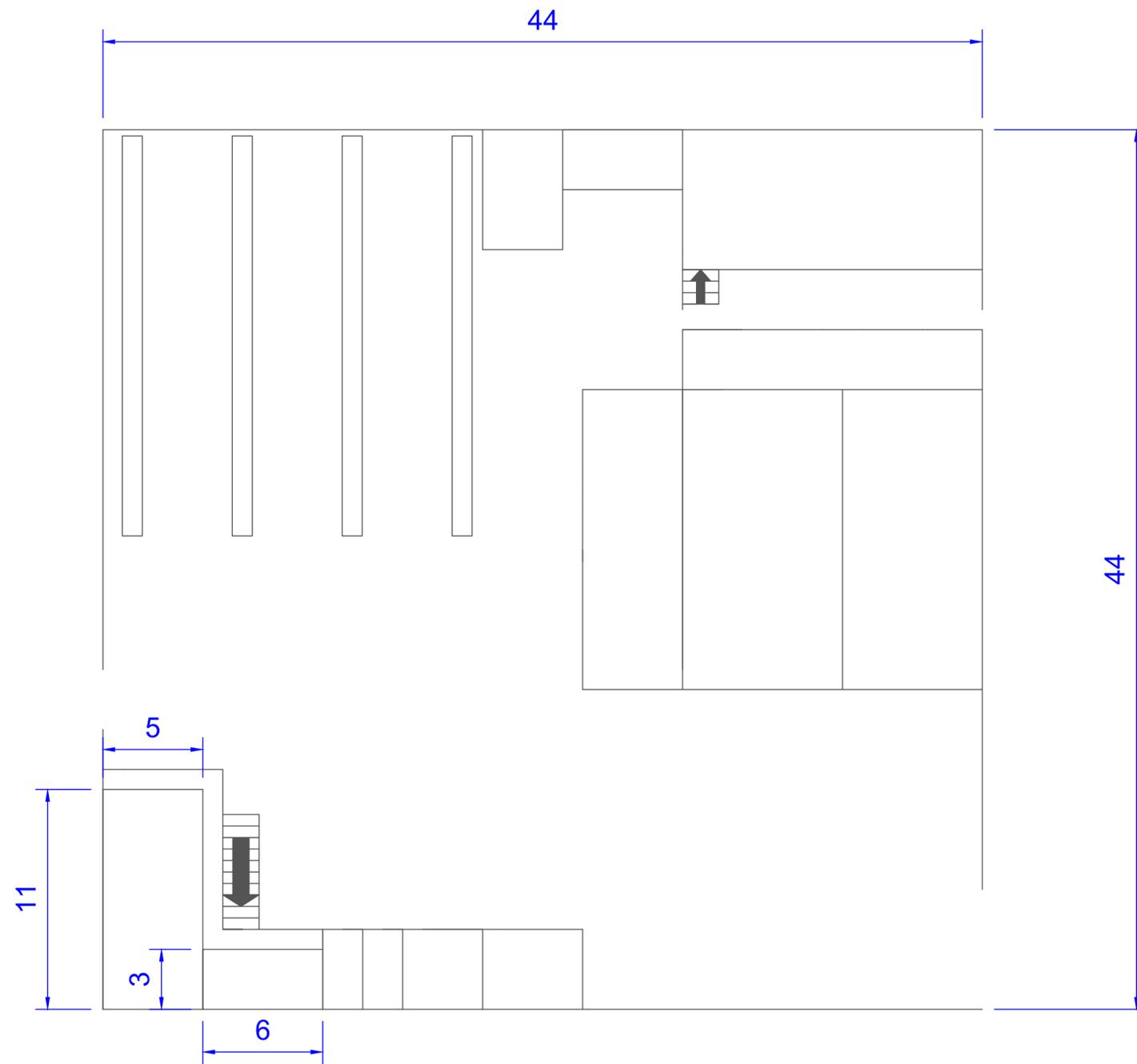
Proyecto: Diseño y simulación de un sistema de iluminación energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la producción de productos cosméticos

