



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA  
PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA  
LIMPIEZA, SELECCIÓN  
Y ENVASADO DE PATATA**

AUTORA: GARCÍA SIMARRO, M<sup>o</sup> PAZ

TUTOR: SANTAMARINA SIURANA, M<sup>o</sup> CRISTINA

**Curso Académico: 2015-16**



## **RESUMEN**

Este Trabajo Final de Grado, tiene como objetivo el estudio del sistema de iluminación natural de una planta industrial destinada a la limpieza, selección y envasado de patatas, de forma que se diseñará un sistema de iluminación artificial para conseguir una mejora de la iluminación energéticamente eficiente y que proporcione un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

En las primeras páginas se presenta la planta estudiada dentro de su contexto productivo, se conocerá brevemente el proceso que se realiza en dichas instalaciones y la estructura del edificio.

A continuación se describirán los diferentes sistemas y tipos de iluminación para poder caracterizar el diseño posterior.

Más adelante se realiza el propio diseño de la mejora de la nave, comenzando por proponer distintas posibilidades que podrían cumplir los requerimientos, diferenciados según la ubicación de las aberturas y tamaño de éstas. Mediante el software DIALux, se simularán todas las propuestas para poder analizar cuál es la que mejor cumple las necesidades lumínicas de la planta.

Para finalizar, se estudiará la viabilidad del proyecto, para conocer en qué casos la instalación de la iluminación natural proporcionará un ahorro que compense la inversión a lo largo de su vida útil.

**Palabras clave:** eficiencia energética, sistema de iluminación natural, artificial y mixta.



## **PRÓLOGO**

Durante los últimos meses como alumna del Grado en Ingeniería Química, cuando aún no tenía claro sobre qué realizar mi Trabajo de Fin de Grado, la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial me despertó un especial interés aun siendo desconocida para mí y totalmente diferente al resto de asignaturas cursadas durante toda mi formación. En ella pude conocer las bases de la construcción, con su correspondiente iluminación y protección contra incendios; como ya he mencionado, dicho campo era para mí totalmente desconocido, aun así la docencia y resultados obtenidos me estimularon a profundizar en esta materia llevándome a realizar este trabajo.

La realización de este proyecto me ha ayudado además a desenvolverme por mí misma dentro del mundo de la ingeniería opuesto a la química, permitiéndome trabajar con normativa y documentación que apenas conocía. Además he podido observar problemas imperceptibles muy comunes en cuanto al diseño la iluminación en las construcciones y sus posibles soluciones, tanto en la base del diseño como posteriormente, a modo de medidas correctivas.

Otro aspecto que ha despertado interés ha sido el estudio de la rentabilidad, pues apenas lo había estudiado previamente y considero que es uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar una inversión en un gran proyecto.

Por último, agradecer a todas las personas que me han acompañado tanto durante mi formación, como durante la realización de este trabajo; mostrando su apoyo en los momentos más tensos. En primer lugar a M<sup>a</sup> Cristina Santamarina, por entusiasmar a los alumnos en su asignatura como lo hace; en segundo lugar a mis compañeros que tantas horas de nervios han pasado conmigo, y por último a mi familia, especialmente a mis padres, sin su apoyo y sacrificio, ni este trabajo, ni mi formación hubieran sido posibles.



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
2.1. El producto: La patata .....	8
2.2. Condiciones de almacenamiento del producto .....	9
2.3. Contexto económico y productivo .....	10
<b>3. PLANTA DE LIMPIEZA, SELECCIÓN Y ALMACÉN .....</b>	<b>12</b>
3.1. Organigrama del proceso realizado en las instalaciones .....	13
3.2. Descripción del proceso y maquinaria .....	14
3.3. Distribución en planta .....	16
3.4. Sistemas estructurales .....	17
<b>4. ILUMINACIÓN .....</b>	<b>18</b>
4.1. Tipos de iluminación .....	18
4.1.1. Iluminación artificial.....	19
4.1.2. Iluminación natural .....	19
4.2. Requerimientos de la planta .....	21
4.3. Método de cálculo.....	21
4.3.1. Método analítico .....	21
4.3.2. Situación de aberturas .....	24
4.3.3. Eficiencia energética.....	24
<b>5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....</b>	<b>26</b>
5.1. Establecimiento de los requerimientos de la planta.....	26
5.2. Estimación de superficie teórica de aberturas.....	27
5.3. Propuestas de sistemas de iluminación natural.....	28
5.3.1. Parámetros generales a introducir en DIALux.....	28
5.3.2. Propuesta 1 .....	30
5.3.3. Propuesta 2 .....	31
5.3.4. Propuesta 3 .....	32
5.3.5. Propuesta 4 .....	33

5.4.	Resultados de las simulaciones .....	34
5.4.1.	<i>Resultados de la propuesta 1</i> .....	35
5.4.2.	<i>Resultados de la propuesta 2</i> .....	38
5.4.3.	<i>Resultados de la propuesta 3</i> .....	40
5.4.4.	<i>Resultados de la propuesta 4</i> .....	42
5.5.	Selección de la propuesta más adecuada .....	44
5.5.1.	<i>Desarrollo de la propuesta seleccionada</i> .....	46
5.6.	Análisis de la iluminación artificial .....	47
5.6.1.	<i>Eficiencia energética de la instalación existente</i> .....	47
5.7.	Eficiencia energética con iluminación natural .....	48
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	<b>49</b>
6.1.	Presupuesto .....	49
6.2.	Balance económico .....	49
6.2.1.	<i>Sistema de iluminación 100% artificial</i> .....	49
6.2.2.	<i>Iluminación mixta</i> .....	54
6.2.3.	<i>Análisis de rentabilidad</i> .....	58
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>61</b>
<b>ANEXO 1.</b>	<b>Presupuestos</b> .....	<b>63</b>
Anexo 1. 1.	Presupuesto de instalación de lucernarios .....	65
Anexo 1. 2.	Presupuesto de mantenimiento de lucernarios.....	67
<b>ANEXO 2.</b>	<b>Luminaria</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXO 3.</b>	<b>Plano</b> .....	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de iluminación media requerida en procesos agrícolas .....	26
Tabla 2. Estimación de superficies de aberturas.....	27
Tabla 3. Ubicación de la planta . .....	28
Tabla 4. Definición del local .....	29
Tabla 5. Factores reflexión del recinto.....	29
Tabla 6. Resultados generales de la Propuesta 1 .....	36
Tabla 7. Resultados por zonas de la Propuesta 1 .....	36
Tabla 8. Resultados generales de la Propuesta 2 .....	39
Tabla 9. Resultados por zonas de la Propuesta 2 .....	39
Tabla 10. Resultados generales de la Propuesta 3 .....	41
Tabla 11. Resultados por zonas de la Propuesta 3 .....	41
Tabla 12. Resultados generales de la Propuesta 4 .....	43
Tabla 13. Resultados por zonas de la Propuesta 4 .....	43
Tabla 14. Valores óptimos a cumplir por el sistema .....	44
Tabla 15. Resumen de resultados de la simulación . .....	44
Tabla 16. Resumen de la Propuesta 1 .....	44
Tabla 17. Resumen de la Propuesta 2 .....	45
Tabla 18. Resumen de la Propuesta 3 .....	45
Tabla 19. Resumen de la Propuesta 4 .....	46
Tabla 20. Resultados de la simulación en DIALuz Light .....	47
Tabla 21. Eficiencia energética del sistema de iluminación .....	47
Tabla 22. VEEI con 100% iluminación artificial .....	48
Tabla 23. VEEI con 25% iluminación artificial .....	48
Tabla 24. VEEI con 10% iluminación artificial .....	48
Tabla 25. Potencias demandadas en la planta.....	49
Tabla 26. Horas de actividad en cada periodo .....	51
Tabla 27. Estimación de la facturación anual.....	52
Tabla 28. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 100% artificial .....	53
Tabla 29. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 100% artificial .....	53
Tabla 30. Presupuestos parcial para renovar las luminarias 100% artificial .....	53
Tabla 31. Presupuesto total para la renovación de luminarias 100% artificial .....	54

Tabla 32. Gasto anual con iluminación 100% artificial .....	54
Tabla 33. Estimación de la facturación anual 25% artificial .....	55
Tabla 34. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 25% artificial .....	55
Tabla 35. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 25% artificial .....	55
Tabla 36. Presupuesto parcial para renovar las luminarias 25% artificial. ....	56
Tabla 37. Presupuesto total para la renovación de luminarias 25% artificial .....	56
Tabla 38. Gasto anual con iluminación 25% artificial.....	56
Tabla 39. Estimación de la facturación anual 10% artificial .....	57
Tabla 40. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 10% artificial .....	57
Tabla 41. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 10% artificial .....	57
Tabla 42. Presupuesto parcial para renovar las luminarias 10% artificial. ....	57
Tabla 43. Presupuesto total para la renovación de luminarias 10% artificial .....	58
Tabla 44. Gasto anual con iluminación 10% artificial.....	58
Tabla 45. Resumen de gastos y ahorro .....	58
Tabla 46. VAN y TIR . ....	59

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Producción media de patata en el mundo. ....	10
Gráfico 2. Histórico de superficie sembrada de patata en España. ....	10
Gráfico 3. Histórico de producción de patata en España.....	11

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sup. tubérculos para Consumo Humano respecto a la Sup. Geográfica Provincial ....	11
Figura 2. Plano general de la planta .....	16
Figura 3. Esquema de distribución en planta .....	16
Figura 4. Tipos de iluminación artificial, según distribución y colocación de las luminarias .....	19
Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas.....	20
Figura 6. Definición factor de ventanas .....	22
Figura 7. Definición factor de reducción ventana-muro .....	23
Figura 8. Reflexiones sobre plano de trabajo.....	23
Figura 9. Modelado de la planta en 3D con DIALux .....	29
Figura 10. Simulación de la Propuesta 1 .....	30
Figura 11. Simulación de la Propuesta 2 .....	31
Figura 12. Simulación de la Propuesta 3. ....	32
Figura 13. Simulación de la Propuesta 4 .....	33
Figura 14. Diferenciación de zonas . ....	34
Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11h en invierno.....	35
Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12h en invierno.....	35
Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12h en verano.....	36
Figura 18. Estudio de deslumbramientos de la propuesta 1 en zona de envasado.....	37
Figura 19. Estudio de deslumbramientos de la propuesta 1 en zona de selección. ....	37
Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11h en invierno.....	38
Figura 21. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12h en invierno.....	38
Figura 22. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12h en verano.....	39
Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11h en invierno.....	40
Figura 24. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12h en invierno.....	40
Figura 25. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12h en verano.....	41
Figura 26. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11h en invierno.....	42
Figura 27. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12h en invierno.....	42
Figura 28. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12h en verano.....	43
Figura 29. Simulación del sistema artificial existente .....	47
Figura 30. Precio por periodos .....	50
Figura 31. Discriminación horaria .....	50



## 1. OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo desarrollado en las páginas sucesivas, es el diseño de un sistema de iluminación natural de una planta industrial destinada a la limpieza, selección y envasado de patata, y para que este diseño sea efectivo se pretenden lograr los siguientes objetivos:

- Diseñar y analizar diversas propuestas de diseño de iluminación natural y realizar una comparativa.
- Utilizar el método analítico para diseñar el sistema que mejor se adapte a las actividades y necesidades de la planta, estudiando limitaciones y ventajas respecto a los sistemas descartados.
- Analizar la eficiencia energética de la iluminación respecto al porcentaje de iluminación artificial utilizada.
- Estudiar y utilizar la normativa vigente en materia de eficiencia energética en instalaciones y saber aplicarla.
- Adquirir destreza en la utilización de software específico para diseño de iluminación natural y artificial de instalaciones.
- Realizar un presupuesto de la instalación del sistema de iluminación natural escogido y estimar el coste de la factura eléctrica.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. El producto: La patata

La patata, *Solanum tuberosum*, es una planta de la familia de las *Solanaceae* cuyo centro de origen más probable se encuentra en Sudamérica, es cultivada en todo el mundo por sus tubérculos comestibles.

Este vegetal llegó a Europa en el siglo XVI junto a otros alimentos descubiertos en lo que se llamó "nuevo mundo".

En un principio la patata no fue apreciada como alimento y fue relegada al consumo de los grupos menos favorecidos económicamente. Con el paso del tiempo, a mediados del siglo XVIII ya se había extendido el cultivo de esta planta por Europa y se empezaron a apreciar sus cualidades gastronómicas y nutricionales, pasando a ser un alimento principal en muchos hogares. Llegando en la actualidad a un consumo medio por persona y año, entre los 42 - 44 kg, con un gran peso en nuestra dieta.

Se denomina patata tanto a la planta como al tubérculo, que es la parte comestible. Se distinguen tres tipos principales: de consumo, feculera y de siembra. Hoy en día existen multitud de variedades y cultivares obtenidos por selección y cruce, lo que favorece entre productores y consumidores la elección de unos u otros dependiendo de las características edáficas de las tierras de cultivo o el tipo de tratamiento gastronómico que se les vaya a realizar a las patatas en cada caso.

La patata es una planta que se adapta perfectamente a climas desde templados a semifríos, desarrollándose óptimamente en condiciones de humedad y temperatura medias. No tolera las bajas temperaturas, helándose por debajo de los 0°C, moderadamente sensible al exceso de humedad y, por tanto, al encharcamiento, tolerante a terrenos blandos y arenosos.

El momento de la recolección lo indican las hojas al volverse amarillentas y quebradizas, momento en que comienzan a secarse. Así, la planta muere al final del ciclo vegetativo, quedando los tubérculos bajo tierra y volviendo a resurgir cuando las condiciones son las adecuadas; también puede multiplicarse por semillas maduras dando lugar a una descendencia de morfología irregular en los tubérculos.

La composición media del tubérculo de distintas variedades es aproximadamente: 78% agua, 16,5% hidratos de carbono, 0,7 % proteínas, 1,5 % fibra, 2,5 % lípidos y 0,8 % cenizas.

En cuanto al valor nutricional, la patata es un alimento rico en hidratos de carbono (almidón principalmente) de fácil digestión, contiene aminoácidos de alto valor biológico, la carga vitamínica responde principalmente a la vitamina C, aunque también contiene vitaminas del grupo B. En la industria se emplea para extraer de ella fécula y almidón, además de para la fabricación de alcohol.

En general es un alimento equilibrado aunque deficiente en minerales y fibra, los cuales están en la piel principalmente y es la porción que se elimina durante su preparación como alimento.

## 2.2. Condiciones de almacenamiento del producto

Tras la recolección del tubérculo, el principal objetivo a cumplir será conseguir una correcta conservación; para ello el proceso de conservación se divide en dos fases, una primera de curado (los primeros 10-15 días) y la propia conservación para permitir el almacenamiento, que se puede extender durante meses si las condiciones son las adecuadas.

La primera fase, el curado, consiste en someter a los tubérculos recién cosechados a un periodo de temperaturas moderadamente altas para favorecer la cicatrización de las heridas a las que haya podido dar lugar la recolección. Dicha maduración, en algunas zonas, es posible debido al propio clima y no es necesario el aporte de fuentes de calor adicionales.

La fase de almacenamiento o conservación estará determinada por el destino que se le vaya a dar a la patata ya que según vayan a ser consumidas en fresco, congeladas, destinadas a la industria del frito, a la del almidón o para elaboración de semillas, las condiciones medioambientales del almacén deberán ser unas u otras.

El factor más determinante durante el periodo de conservación será la temperatura, ya que las variaciones extremas generan cambios en el metabolismo de los tubérculos que siguen siendo órganos vivos, produciendo variaciones en los contenidos de azúcares que en casos como en la industria del frito no serían aconsejables.

Por tanto, los principales factores que determinan una buena conservación de las patatas son temperatura, iluminación, humedad y ventilación.

**Temperatura:** Las temperaturas óptimas de conservación son 10 - 12 °C, pudiendo alcanzarse una buena conservación con temperaturas de hasta 14°C con buena aireación y humedad relativa estable. Además, si se superan los 18 °C, no es conveniente almacenar el producto largos periodos, pues se induce la deshidratación al hacer que aumente su actividad metabólica y el crecimiento de los brotes y el desarrollo de enfermedades.

**Humedad ambiental:** La humedad relativa ambiental siempre debe estar por encima del 85 %, para evitar pérdidas de peso por deshidratación, además de mantener la turgencia y evitar deformaciones; sin embargo, la humedad excesiva puede provocar podredumbres o proliferación de enfermedades.

**Ventilación:** La ventilación tendrá como finalidad eliminar gases perjudiciales para la conservación (CO<sub>2</sub>, etileno, etc.) y desplazar olores y partículas en suspensión (patógenos o polvo), además de introducir aire renovado en oxígeno, necesario para la respiración de la patata a menos de 3 m/s; velocidades superiores favorecerían la desecación y pérdida de peso.

**Iluminación:** La luz provoca el reverdecimiento al inducir la actividad fotosintética de los tubérculos, provocando la acumulación de sustancias indeseables en las patatas de consumo. Para evitarlo, el almacén deberá proteger en la medida de lo posible el contacto directo de las patatas con la luz mediante envases y recipientes cerrados.

Para aumentar el tiempo de conservación, es necesario impedir el brote de yemas, ya sea por métodos químicos o con temperaturas adecuadas que lo inhiban.

### 2.3. Contexto económico y productivo

Se estima que la producción mundial de raíces y tubérculos asciende a 635337 millones de toneladas, de las cuales 31250 corresponden a las zonas de origen en América del Norte, Central y el Caribe, y otras 44986 a Sudamérica. Dentro de estos cultivos, sobresale el de la patata con 28190 millones de toneladas en la primera zona mencionada, y 12000 millones de toneladas en la segunda.

Respecto a la Unión Europea, es España el primer exportador de frutas y hortalizas a nivel continental; pero a nivel mundial, es uno de los tres primeros exportadores junto con las zonas americanas y China.

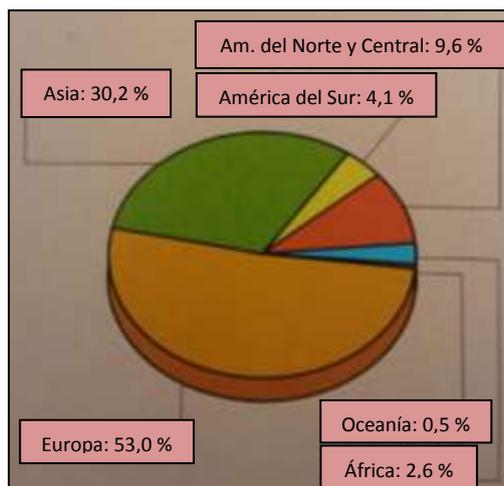


Gráfico 1. Producción media de patata en el mundo (total: 294,83 toneladas)  
(Fuente: Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería).

Desde 2008, el 47% de la producción de frutas y hortalizas se ha destinado a exportación de forma que el sector agroalimentario se ha colocado en el primer subsector en cuanto a exportaciones. Sin embargo, aunque el balance es positivo de forma global, el subsector de la patata (entre otros), presentan una tendencia negativa en los últimos años principalmente por la problemática de comercialización con Francia.

Las importaciones de patata vieja francesa han aumentado un 10,6 % desde septiembre de 2014, lo que ha provocado el desplome de los precios de la patata temprana española al reducirse un 12 % el consumo desde 2008 y hasta un 37 % en los últimos 10 años. Consecuentemente, la superficie de siembra que ya mostraba un descenso, ha mantenido una tendencia negativa del 26 % desde 2004.

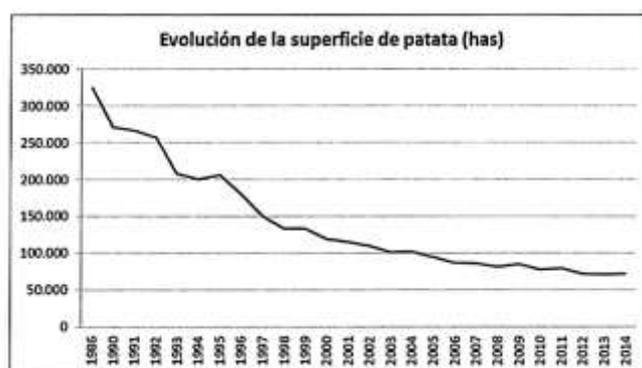


Gráfico 2. Histórico de superficie sembrada de patata en España.  
(Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

En la Península, el clima con cuatro estaciones diferenciadas da lugar a una única cosecha al año, con rendimientos que varían entre los 20000 y 40000 kg/ha; mientras que en la zona del trópico pueden conseguirse hasta dos si llueve lo suficiente.

Aunque los datos desde 2014 indican preferencia en España por la patata vieja importada (entre un 75% procedente de Francia y un 100 % en algunos periodos en las grandes superficies), en los últimos años se tiende a exportar más patata española, pues en el extranjero se reconoce su calidad e incrementa el prestigio.



Gráfico 3. Histórico de producción de patata en España.  
(Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

La superficie dedicada en España al cultivo de frutas y hortalizas en su conjunto es de unas 1.571.000 hectáreas (media 2008-2010), de las cuáles 650.000 hectáreas son de frutos de cáscara. De las restantes 921.000 hectáreas el 38 % corresponde a hortalizas, el 34 % a cítricos y el 28 % a frutales no cítricos, y unas 75.000 hectáreas de patata.

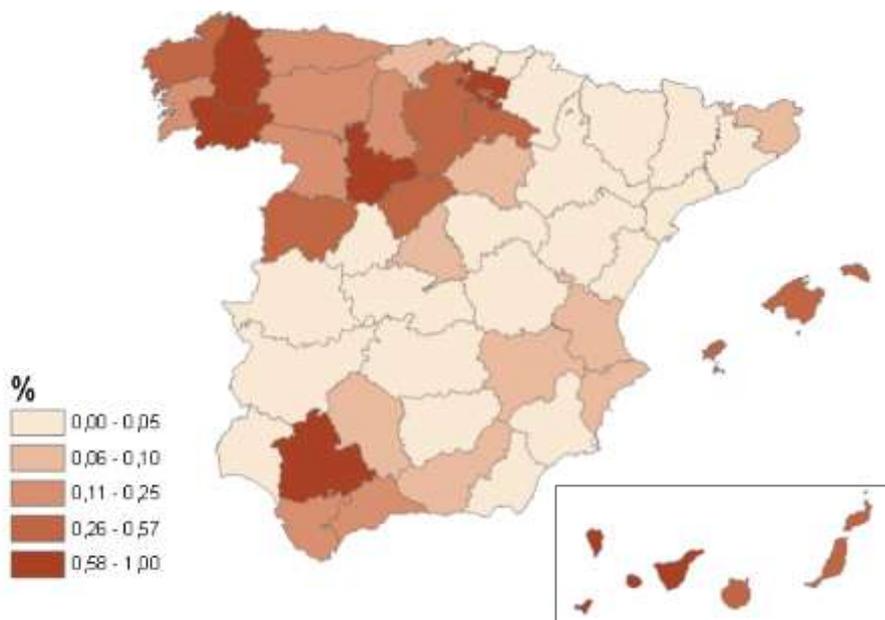


Figura 1. Superficie de tubérculos para Consumo Humano respecto a la Superficie Geográfica Provincial.  
(Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

### 3. PLANTA DE LIMPIEZA, SELECCIÓN Y ALMACÉN

En esta edificación ubicada en Valencia se realizan las actividades de limpieza, selección, almacenaje y envasado de patata tardía destinada a la venta en parte al mercado mayorista y por otra parte a mercados minoristas en envases de menor tamaño, con una producción media anual de 700 toneladas.

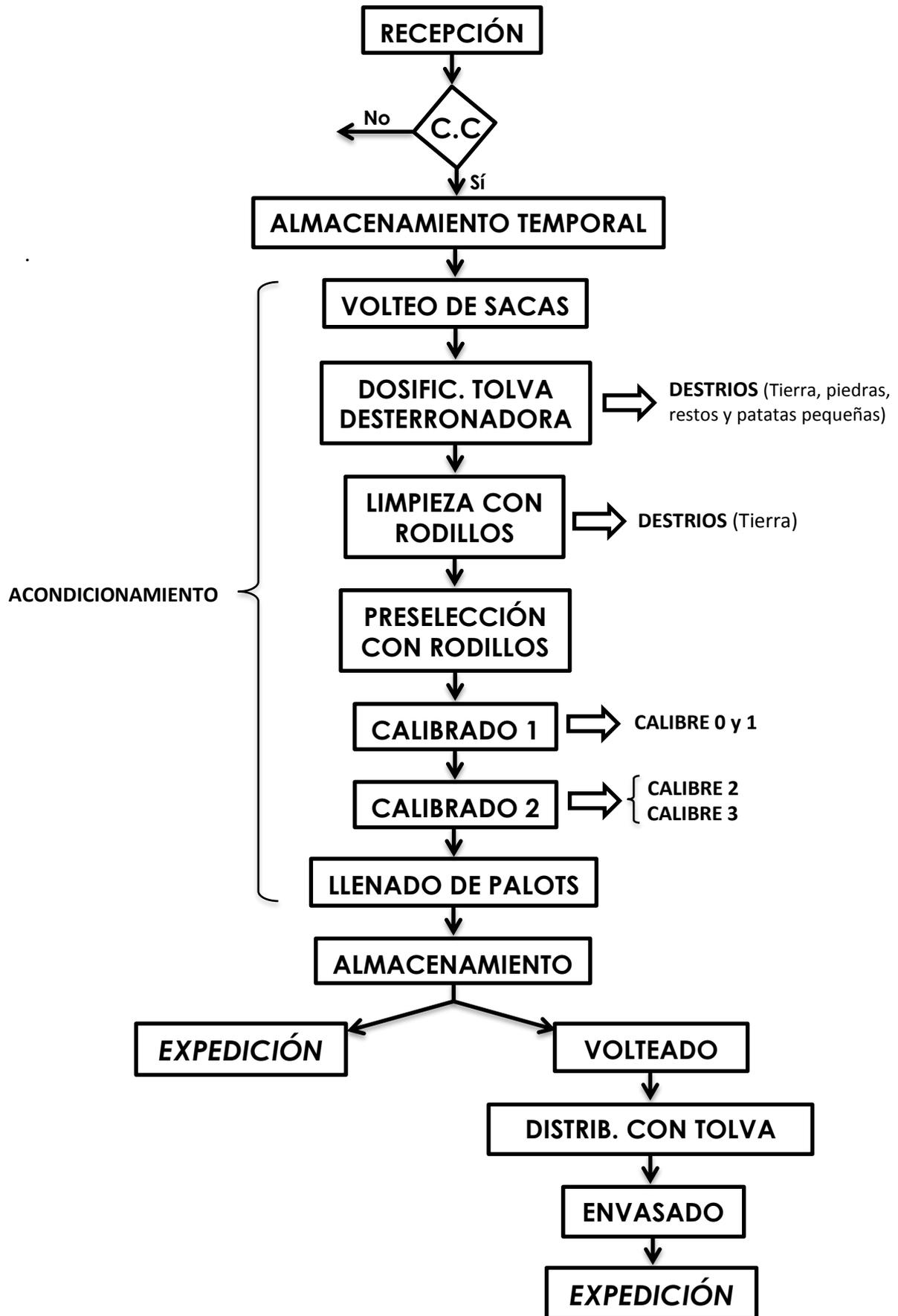
La planta comenzará su actividad en el mes de septiembre, periodo en el que se inicia la recolección de la variedad *Desiree* si las condiciones climáticas son adecuadas.

Las patatas entrarán en remolques con hasta 12 sacas de rafia (big bags) de unos 850 kg de capacidad, cerradas para evitar pérdidas de humedad, daños mecánicos y el contacto con la luz directa. En la misma jornada que se recolecta debe llegar a las instalaciones y comenzar el proceso de limpieza, para lo que sólo se aceptarán papas recolectadas de las poblaciones cercanas.

Durante este periodo de recolección, que puede alargarse hasta finales de octubre, se distinguirá entre almacén de producto sin envasar y almacén de producto envasado (tanto en palots como en sacos de rafia contenidos en palots); posteriormente a la recolección, y una vez manipulado el producto, al no entrar más materia, la planta entera se destinará al almacén para proceder a la expedición del producto una vez procesado. El clima de la zona permite que no se alcancen temperaturas excesivamente bajas y no sean especialmente altas si se mantiene una ventilación adecuada, que también ayudará a controlar la humedad.

Un factor condicionante de la ventilación, es la concentración de industrias cercanas, que según el proceso y actividad que realicen podrían deteriorar la calidad del aire al contaminarlo con sustancias perjudiciales para la patata aun considerando que cumplan la legislación ambiental. Para controlarlo, se dispondrá de filtros en los sistemas de ventilación y un laboratorio que realizará el seguimiento ambiental exhaustivo de la nave.

### 3.1. Organigrama del proceso realizado en las instalaciones



### 3.2. Descripción del proceso y maquinaria

La recolección se realiza de forma manual y generalmente en las primeras horas de la mañana para evitar el contraste térmico en los tubérculos. Las patatas son arrancadas mediante un arado arrastrado por un tractor de forma que quedan los tubérculos repartidos en la superficie de la tierra en forma de hileras.

Las patatas son cargadas en capazos por los operarios y trasvasadas a sacas de rafia (big bags) de unos 850 kg de capacidad que se cargan en una plataforma con capacidad para 12 sacas remolcada por un tractor que trasladará en producto a las instalaciones.

- **Recepción:** El tractor con la plataforma cargada con las doce sacas entrará en las instalaciones por la puerta de acceso de vehículos, ahí esperará a que las sacas sean descargadas mediante una carretilla eléctrica y sean colocadas de forma ordenada en la zona de almacenamiento temporal de la materia prima.
- **Control de calidad:** Antes de aceptar el producto, se realiza un control sanitario general para identificar posibles taras o patologías y así rechazarlas para evitar posibles propagaciones de enfermedades del tubérculo si se almacenaran o introdujeran en la línea de acondicionamiento.
- **Almacén temporal:** Las sacas descargadas que han superado el control sanitario, se almacenan en el suelo, dejando entre ellas y los cerramientos 0,2 metros, y alineando como máximo, 8 de éstas para evitar daños mecánicos en la manipulación. Es importante que permanezcan cerradas, pues la luz puede causar daños al producto.
- **Volteo de sacas:** Una carretilla eléctrica traslada las sacas al primer volcador, lo que supone la entrada de los tubérculos a la línea de acondicionamiento. Esta máquina se encarga de invertir las sacas procedentes de la zona de recepción para vaciarlas en la tolva desterronadora mediante pistones hidráulicos.
- **Tolva desterronadora:** En la tolva se realiza acumulación y distribución uniforme de los tubérculos procedentes del volteador sobre los rodillos, eliminando durante el transcurso parte de la tierra suelta, piedras, hojas o patatas demasiado pequeñas mediante rodillos de goma sobre una banda de goma rotativa que se encarga de recoger las impurezas.
- **Rodillos limpiadores:** La eliminación de la tierra adherida, se realiza por fricción mediante dos sistemas de rodillos de cepillos que giran transversalmente al sentido de avance del flujo de patatas. Por debajo de los rodillos inferiores gira una banda de goma en sentido contrario al avance del producto que recoge los restos de tierra.
- **Rodillos de preselección:** Una banda de rodillos de acero inoxidable transporta los tubérculos desde una orilla a la otra por dos carriles separados por uno central por donde se desechan las patatas defectuosas inspeccionadas de forma manual por los operarios desde ambos lados.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

- **Calibrado:** Mediante transporte por mallas con diferentes tamaños de orificios, se seleccionarán los 3 distintos tamaños. Una malla rotativa con orificios, segregará las patatas de mayor tamaño desviándolas a una cinta transportadora que llenará los palots; las de menor tamaño se cuelan por los orificios y pasan al segundo módulo calibración donde se repetirá el mismo proceso para tamaños menores. Estos tamaños dan lugar a 4 categorías según su diámetro:
  - *Categoría 0: 90 mm o más.*
  - *Categoría 1: entre 65 y 80 mm.*
  - *Categoría 2: entre 45 y 64 mm.*
  - *Categoría 3: entre 33 y 44mm.*
- **Llenado de palots:** Como se ha mencionado, a continuación de las mallas, por transporte horizontal las patatas se irán depositando en palots cúbicos de madera de 1m x 1m x 1m hasta llenarlos.
- **Almacén:** Una vez llenos los palots, se almacenarán en bloques de 5 x 5, con una altura máxima de 4 alturas, llegando a un máximo de 650 kg/bloque, a la espera de ser expedidos tal cual o pasar al envasado. Es conveniente cubrirlos con mallas para evitar daños por la luz directa.