Fecha: Diciembre 2016

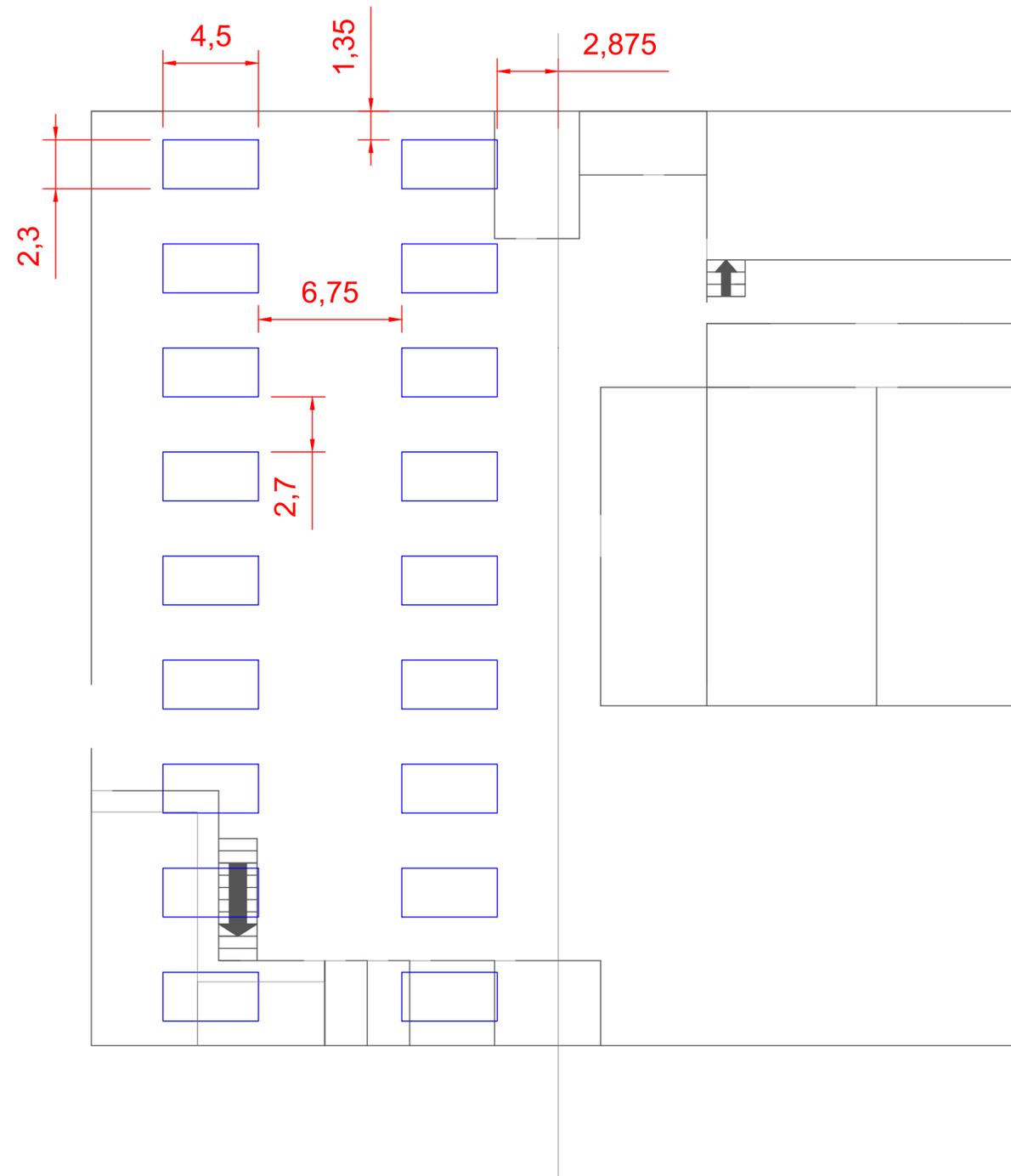
Escala: 1/200

Plano: Estructura. Distribución de planta inferior.

Nº Plano: 1



cotas en metros



cotas en metros