En este punto del proceso, una vez se ha limpiado, seleccionado y dispuesto el producto en palots, se podrá vender directamente a mayoristas en este tipo de envase o en sacos de rafia; para lo que habrá que volver a introducir el producto en la última parte de la línea.

- **Volteado de palots:** El primer elemento necesario para envasado en sacos, será el volcador de los palots ya procesados. Esta máquina invierte los palots mediante pistones hidráulicos para vaciarlos sobre la tolva que dosificará las patatas que se introducirán a la envasadora.
- **Tolva distribuidora:** Las patatas recibidas deben ser trasvasadas y dosificadas ordenadamente a la envasadora mediante la tolva. Sus características son las mismas que las de la tolva desterronadora, salvo que no incorpora sistema de desterronado.
- **Envasadora:** La envasadora será la última máquina por la que pasa el producto. Recibirá los tubérculos provenientes de la tolva distribuidora; mediante un sistema de elevación formado por una banda transportadora de goma dentada, transportará la patata hasta un mecanismo de pesada automática que, mediante un sistema basculante, llenará sacos de rafia de 5 kg y 15 kg, que se colocarán de forma manual en palots nuevamente.

Tras envasar el producto, podrá venderse directamente o almacenarse durante meses según su destino si las condiciones de la planta se mantienen sin variaciones; de ello se encargará el laboratorio, que realizará los análisis tanto ambientales (temperatura, calidad del aire, humedad, etc.) como del producto, para evitar enfermedades o putrefacciones que se puedan propagar por todo el almacén, con las consecuentes pérdidas económicas y de prestigio.

### 3.3. Distribución en planta

La nave a estudiar tiene unas dimensiones de 30 x 45 m (1350 m<sup>2</sup>), detalladas a continuación en la *Figura 1 (Anexo 2)*. En la *Figura 2*, se representa la distribución en planta de la nave en que se realiza el proceso, de modo que el producto entra y sale por la misma zona, recorriendo en orden el almacén temporal de materia prima, la zona dispuesta para el acondicionamiento, el envasado y/o almacén final. Además se dispone de una recepción de personal y materia prima y una zona compartimentada de oficinas, en la que se incluye el laboratorio.

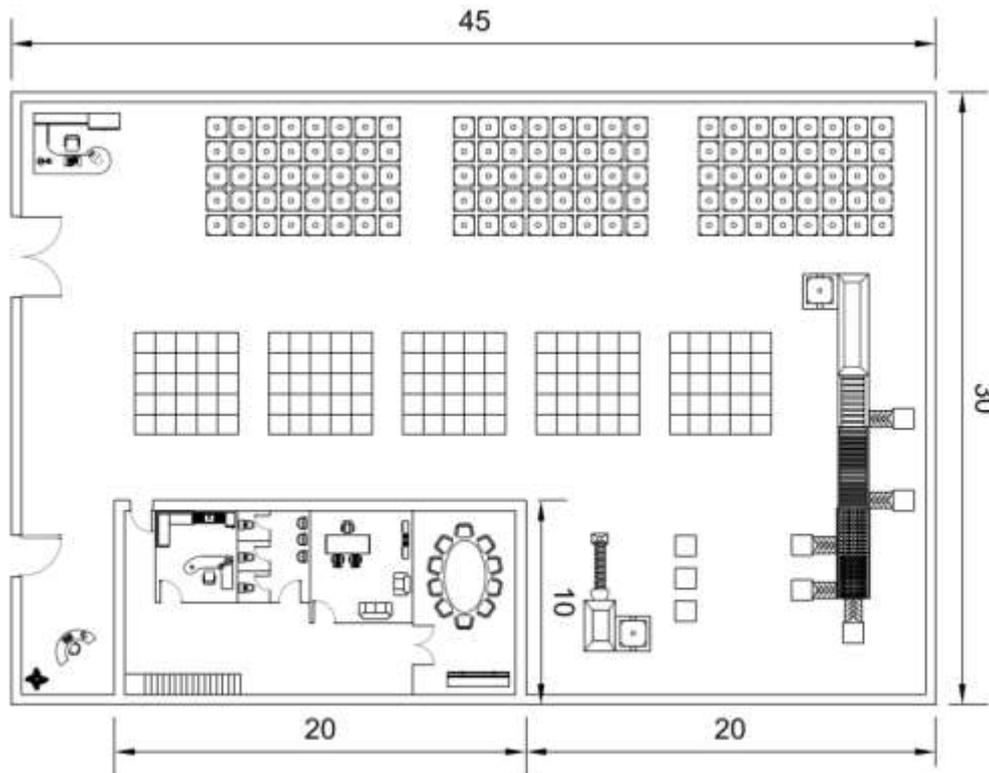


Figura 2. Plano general de la planta

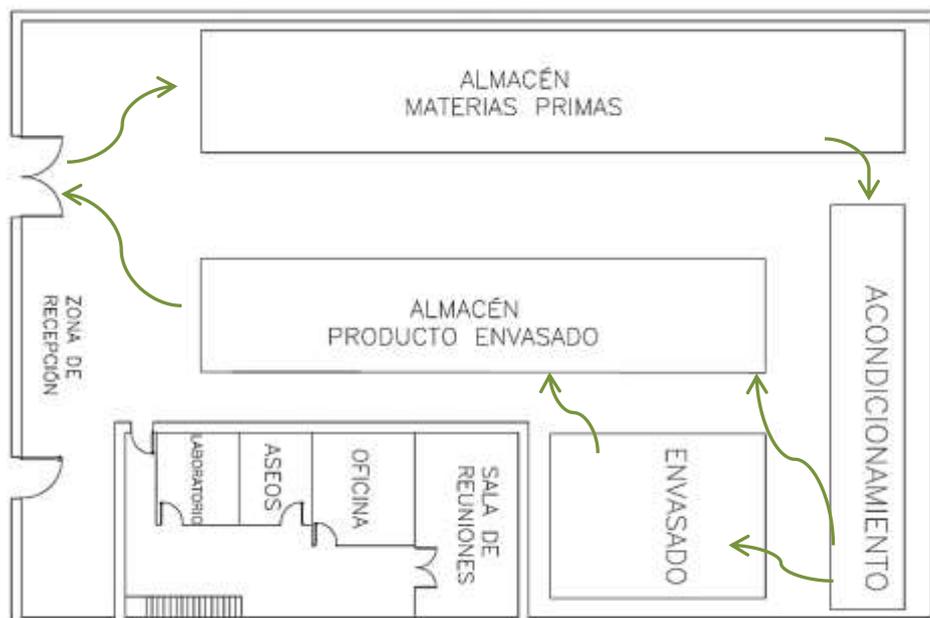


Figura 3. Esquema de distribución en planta

### **3.4. Sistemas estructurales**

La planta tiene unas dimensiones de 30 x 45 m como ya se ha indicado. Se establece una crujía de 5 metros en los pórticos de fachada y 5 metros de distancia entre los pilares. La altura mínima de pilares necesaria, debida al apilamiento de bloques en los almacenes se establece en 6 metros.

Al tratarse de una construcción con más de 25 metros de luz, la nave a está definida por pórticos a base de cerchas tipo Pratt que apoyan sobre pilares, sobre ellas, a su vez apoyarán las vigas o correas que soportan la cubierta, además de los correspondientes contravientos.

Cabe añadir que, con este tipo de edificación, la pendiente de la cubierta será como mínimo de un 15 %, por lo tanto, la altura máxima de cumbrera es de unos 8,25 metros y, en este caso, de tipo no transitable.

La planta estará localizada en una zona de la Comunidad Valenciana en la que los cambios de temperatura no son demasiado extremos durante el periodo de actividad de la planta, así que se opta por una cubierta invertida que dará prioridad a la impermeabilización sobre el aislamiento térmico, de forma que se favorecerá en control de la humedad en el interior de la planta para la conservación del producto.

La cubierta tipo Deck invertida ligera cumple los requisitos del caso de estudio, en la que la chapa que actúa como soporte resistente del resto de materiales protectores y /o aislantes, apoya sobre las correas o vigas de la estructura.

Además, para colaborar con la impermeabilización, hay que diseñar correctamente la evacuación de aguas pluviales. Como se trata de una cubierta a dos aguas, los sistemas de recogida de agua serán horizontales, transportándose a través de los faldones y limatesas hacia los canalones situados en las limahoyas.

Tanto la cubierta como los cerramientos carecen de aberturas para disponer lucernarios, por lo que existe total libertad en cuanto a hipótesis y alternativas de estudio para el diseño de la iluminación natural.

## 4. ILUMINACIÓN

Un diseño eficiente de la iluminación de cualquier construcción, permite optimizar el consumo de energía. Este estudio, debe permitir a los operarios en todos los lugares de trabajo una visibilidad adecuada para que desarrollar su actividad no suponga un riesgo ni de salud, ni de seguridad.

Las características luminosas del ambiente, además de afectar a las funciones visuales fisiológicas, influyen en las psicológicas y motoras. Una deficiente visión y difícil distinción de objetos, aleja al operario del confort, seguridad y satisfacción, como consecuencia de la fatiga visual y malas posiciones para conseguir mejorar su visibilidad.

Los niveles medios de iluminación necesarios dependen del tipo de actividad, según la dificultad para la percepción visual: distancia a los objetos, tamaño, tiempo... Sin embargo, además del nivel de iluminación, se debe comprobar la uniformidad, pues cambios bruscos y deslumbramiento también pueden resultar perjudiciales o molestos.

También se establecen recomendaciones y disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en la OGSHT (aunque ya derogada) o el RD 486/1997. Sin embargo, los valores recomendados tanto para oficinas como para actividades industriales, se especifican más concretamente en el Código Técnico de la Edificación junto con la UNE 12464.1, que aun no siendo específicos para el caso de estudio, permiten estimar los valores necesarios.

### 4.1. Tipos de iluminación

Existen dos tipos principales de iluminación dependiendo del origen de la luz proporcionada:

- **Iluminación natural:** proviene de la luz diurna procedente del sol, que se aprovecha mediante aberturas o aprovechamiento de los rayos reflejados con el objetivo de maximizar el confort visual y para reducir el uso de energía eléctrica. Además permite distinguir los colores sin variaciones. la iluminación natural teniendo en cuenta que no es estable, pues depende de la hora del día y del estado climatológico.
- **Iluminación artificial:** es la provista por una fuente artificial con una distribución espectral que trata de aproximarse a la natural; útil en momentos o lugares de baja iluminación natural o durante periodos de nocturnidad.

La opción intermedia sería **la iluminación mixta**, de modo que se disponga de ambas y la artificial se utilice únicamente cuando con el uso exclusivo de la natural no sea posible alcanzar los niveles medios mínimos necesarios.

Por otra parte, cada tipo de iluminación ya descrito, según la diferenciación de la zona a iluminar, se puede clasificar a su vez en:

- **General:** toda la superficie de trabajo recibe una iluminación repartida uniformemente sobre ella.
- **Localizada:** existen zonas iluminadas específicamente según lo requerido por la actividad que se realice, al no recibir luz suficiente mediante la iluminación general.

#### 4.1.1. Iluminación artificial

En el caso de iluminación artificial, la distribución y tipo de luminaria pueden distinguirse lámparas que proporcionan luz de forma directa, semi-directa, uniforme, semi-indirecta e indirecta, y el nivel de iluminación dependerá además de la potencia de la luminaria instalada.

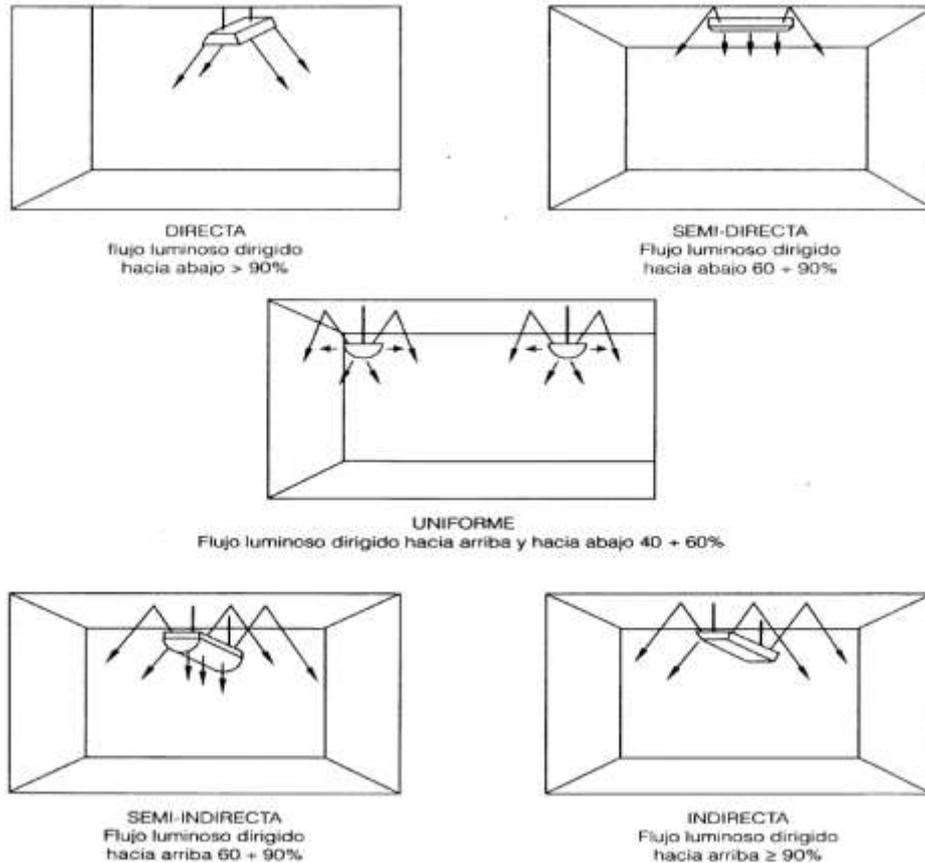


Figura 4. Tipos de iluminación artificial, según distribución y colocación de las luminarias. (Fuente: Apuntes de Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial).

#### 4.1.2. Iluminación natural

Toda actividad humana y especialmente industrial, en la que se realice una labor, el trabajo se debe efectuar, siempre que sea posible, con luz natural procedente del sol. Únicamente si con este alumbrado no se alcanzan las exigencias del sistema productivo o actividad, se recurrirá al alumbrado artificial.

El ahorro económico es una ventaja evidente, pero además, se le suman la calidad de la luz, los beneficios ambientales y las incuestionables ventajas desde el punto de vista fisiológico y psicológico.

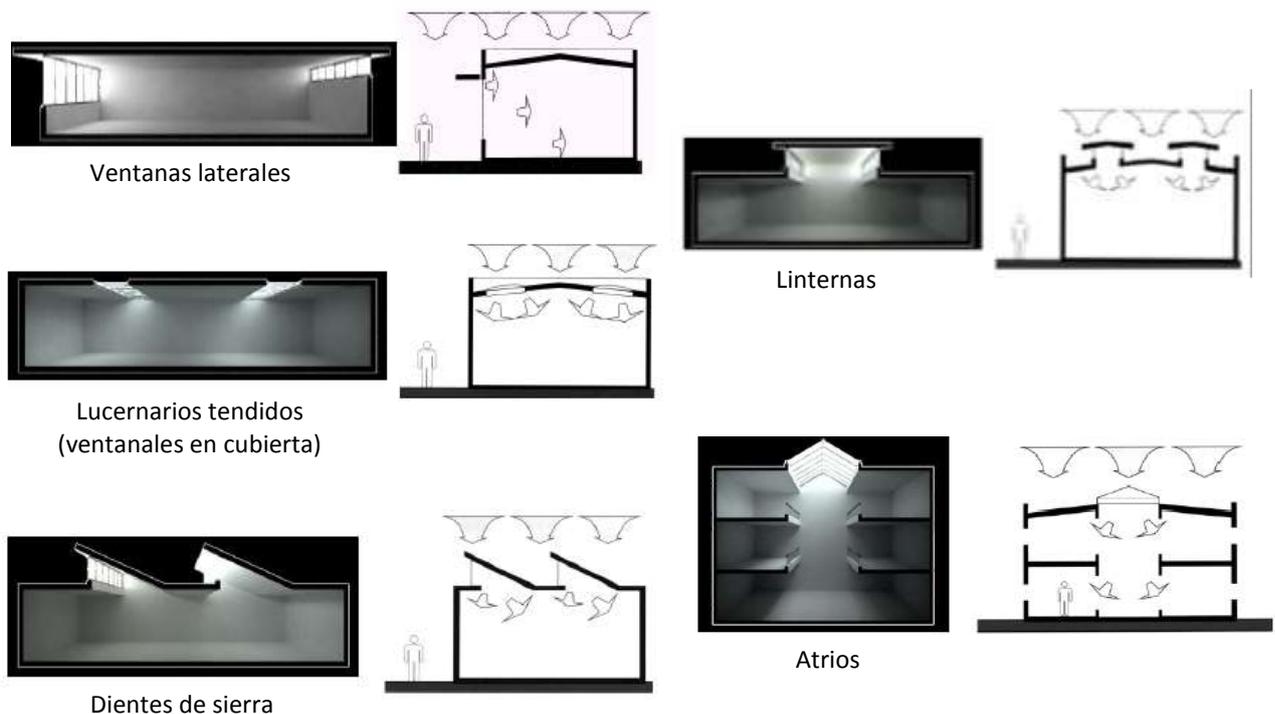
Hay que recordar que esta iluminación no es estable, pues su intensidad depende de la hora del día y del estado climatológico, además de que sólo se puede utilizar en las horas donde exista luz diurna.

Para conseguir un aprovechamiento máximo de la luz diurna, se debe prestar atención al volumen y forma del edificio, así como a los cerramientos y cubiertas, que se verán influidos por la distribución de las superficies de aberturas.

La iluminación que recibe un puesto de trabajo debe de tener con respecto a la horizontal un ángulo superior a 30° para evitar deslumbramientos a los operarios, por lo que según las características de la edificación y proceso, se elegirá un tipo de abertura y ubicación:

- **Lateral:** las aberturas se encuentran en los cerramientos laterales de forma que los puestos cercanos a la ventana reciben mayor radiación directa, a modo de iluminación localizada, a mayor distancia de la ventana la proporción de radiación directa disminuye aumentando la proporción de radiación difusa.
- **Cenital:** las que las aberturas se encuentran en la cubierta, se consigue una mayor distribución generalizada de la luz en el plano de trabajo si están ubicadas correctamente; si la altura es adecuada, es muy difícil que existan deslumbramientos.
- **Combinada:** tal y como indica su nombre, combina elementos de ambas.

Asimismo, todos los sistemas de iluminación se pueden clasificar en tipos principales que se muestran en la *Figura x*:



*Figura 5. Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas.  
(Fuente: Apuntes de Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial).*

La iluminación también es posible mediante claraboyas en caso de pendientes inferiores al 10 % o tubos de luz que dirigen la luz recibida.

La luz que existe en el recinto puede tener como origen la bóveda celeste (directa) o puede producirse por la reflexión de ésta (difusa) en obstáculos, edificios o pavimentos. La proporción entre ambas depende de factores como la existencia de edificaciones colindantes, masas forestales, posición geográfica, posición de la tierra o cambios meteorológicos.

## 4.2. Requerimientos de la planta

Para el proceso de diseño del sistema de iluminación natural lo primero que hay que determinar son los parámetros que se pretenden alcanzar, recurriendo a la normativa y legislación vigente que recoge los requisitos luminotécnicos a cumplir en los espacios de trabajo. Para ellos se estudiarán tres parámetros principales: valor medio de iluminación en el plano de trabajo, uniformidad de la iluminación y deslumbramientos.

**Valor medio de iluminación en el plano de trabajo ( $E_m$ ):** Nivel de iluminación medido en luxes (lúmenes/m<sup>2</sup>) que se pretenden alcanzar en las zonas de trabajo según la tarea a realizar, los valores más adecuados se encuentran en la norma UNE-EN 12464.1 (Norma Europea sobre Iluminación para interiores).

En cada punto contenido en una superficie situada en el plano horizontal a 0,85 m del suelo, el nivel de iluminación se denomina "iluminación horizontal interior en un punto ( $E_i$ )", y con esos valores de distintos puntos obtiene la "iluminación media horizontal interior ( $E_{int}$ )".

**Uniformidad de la iluminación ( $E_{min}/E_{max}$ ):** Relación entre las iluminaciones horizontales mínima y máxima de los puntos del plano horizontal de un puesto de trabajo que determinará si existen contrastes de luz. Este valor tenderá a 0 cuando prácticamente no exista uniformidad, pues existirá gran diferencia entre ambos valores; cuando este parámetro tienda a 1, la uniformidad será óptima, pues apenas existirá diferencia entre los niveles máximo y mínimo.

Para determinar la uniformidad no existe reglamento específico de edificios industriales, pero el CTE (Código Técnico de la Edificación), el OGSHT y el RD 486/1997 indican algunas consideraciones a tener en cuenta, recomendando uniformidades como mínimo del 40 % y evitando variaciones bruscas de iluminación dentro del área de trabajo y entre ella y las zonas de alrededor.

**Deslumbramientos:** Estimar este factor no es claro ni sencillo, y sigue en estudio su estimación, pero de forma aproximada y simplificada, se considera que no existirán deslumbramiento cuando los haces de luz inciden sobre el plano horizontal teórico a la altura del ojo del trabajador con un ángulo superior a 30°.

## 4.3. Método de cálculo

### 4.3.1. Método analítico

Una vez se han definido los parámetros a alcanzar, es decir, el nivel medio de iluminación necesario en la nave y el nivel de iluminación exterior, habrá que determinar la superficie de ventanas requerida para ello.

Con el este método es posible aproximar la superficie de ventanas que es necesario disponer. Se basa en el método del rendimiento del Dr. Fruhling, en el que está basada la norma alemana DIN 5034 para iluminación de recintos, pero con pequeñas modificaciones a modo de adaptación a las características de las edificaciones industriales.

La superficie de ventanales se obtiene de la *ecuación 1*, expresión principal del método:

$$E_m = E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s} \quad (1)$$

Donde:

- $E_m$ : Nivel de iluminación horizontal media deseado en el interior (requerimientos).
- $E_a$ : nivel de iluminación horizontal en el exterior.
- $f$ : factor de ventanas.
- $f'$ : factor característico de reducción ventana-muro.
- $\eta$ : rendimiento del recinto.
- $S_s$ : superficie de suelo del recinto.
- $S_v$ : superficie de ventanas.

**Nivel de iluminación horizontal interior ( $E_m$ ):** Se obtiene de la norma UNE-EN 12464.1 .

**Nivel de iluminación horizontal exterior ( $E_a$ ):** Es la procedente de la bóveda celeste. En el diseño de sistemas de iluminación en edificaciones, se suele asumir un nivel de iluminación difusa sobre la superficie horizontal al aire libre de 3000 luxes a las 9:00h. Sin embargo, es un valor conservador de iluminación, ya que en la ubicación de la planta (Valencia), el día más oscuro del año (10 de diciembre, 10:00 a.m.), se alcanzan los 8553,7 luxes; por lo que hay que tener en cuenta que se trabaja en condiciones conservadoras a la hora de analizar los resultados.

**Factor de ventanas ( $f$ ):** Este parámetro tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que una ventana capta según su disposición en el edificio. Puede tomar valores desde 1, para el caso de lucernarios horizontales a 0,5, en caso de ventanas verticales, variando según la inclinación del plano en que se sitúen. Además, si el acceso de la luz está impedido por edificaciones fronterizas, los valores pueden ser menos del 50 %, según la *ecuación 2*:

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad (2)$$

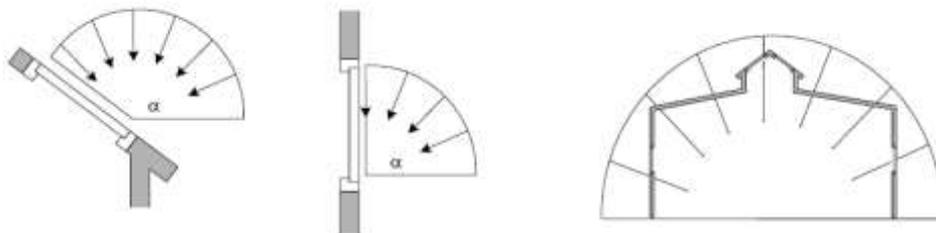


Figura 6. Definición factor de ventanas.

(Fuente: Apuntes de Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial).

**Factor característico de reducción ventana-muro ( $f'$ ):** Este parámetro tiene en cuenta la posible reducción del paso de radiación solar debida al canto del cerramiento de fachada. Considera que a menor relación entre la altura y longitud de la venta y el espesor del cerramiento, respectivamente, mayor es la disminución. Se usarán valores cercanos a 1 para edificios industriales.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

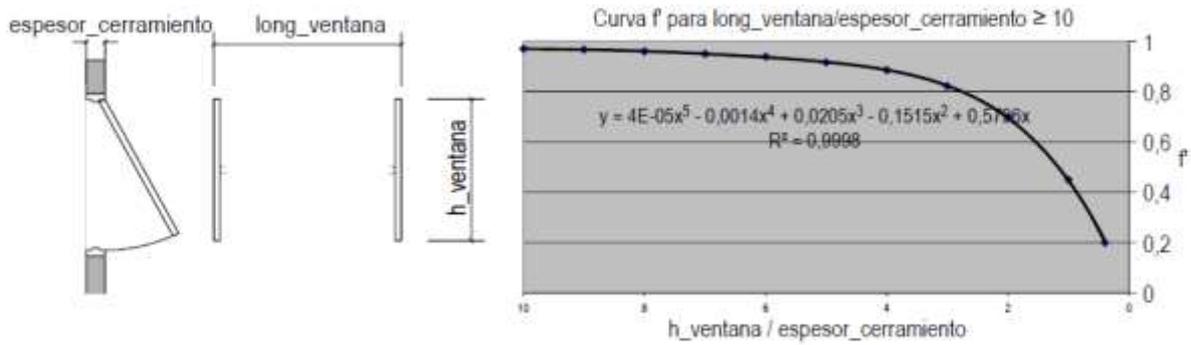


Figura 7. Definición factor de reducción ventana-muro.  
(Fuente: Apuntes de Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial).

**Rendimiento del recinto ( $\eta$ ):** Se trata de un parámetro que considera que solamente una parte de, flujo luminoso que entra por la abertura incide sobre el plano de trabajo, de forma de que el resto incide sobre otras superficies, que a su vez reflejarán parte sobre el plano de trabajo. En recintos rectangulares de materiales especialmente reflectantes, se suelen tomar valores comprendidos entre 40-50 % para paredes claras.

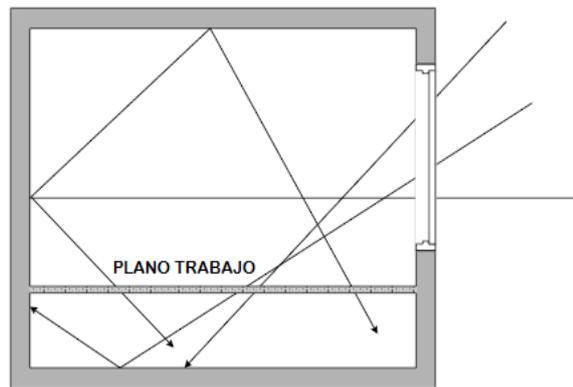


Figura 8. Reflexiones sobre plano de trabajo.  
(Fuente: Apuntes de Poliformat de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial).

**Superficie de suelo ( $S_s$ ):** Es la variable que se refiere la superficie total de la nave o zona a iluminar, sin distinguir distintas zonas por actividad.

**Superficie de ventanas ( $S_v$ ):** Este parámetro será el valor aproximado de la superficie de ventanas necesarias para alcanzar los niveles necesarios de iluminación. Para obtener su valor, como ya se ha indicado previamente, se despeja la incógnita de la ecuación 1, de modo que se obtiene la ecuación 3:

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

La superficie calculada no garantiza que se cumplan los niveles mínimos, pues depende de otros factores y está referida a ventanas de vidrio totalmente transparentes. El material empleado en este caso, policarbonato con grado de transmisión 45%, podría suponer una mayor superficie necesaria al impedir la entrada de parte de la luz.

#### **4.3.2. Situación de aberturas**

Además de la superficie de ventanas o lucernarios necesaria, se debe tener en cuenta la colocación de estos elementos. Una adecuada distribución bien en fachadas laterales (ventanas), bien en cubierta (lucernarios), o combinando ambos tipos, ayudará a conseguir una óptima iluminación y adecuada uniformidad, con menor superficie de aberturas.

Cuanto más centradas y distribuidas se coloquen las aberturas en cerramientos laterales o cubiertas, se maximizarán la iluminación y uniformidad; si se colocan adyacentes a una de las paredes, estos parámetros serán mínimos.

Si existen machones anchos entre ventanas, se verá perjudicada la uniformidad, para evitarlo se recomienda que el borde del cristal esté alejado de paredes perpendiculares a él 1,5 metros como mínimo y que la anchura de dichos machones no supere un cuarto de la anchura de las ventanas.

En cuanto a la altura, cuanto más altas se coloquen sobre el suelo, menor será la iluminación, aunque se aumenta la uniformidad y el punto son iluminación igual a la media horizontal se desplaza hacia el interior del recinto. Además, le ilumina mejor los locales profundos y se llega a puntos más apartados con suficiente ángulo de incidencia (se eliminan ángulos menores a 30° por la situación, evitando sombras alargadas y molestas y deslumbramientos).

Aun así, como ya se ha mencionado, los deslumbramientos de las ventanas siguen siendo motivo de investigación y estudio; sin concretarse un método de evaluación sencillo y universal.

Por último, es recomendable seguir cierta uniformidad o simetría al colocar las aberturas a lo largo de toda la planta o como mínimo, por zonas siempre que sea posible, pues la nave podría cambiar su distribución o incluso cambiar el propietario y/o actividad.

#### **4.3.3. Eficiencia energética**

Tras determinar los valores de iluminación y superficie aproximada de aberturas necesaria, lo próximo a realizar es una simulación de ambiente lumínico en la planta bien manualmente o bien mediante software para obtener los resultados que permiten llevar a cabo el cálculo de eficiencia energética.

El procedimiento de verificación se realiza según está especificado en el CTE, que obliga al uso de iluminación natural siempre y cuando sea posible alcanzar los niveles establecidos necesarios.

El primer paso a realizar en el proceso de verificación, es el cálculo del **valor de eficiencia energética de la instalación** (VEEI) en cada zona, comprobando que no superan los valores límite establecidos. A continuación, se debe realizar una comprobación de la existencia de un sistema de control y regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural. Finalmente, se realiza la verificación de la existencia de un plan de mantenimiento.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

Mediante la *ecuación 4*, se determinará la eficiencia energética de la instalación por cada 100 lux:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (4)$$

Donde:

- **VEEI**: valor de la eficiencia de la instalación por cada 100 lux ( $W/m^2$ ).
- **P**: Potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W).
- **S**: Superficie iluminada ( $m^2$ ).
- **E<sub>m</sub>**: Iluminancia media mantenida (lux).

El número de puntos que como mínimo se deben considerar en el cálculo de la iluminancia media ( $E_m$ ), dependerá del parámetro K, calculado con la *expresión 5*, de modo que:

- Si  $k < 1$  serán necesarios 4 puntos.
- Si  $2 > k \geq 1$  serán necesarios 9 puntos.
- Si  $3 > k \geq 2$  serán necesarios 16 puntos.
- Si  $k > 3$  serán necesarios 25 puntos.

$$K = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)} \quad (5)$$

Donde:

- **L**: longitud del local.
- **A**: anchura del local.
- **H**: distanci del plano de trabajo a las luminarias.

El iluminación natural el valor de VEEI será cero y en iluminación artificial siempre será mayor, por lo que debe reducirse limitando el uso de ésta.

El software DIALux utilizado, a pesar de los resultados obtenidos con este método, utiliza un número de puntos superior al que recomienda la norma.

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Las variaciones en las características de la bóveda celeste determinarán, entre otros aspectos, el aprovechamiento o no de la luz natural dependiendo de las condiciones. Para ello es necesario conocer la localización de la planta, pues la incidencia de los rayos solares dependerá de la ubicación; la edificación a estudiar se ubica en Valencia, latitud 39,59° N y longitud 0,4° O, además se sabe que la fachada principal está girada un ángulo de 30° hacia el este.

En esta zona geográfica se sabe que de la 8760 horas que tiene el año, 4930 son de luz, y que, de ellas, 3416 cuentan con un nivel de iluminación difusa superior o igual a 3000 luxes. A priori, se considera posible utilizar el sistema de iluminación natural, como máximo, un periodo correspondiente al 69,23% del total de las horas de luz diurna.

### 5.1. Establecimiento de los requerimientos de la planta

Para poder proceder con el método anteriormente descrito, se necesita conocer los valores medios de iluminación ( $E_m$ ) requeridos en las distintas zonas según la actividad. Estos valores, como ya se ha indicado, se obtienen de la norma UNE-EN 12646.1; obtenidos en las distintas zonas, se realiza una media ponderada según la *ecuación 6* para estimar el valor medio necesario en la planta con respecto a la superficie total:

$$E_{m,planta} = \frac{\sum E_{m,zona} \cdot S_{zona}}{S_S} \quad (6)$$

Donde:

- $E_{m,planta}$ : intensidad de iluminación media requerida en la planta.
- $E_{m,zona}$ : intensidad de iluminación media requerida en cada zona de actividad.
- $S_{zona}$ : superficie ocupada por cada zona de actividad.
- $S_S$ : superficie de suelo de la planta o zona a iluminar.

*Tabla 1. Valores de iluminación media requerida en procesos agrícolas.  
(Fuente: UNE-EN 12646.1).*

7. Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo				
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>
7.1	Zonas de trabajo en general	200	25	80

Para las labores agroindustriales realizadas en la planta, se consideran **200 lux** en toda la planta al no ser operaciones manuales ni de precisión (a excepción de la zona de oficinas), incluyendo las zonas de paso, ya que la iluminación mínima necesaria para estos espacios es inferior; además, las zonas pueden variar de según la época de producción. Así se asegura el cumplimiento en todo el periodo productivo.

Es importante que no se superen los 2000 lux en las escenas de luz de verano y en la zona de envasado, si en algún punto no se alcanzan los 200 lux, no supondría un problema siempre que se alcancen como mínimo 100 lux, pues el producto está expuesto a la radiación solar.

## 5.2. Estimación de superficie teórica de aberturas.

La superficie mínima necesaria se aproxima, como ya se ha explicado, mediante la *ecuación 1*, a partir de la cual se despejará el valor correspondiente a la superficie de ventanas. Si se quiere realizar una iluminación que combine tanto laterales como cenitales, habrá que modificar ligeramente la expresión mencionada, dando lugar a la *ecuación 7*:

$$E_m = E_a \cdot f_{lateral} \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_{vlateral}}{S_s} + E_a \cdot f_{cenit} \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_{vcenit}}{S_s} \quad (7)$$

Para despejar los términos correspondientes a superficies de aberturas, se van a establecer dos escenarios: considerar iguales ambas superficies, o que la superficie lateral sea el doble que los lucernarios en cubierta.

El tipo de distribución en planta parece indicar que con la iluminación lateral se vayan a producir zonas de sombra al existir bloques de producto almacenados en las zonas centrales de la nave. Sin embargo, habrá que comprobarlo por si fuera posible esta iluminación, ya que su mantenimiento e instalación son más sencillos y evitarían posibles problemas como goteras que pueden aparecer en los lucernarios tendidos de las cubiertas o radiación directa sobre el producto.

Por ellos se van a realizar varias propuestas, para realizar una comparativa y seleccionar la más adecuada:

- *Iluminación exclusivamente cenital* → **PROPUESTA 1**
- *Iluminación mixta con misma superficie de ventana* → **PROPUESTA 2**
- *Iluminación exclusivamente cenital* → **PROPUESTA 3 y PROPUESTA 4**

En el caso de estudio, se ha trabajado con un nivel de iluminación horizontal media de 4000 luxes en invierno, algo más restrictivo que los 3000 luxes generalmente utilizados, ya que unas aberturas demasiado grandes podrían producir aumentos de temperatura excesivos e iluminaciones extremadamente altas en las épocas de más calor, dañando el producto y causando malestar a los operarios. Se considerará adecuado el diseño, si con él no se superan los 2000 luxes en ningún punto del interior de la planta en la fecha de más iluminada del año.

Tabla 2. Estimación de superficies de aberturas

	$E_m$	$E_a$	$f$	$f'$	$\eta$	$S_s$ (m <sup>2</sup> )	$S_v$ (m <sup>2</sup> )
<b>PROPUESTA 1</b>	200	4000	0,5	1	0,5	1350	<b>270,00</b>
<b>PROPUESTA 2</b>	200	4000	0,5 - 0,9526	1	0,5	1350	<b>185,87</b>
<b>PROPUESTA 3</b>	200	4000	0,9526	1	0,5	1350	<b>141,72</b>
<b>PROPUESTA 4</b>	200	4000	0,9526	1	0,5	1350	<b>141,72</b>

Estos valores, indican la superficie mínima necesaria para intentar alcanzar los requerimientos de la planta según el tipo de aberturas a realizar. Aun cumpliendo estas dimensiones, no se asegura que se consigan los niveles necesarios en el interior, ya se ha indicado que el cálculo es aproximado y la iluminación solar no es estable.

### 5.3. Propuestas de sistemas de iluminación natural

La presentación y estudio de propuestas se realizará mediante el programa DIALux, que previa introducción de parámetros y elementos que definan la planta al completo y sus requerimientos. Es conveniente introducir objetos y maquinaria de forma aproximada, pues la existencia de obstáculos puede modificar la iluminación mediante sombrar o reflexiones; sin embargo, una simulación con demasiado detalle de objetos ralentizará considerablemente el programa sin obtener resultados muy diferentes.

Son necesarios además, datos correspondientes a la fecha y la hora en que se quiere estudiar la iluminación, pues hay que recordar que los valores dependen, entre otros de la fecha y hora del día.

Para optimizar el aprovechamiento de energía y reducir el consumo eléctrico, se van a escoger fechas de extremos opuestos del año; la fecha de menos horas de luz (21 de diciembre) a las 11:00 h y 12:00 h, dado que a esa hora se debe poder prescindir de luz artificial, y el día de más horas de luz (23 de junio) a las 12:00 h. En ésta última fecha hay que prestar especial atención a los niveles excesivos de iluminación, pues podrían alcanzar niveles molestos.

Es aconsejable recordar y cumplir, en la medida de lo posible, los siguientes aspectos en cuanto a la disposición de las ventanas:

- **Ventanas altas y con poca altura de pared sobre el dintel:** A mayor altura, mayor uniformidad se consigue, además, como ya se ha explicado se iluminan mejor los locales profundos.
- **Centradas en la pared que se ubican:** Se aconseja centrarlas lo máximos posible para aprovechar la luz al máximo, guardando las distancias anteriormente establecidas.

La actividad y tipo de planta determinará realmente la mejor forma de distribución, pues estos aspectos son simples consejos generales que no servirán en algunas plantas.

#### 5.3.1. Parámetros generales a introducir en DIALux

##### DATOS DEL PROYECTO:

*Tabla 3. Ubicación de la planta*

Municipio	Valencia
Latitud	39,59° N
Longitud	0,4° O

Estos valores serán claves a la hora de que el programa simule la cantidad de luz en cada periodo al depender de la posición geográfica.

#### DATOS DEL LOCAL:

Tabla 4. Definición del local

<b>Longitud</b>	<b>45 m</b>
<b>Anchura</b>	<b>30 m</b>
<b>Altura</b>	<b>8,25 m</b>
<b>Orientación hacia el norte</b>	<b>60°</b>

Tabla 5. Factores reflexión del recinto

<b>Factor de degradación</b>	<b>0,5</b>
<b>Reflexión paredes</b>	<b>70 %</b>
<b>Reflexión techo</b>	<b>70 %</b>
<b>Reflexión suelo</b>	<b>27 %</b>

Los cerramientos tanto laterales como de cubiertas, al ser de metal pintado tienen mayor grado de reflexión que el suelo, que al ser de hormigón disminuye considerablemente. Además, se considera un factor de degradación de 0,5 ya que se trata de un local interior de alta contaminación (tierra, polvo, etc.).

#### DATOS DEL MAQUINARIA:

La maquinaria y bloques de almacenamiento se van a modelar según los planos de distribución de forma simplificada para ahorrar cálculos innecesarios y tiempos excesivos si se emplean demasiadas superficies de cálculo. En la maquinaria metálica, se han empleado coeficientes de reflexión comprendidos entre el **50 y 60 %**, porque aun siendo de metal poseerán gran cantidad de tierra adherida; para los bloques de almacenamiento este coeficiente estará en torno al **40 y 50 %**, por los materiales empleados.

#### PLANO DE TRABAJO (PLANO ÚTIL):

La iluminación se estudiará para el plano horizontal situado a 0,85 m; plano considerado de trabajo, que lo sitúa el propio software por defecto. Posteriormente los deslumbramientos se estudiarán a la altura del plano de visión de los diferentes trabajadores.

#### ESCENAS DE LUZ:

Las horas y fechas a las que se realizará la simulación son las antes establecidas, de forma que si el día de menos luz solar la planta cubre con los requerimientos, se considera que para el resto también lo hará. Análogamente, si el día de mayor nivel de iluminación procedente del sol no se supera el umbral que se considera molesto, los demás días tampoco lo harán.

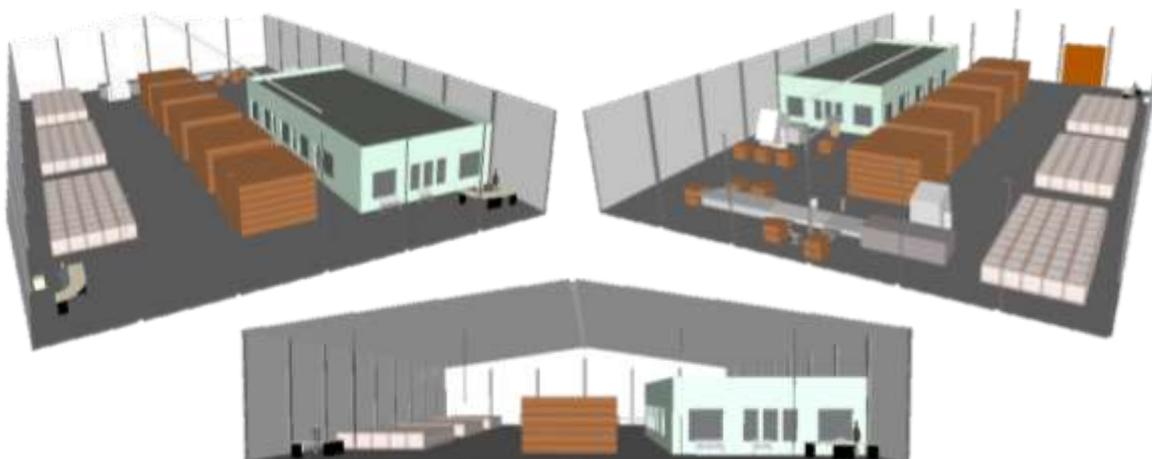


Figura 9. Modelado de la planta en 3D con DIALux

### 5.3.2. Propuesta 1

La primera propuesta a estudiar consistirá en un sistema de iluminación exclusivamente por ventanas laterales, ya que si es posible utilizar este sistema, es más económico que los lucernarios en cubiertas, tanto en instalación como en mantenimiento. Además de evitar la incidencia de luz directa sobre las partes altas de las zonas de almacenamiento, al ser las zonas críticas donde el producto podría sufrir daños.

Para alcanzar la superficie de ventanas necesaria ( $270 \text{ m}^2$ ), ha sido necesario distribuir las aberturas por todos los cerramientos, sin establecer diferencias según orientación. Las aberturas definidas son las siguientes:

- **29 ventanales de 4 x 2,75 m centradas entre pilares a 3,125 m de altura.**
- **1 ventanal de 4 x 1,5 m sobre la puerta de acceso con vehículos.**

Con estas dimensiones se alcanza un superficie total de  $325 \text{ m}^2$  de ventanas, aprovechando al máximo la superficie disponible y ubicándolas lo más altas posible para intentar evitar deslumbramientos en la medida de lo posible.



Figura 10. Simulación de la Propuesta 1

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

### 5.3.3. Propuesta 2

En el caso de la segunda propuesta, el sistema será mixto. Se van a introducir las aberturas cenitales, mediante lucernarios tendidos para intentar alcanzar una mejor uniformidad; aun así, no se van a sustituir los laterales.

Para su distribución se ha procurado que la superficie de ambos tipos de aberturas sea aproximadamente la misma, de forma que las aberturas realizadas son las siguientes:

- **18 ventanales de 3 x 2 m centradas entre pilares a 3,85 m de altura en los cerramientos laterales (este y oeste).**
- **2 lucernarios de 35 x 2 m centrados en los faldones.**

La superficie total de aberturas es de 248 m<sup>2</sup> en esta propuesta, superior a los 185 m<sup>2</sup> estimados como mínimo.

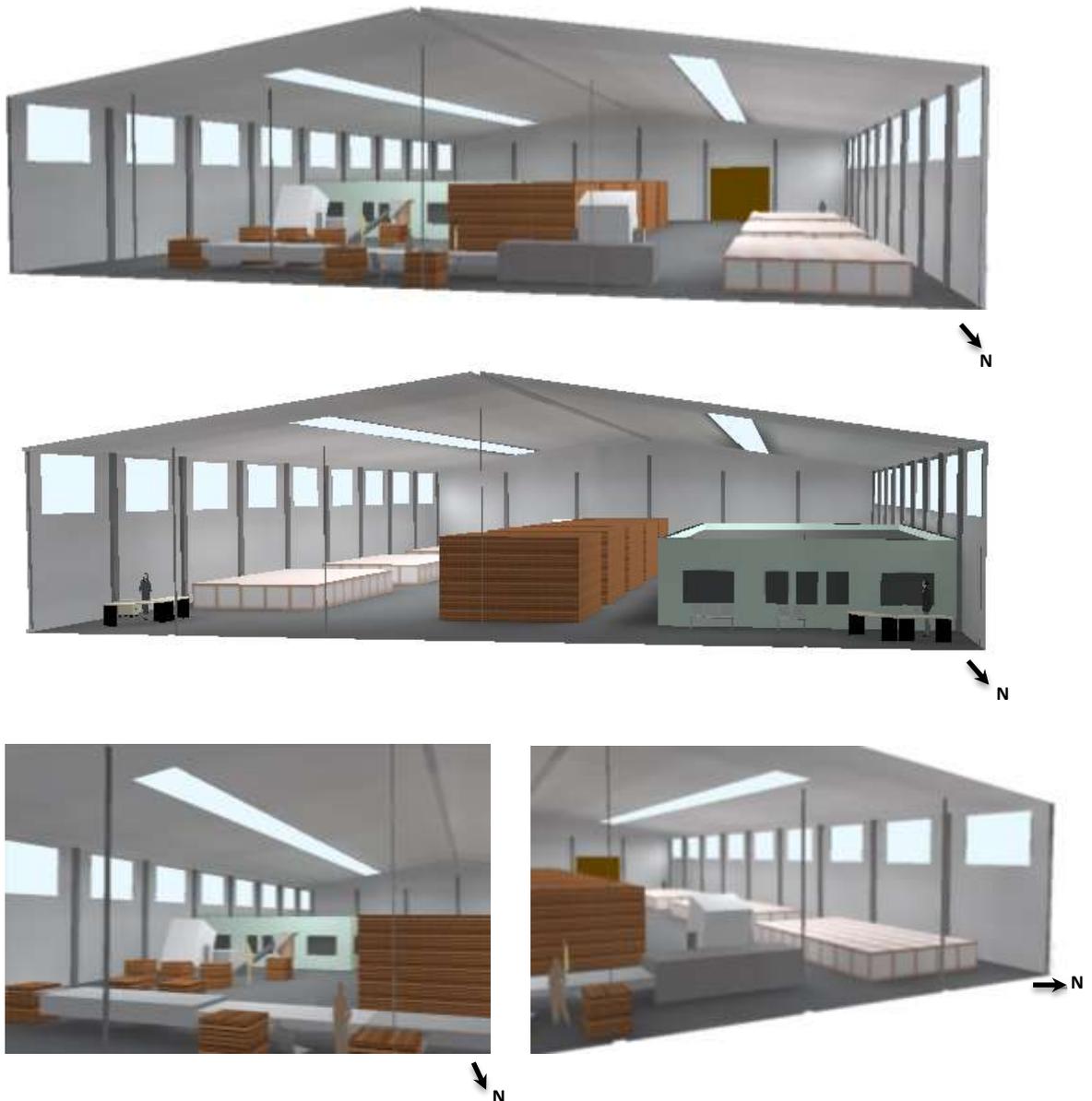


Figura 11. Simulación de la Propuesta 2

### 5.3.4. Propuesta 3

La tercera propuesta va a constar únicamente de aberturas cenitales, por si las laterales nos produjeran deslumbramientos o no se consiguiera suficiente uniformidad, al existir zonas de almacén con bloques apilados que pueden actuar como obstáculo a la entrada de luz lateral. Para ello se dispondrán los siguientes lucernarios:

- **8 lucernarios de 1,75 x 12 metros paralelos a los pórticos, distribuidos simétricamente 4 en cada faldón de la cubierta.**

Con esta distribución se consiguen 168 m<sup>2</sup>, ligeramente superior a la que se había estimado necesaria.

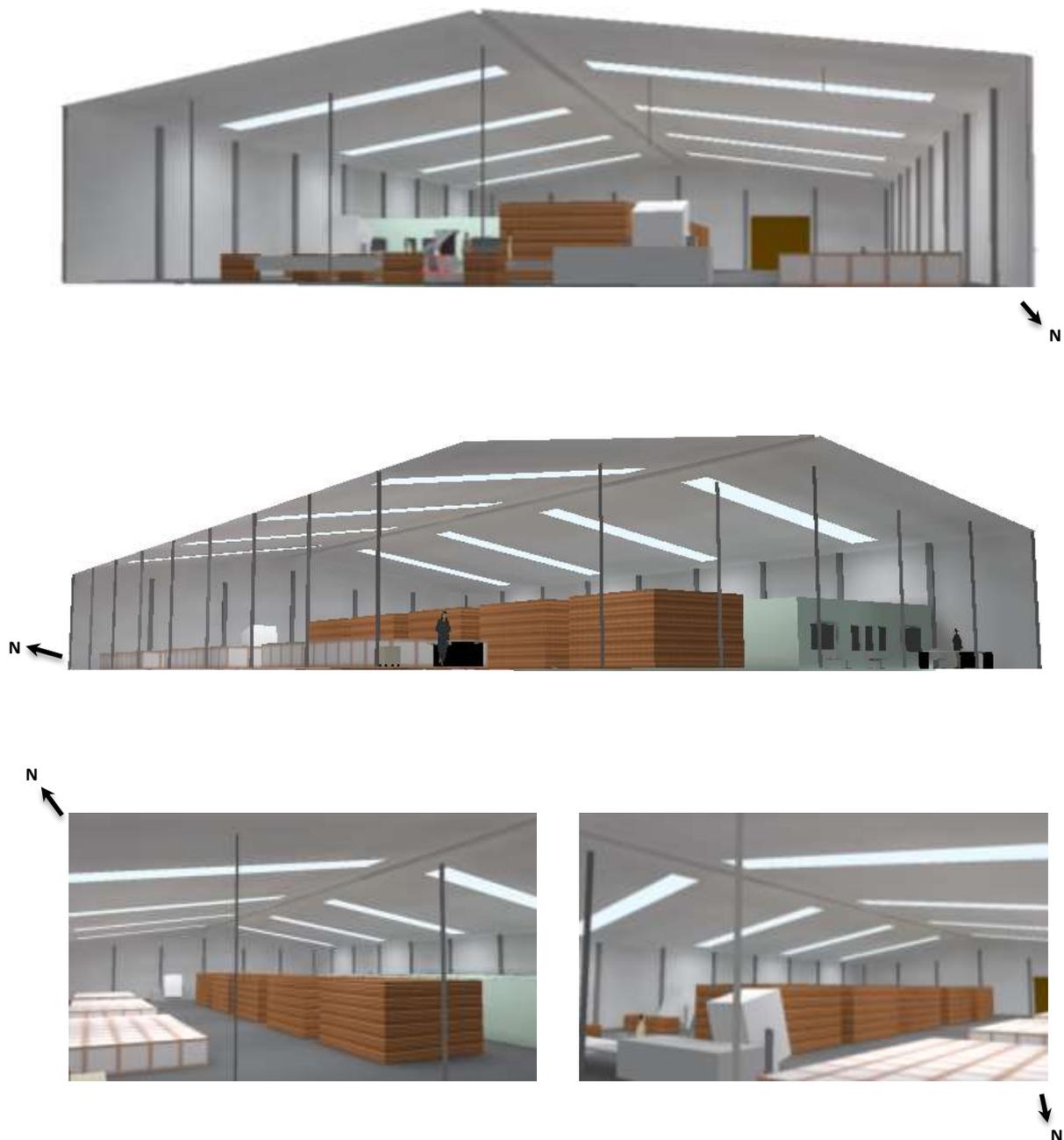


Figura 12. Simulación de la Propuesta 3

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

### 5.3.5. Propuesta 4

La propuesta 4 es bastante similar a la propuesta 3, se trata de iluminación exclusivamente cenital modificando ligeramente las dimensiones y orientación de las aberturas, quedando del siguiente modo:

- **8 lucernarios de 15 x 1,5 m perpendiculares a los pórticos.**

La superficie de ventanas conseguida en este caso asciende a 180 m<sup>2</sup>, ligeramente superior a la calculada.

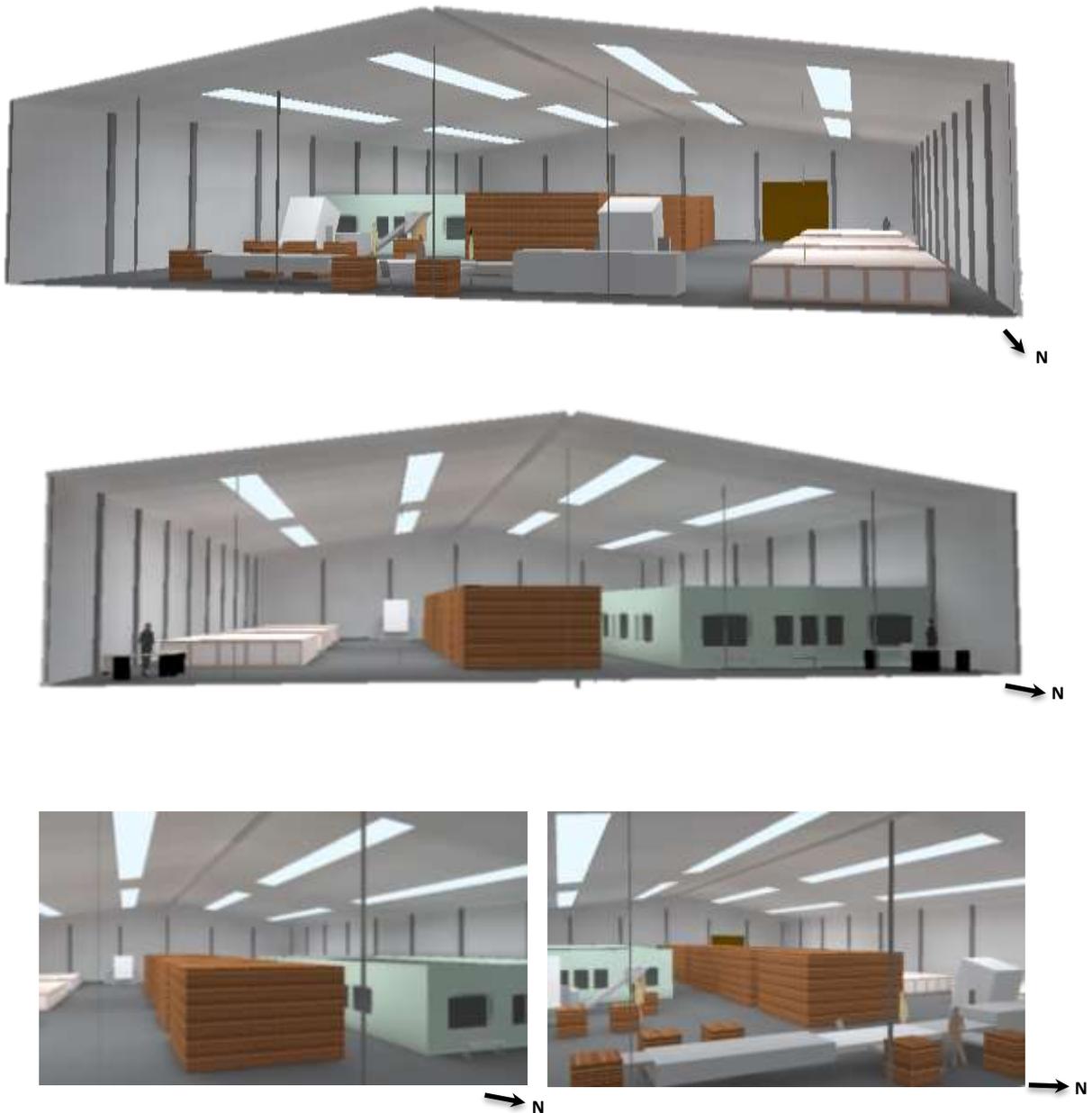


Figura 13. Simulación de la Propuesta 4

## 5.4. Resultados de las simulaciones

Una vez se hayan introducido todos los elementos y características de la planta, se procederá a simular las distintas propuestas mediante DIALux, que proporcionará los datos correspondientes a casa sistema para poder realizar la comparación y elección del sistema que mejor se adapte a las necesidades lumínicas.

El software proporciona valores de iluminación mínima, máxima y media, así como las relaciones entre ellas que determinan la uniformidad; sin embargo, habrá que tener en cuenta los deslumbramientos.

Respecto al estudio de los deslumbramientos, no se obtiene ningún valor. Esto implica analizarlo de forma cualitativa insertando figuras humanas en las simulaciones que servirán como aproximaciones para estimar el ángulo de incidencia de la luz sobre el ojo de cada operario. Esta operación sólo será necesaria en lucernarios laterales, pues con los cenitales dicho ángulo siempre será superior a 30°.

Para analizar los resultados de forma más objetiva, la planta se ha dividido en dos zonas sin analizar la iluminación en la zona de servicios auxiliares y laboratorio, pues se considera un bloque separado:

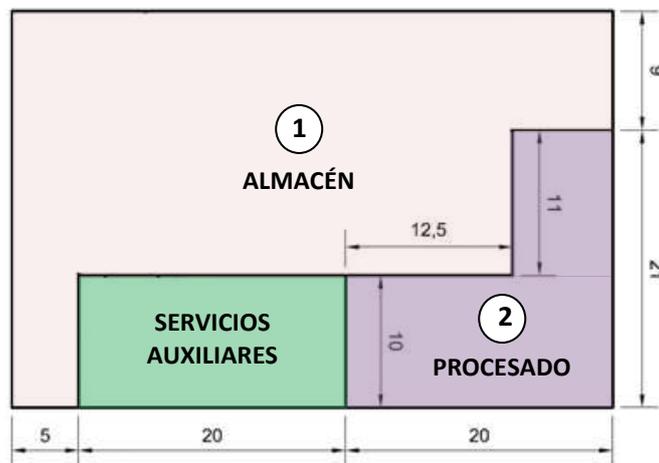


Figura 14. Diferenciación de zonas

En el cálculo de iluminación mínima necesaria se había considerado una zona unificada. Sin embargo, en este punto es conveniente dividir la planta en varias zonas aun teniendo los mismos requerimientos mínimos, pues una zona demasiado grande proporciona niveles muy dispares de iluminación y no se puede apreciar en qué zona se alcanzan los niveles y en cuales no, lo que también influirá en la uniformidad global.

En la zona de almacenamiento, es necesario alcanzar el nivel mínimo de 200 lux establecido, pues se manipulan grandes bloques de producto que mal colocados podrían derrumbar el bloque o producir accidentes laborales. Por otra parte, en la zona de procesado, si en algún punto no se alcanzasen los 200 lux, se considerará correcto siempre que se alcancen 100 lux, pues es una zona en la que el producto no tiene ningún tipo de protección y es preferible que el nivel sea ligeramente inferior al establecido a que sea excesivamente alto.

### 5.4.1. Resultados de la propuesta 1

Los resultados luminotécnicos obtenidos mediante la simulación de la propuesta 1 para las 3 escenas de luz descritas son los siguientes:

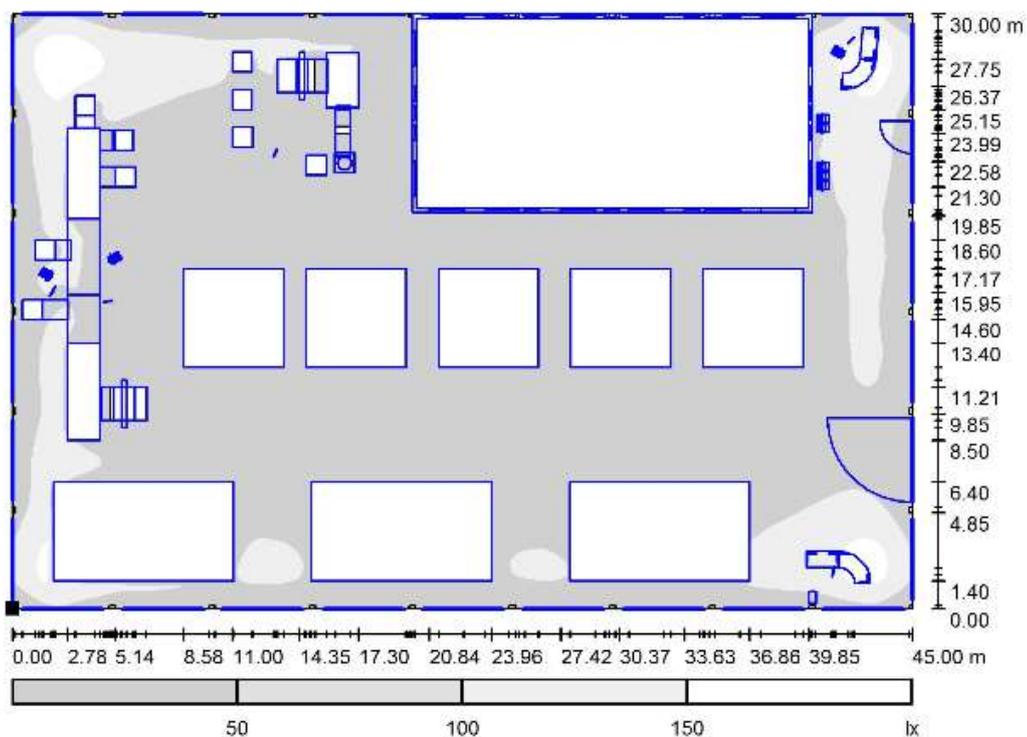


Figura 15. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 11:00h en invierno

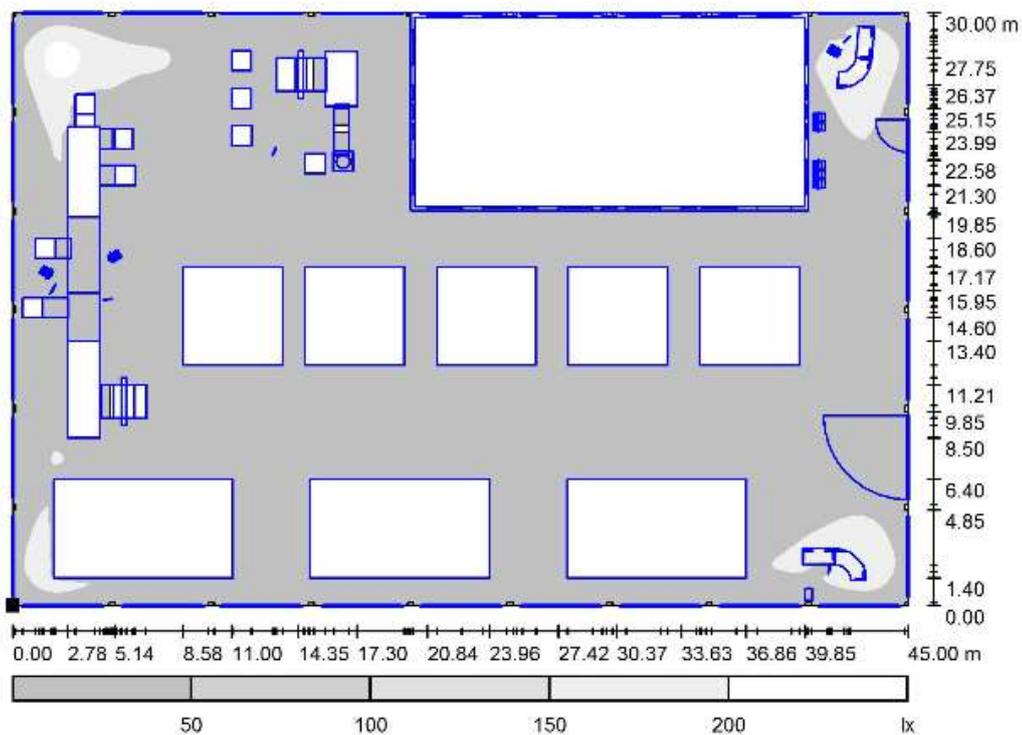


Figura 16. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h en invierno

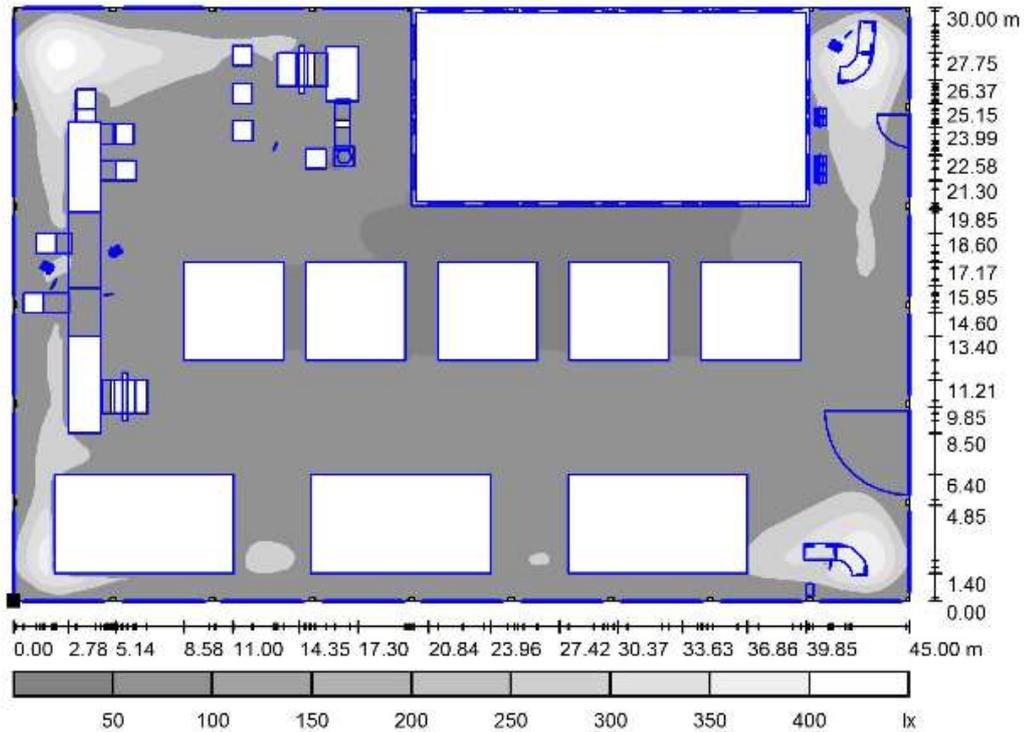


Figura 17. Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h en verano

De forma general, los valores de iluminación obtenidos con esta propuesta son los siguientes:

Tabla 6. Resultados generales de la propuesta 1

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
invierno - 11h	67	0,17	186	0,003	0,001	Posibles
invierno - 12h	80	0,20	221	0,003	0,001	
verano - 12h	157	0,40	434	0,003	0,001	

A partir de un estudio por zonas de la planta, para la propuesta 1, los resultados obtenidos son:

Tabla 7. Resultados por zonas de la propuesta 1

ZONA	ÉPOCA	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	invierno - 11h	70	7.88	164	0,113	0,048
	invierno - 12h	63	2	135	0,032	0,015
	verano - 12h	159	24	333	0,151	0,072
2	invierno - 11h	79	11	167	0,139	0,066
	invierno - 12h	73	11	146	0,151	0,075
	verano - 12h	175	54	334	0,308	0,162

### DESLUMBRAMIENTOS:

Al tratarse de aberturas laterales, existirá riesgo de deslumbramiento cuando el operario realice su actividad con un ángulo inferior a  $30^\circ$  con respecto a la incidencia de la luz.

En la zona de envasado, podrán producirse deslumbramientos al operario cuando esté mire hacia la ventana orientada al este, sobre todo a primeras horas de la mañana; la ventana sur no le producirá deslumbramientos, pues el edificio de oficinas actúa como obstáculo de la luz.

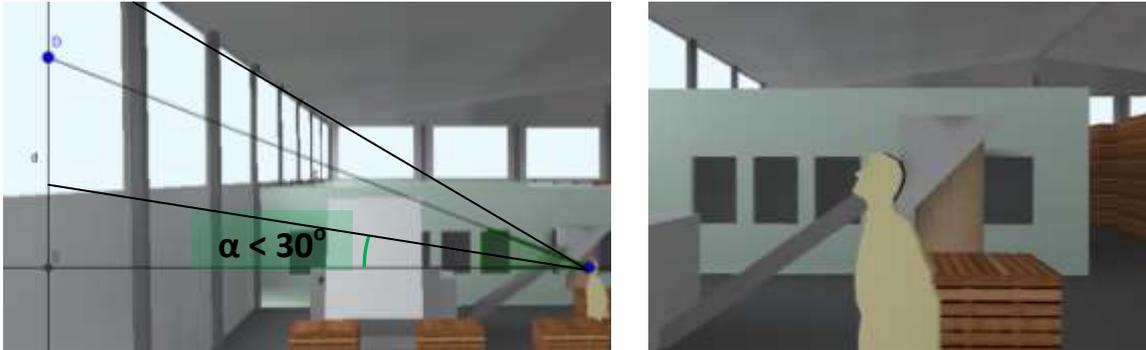


Figura 18. Estudio de deslumbramientos de la propuesta 1 en zona de envasado

Los operarios de la zona de selección, están orientados uno frente a otro. El operario que mira hacia el norte apenas tendrá riesgo de deslumbramiento, aunque la altura de la abertura y su cercanía a ésta proporcionan un ángulo próximo a  $30^\circ$ , la luz no entrará de forma directa en esa dirección; el operario que mira hacia el sur, tampoco tendrá riesgo de deslumbramiento, pues los bloques almacenados obstaculizan la incidencia de la luz con ángulos pequeños.



Figura 19. Estudio de deslumbramientos de la propuesta 1 en zona de selección

En base a los resultados, ya se podría descartar esta propuesta, pues en ningún caso ni ninguna zona se alcanza la iluminación media requerida, quedando muy lejos de este valor. Además se producen zonas muy oscuras por los grandes bloques apilados, y por otra parte pueden producirse deslumbramientos.

Sin embargo, no se descartará hasta comparar el sistema con los demás. La primera modificación a realizar es sustituir parte de las ventanas laterales por cenitales, lo que da lugar a la propuesta 2.

**5.4.2. Resultados de la propuesta 2**

Los resultados luminotécnicos obtenidos mediante la simulación de la propuesta 1 para las 3 escenas de luz descritas son los siguientes:

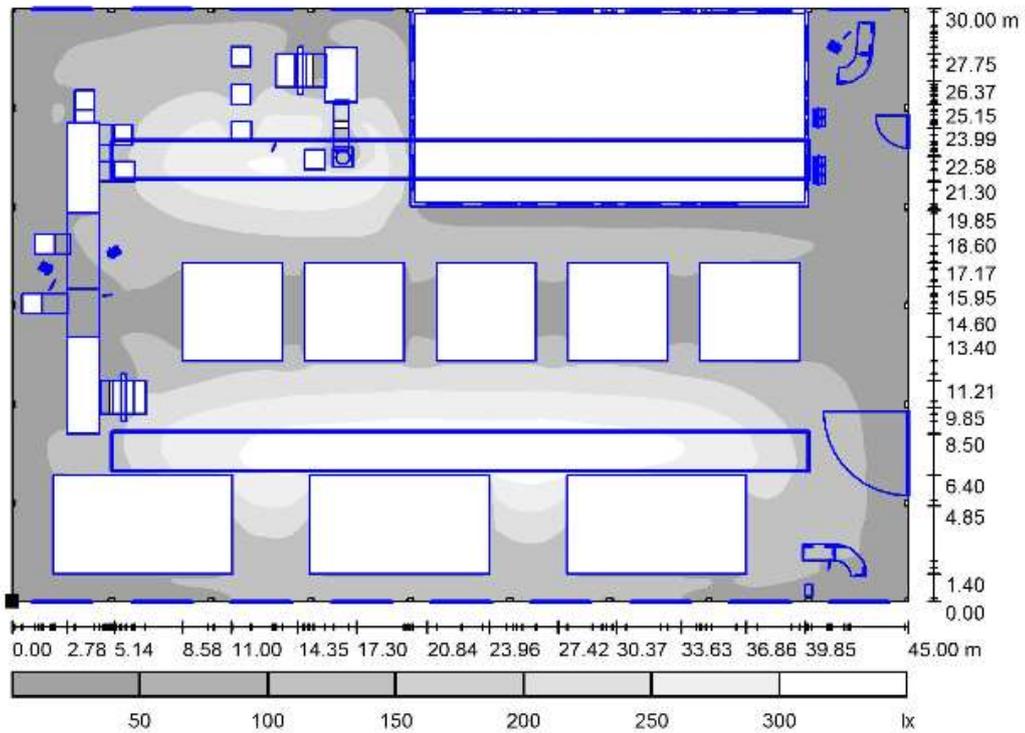


Figura 20. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 11:00h en invierno

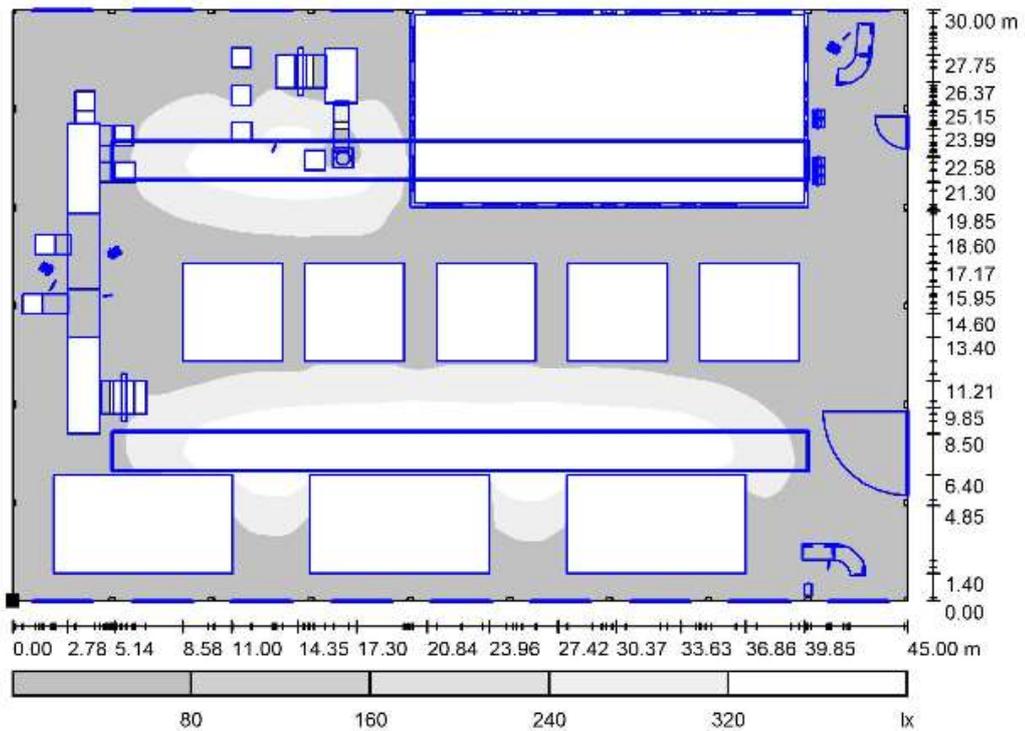


Figura 21. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h en invierno

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

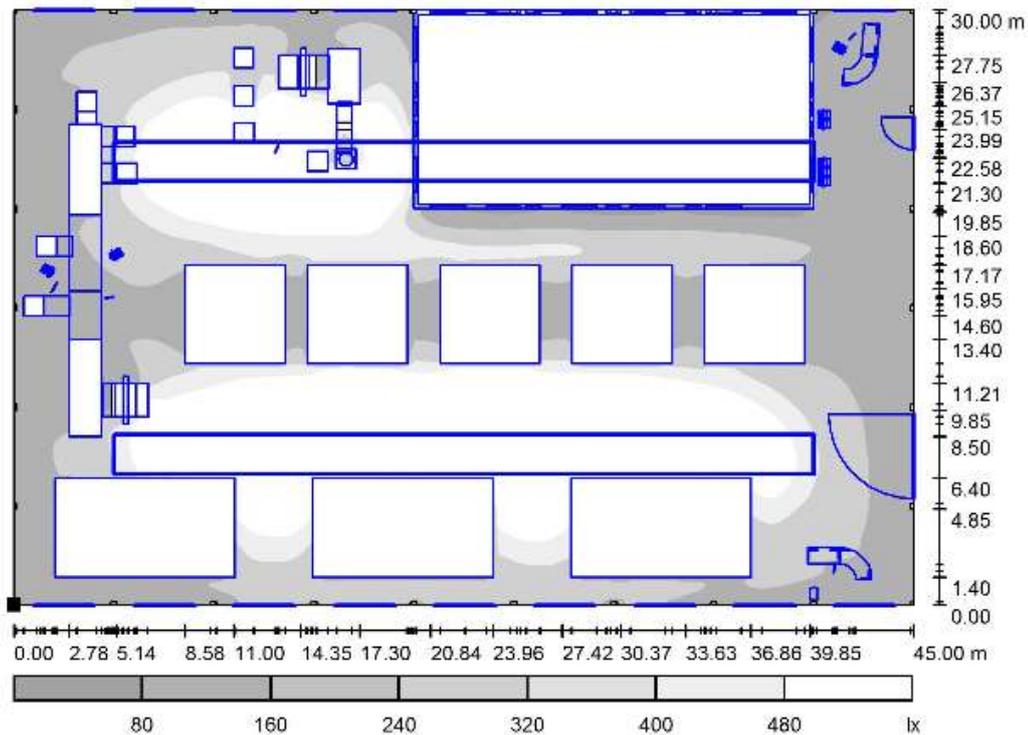


Figura 22. Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h en verano

De forma general, los valores de iluminación obtenidos con esta propuesta son los siguientes:

Tabla 8. Resultados generales de la propuesta 2

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
invierno - 11h	159	0,23	324	0,001	0,001	Posibles
invierno - 12h	188	0,28	384	0,001	0,001	
verano - 12h	370	0,54	754	0,001	0,001	

A partir de un estudio por zonas de la planta, para la propuesta 2, los resultados obtenidos son:

Tabla 9. Resultados por zonas de la propuesta 2

ZONA	ÉPOCA	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	invierno - 11h	162	54	322	0,332	0,168
	invierno - 12h	195	64	383	0,329	0,167
	verano - 12h	378	126	751	0,334	0,168
2	invierno - 11h	156	68	290	0,463	0,234
	invierno - 12h	182	80	345	0,440	0,232
	verano - 12h	355	158	676	0,445	0,234

En este caso el único deslumbramiento posible es en el caso del envasado, pues en la zona de selección no existen aberturas. Aun así, la mayor altura hace menos probable su existencia.

La iluminación media es mayor en esta propuesta, pero sigue lejos de la requerida. Las siguientes propuestas intentarán alcanzar dicho nivel con iluminación exclusivamente cenital, pues se requiere mucha menos superficie de aberturas, lo que abarata el coste de material.

### 5.4.3. Resultados de la propuesta 3

Los resultados luminotécnicos obtenidos mediante la simulación de la propuesta 3 para las 3 escenas de luz descritas son los siguientes:

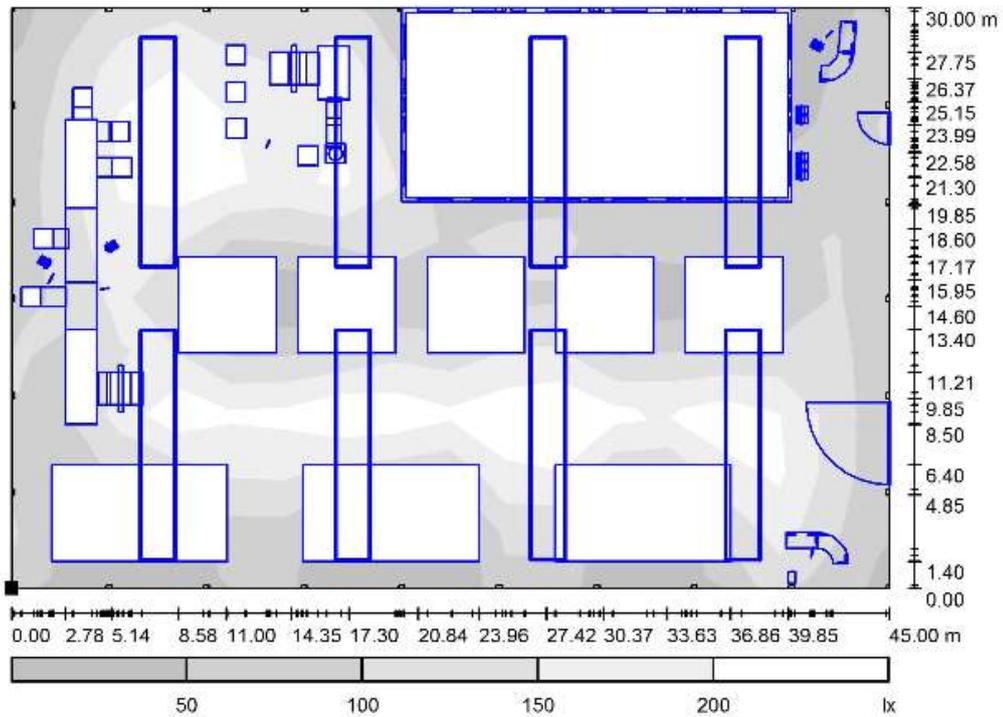


Figura 23. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 11:00h en invierno

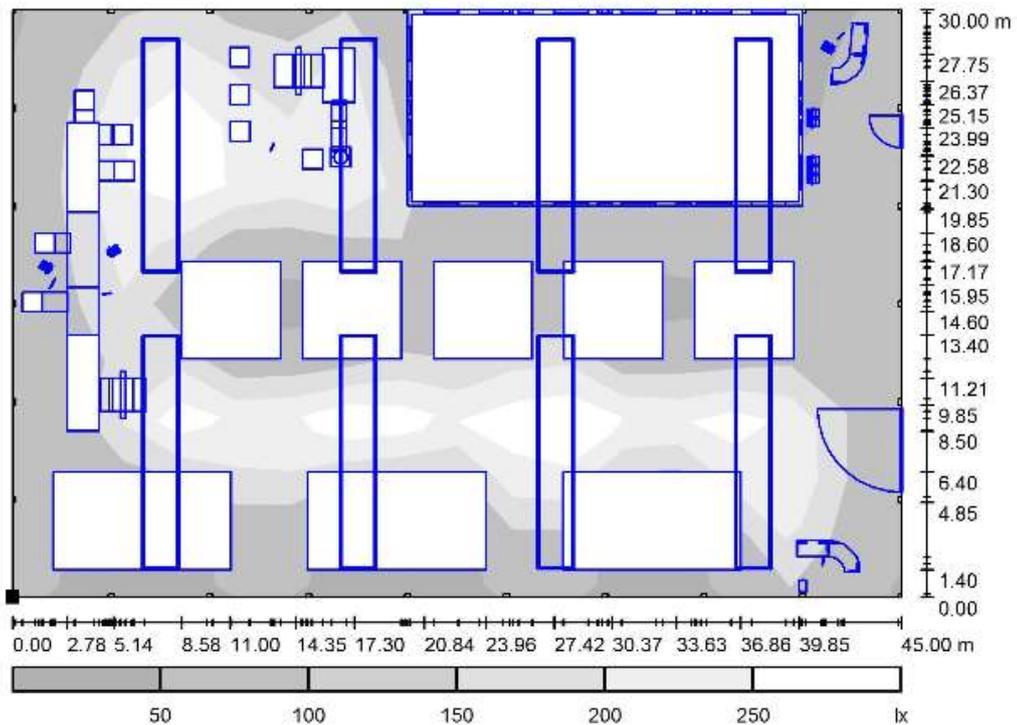


Figura 24. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h en invierno

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

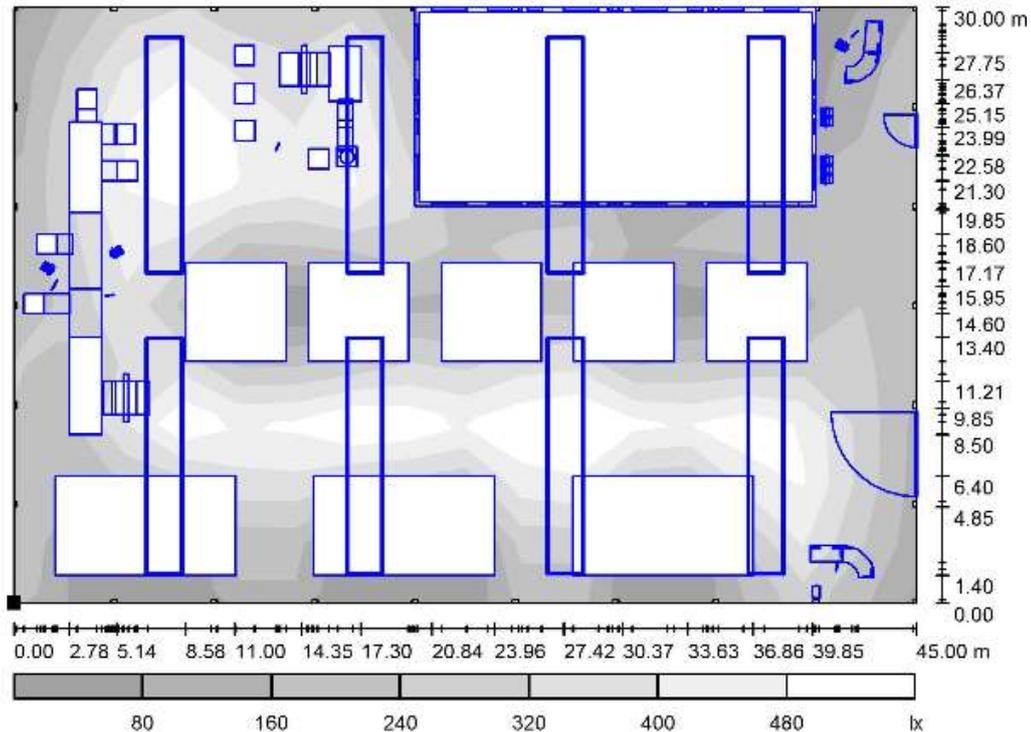


Figura 25. Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h en verano

De forma general, los valores de iluminación obtenidos con esta propuesta son los siguientes:

Tabla 10. Resultados generales de la propuesta 3

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
invierno - 11h	161	0,39	287	0,002	0,001	No
invierno - 12h	191	0,46	341	0,002	0,001	
verano - 12h	375	0,90	669	0,002	0,001	

A partir de un estudio por zonas de la planta, para la propuesta 3, los resultados obtenidos son:

Tabla 11. Resultados por zonas de la propuesta 3

ZONA	ÉPOCA	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	invierno - 11h	154	31	285	0,201	0,109
	invierno - 12h	184	37	338	0,201	0,109
	verano - 12h	361	73	664	0,202	0,110
2	invierno - 11h	169	66	251	0,391	0,263
	invierno - 12h	200	78	298	0,389	0,262
	verano - 12h	393	153	584	0,389	0,262

Es imposible que se produzcan deslumbramientos al tratarse de iluminación cenital.

Las uniformidades obtenidas son ligeramente mayores y el nivel medio obtenido, se aproxima más al requerido utilizando menos superficie de aberturas. Aún con esto, se va a realizar otra propuesta de este tipo para poder comparar con más sistemas y elegir el óptimo.

### 5.4.4. Resultados de la propuesta 4

Los resultados luminotécnicos obtenidos mediante la simulación de la propuesta 4 para las 3 escenas de luz descritas son los siguientes:

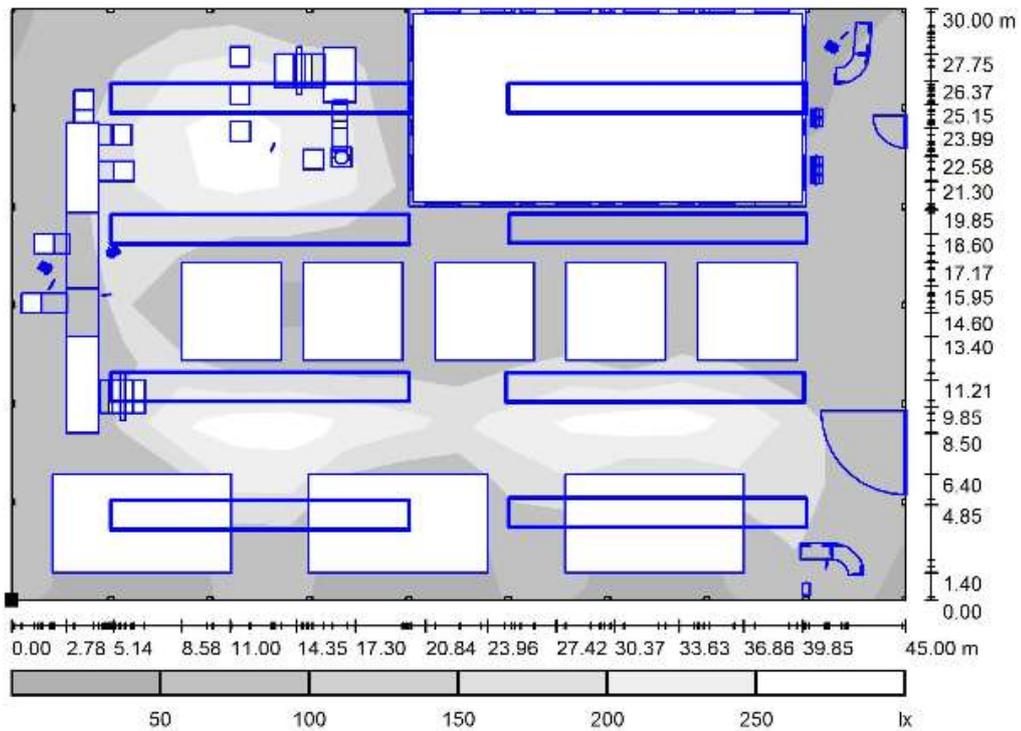


Figura 26. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 11:00h en invierno

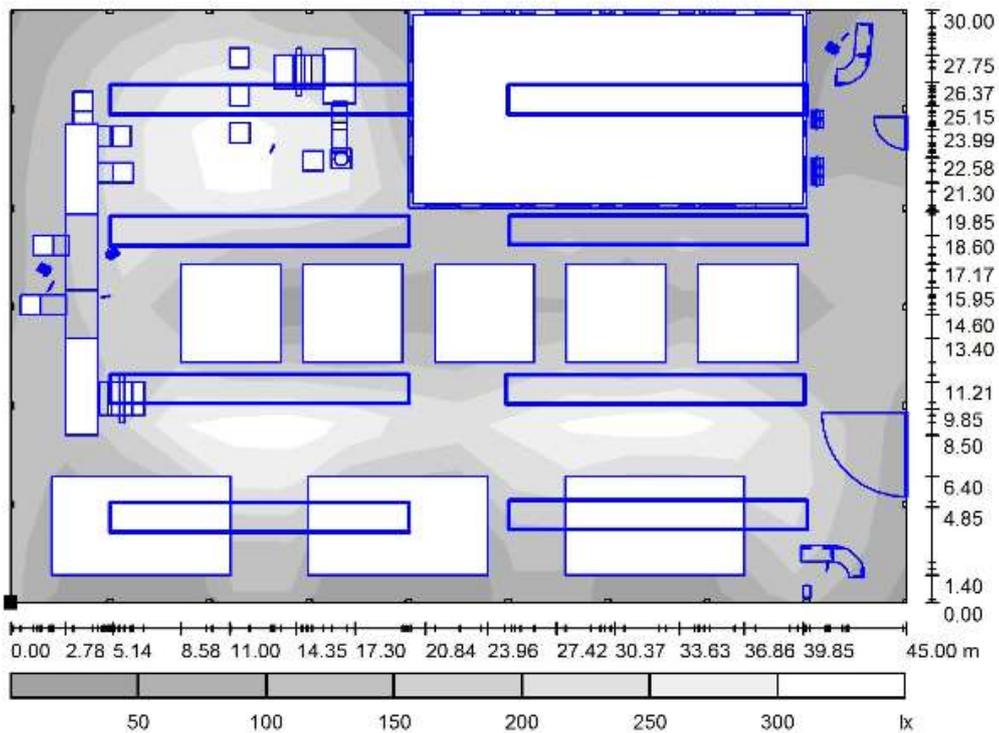


Figura 27. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h en invierno

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

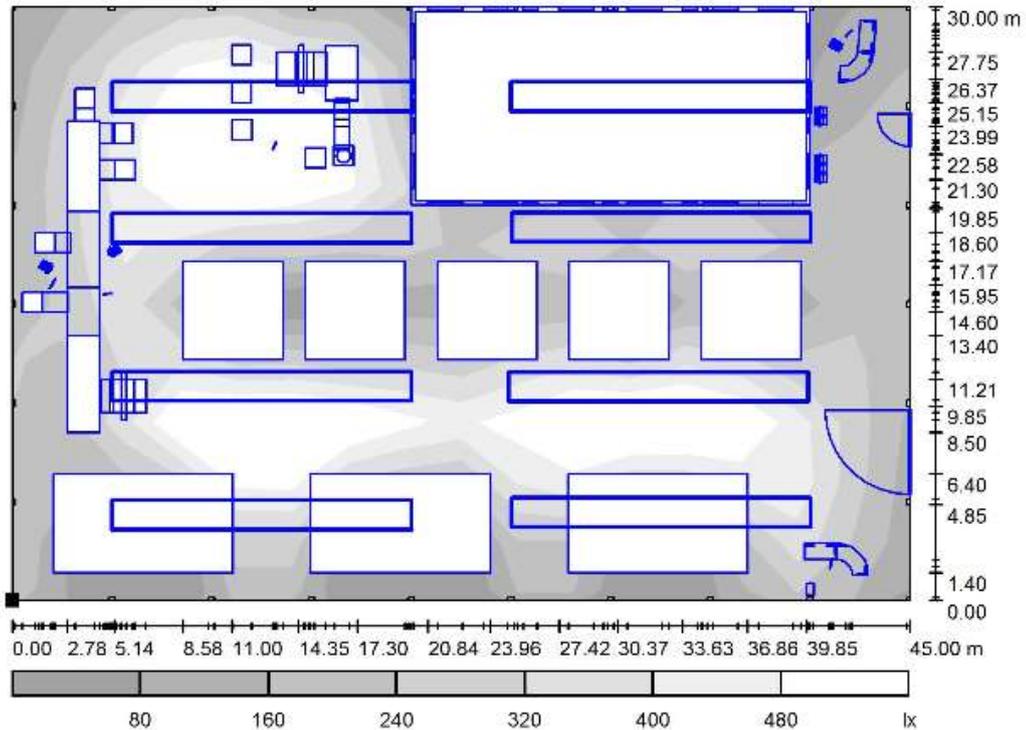


Figura 28. Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h en verano

De forma general, los valores de iluminación obtenidos con esta propuesta son los siguientes:

Tabla 12. Resultados generales de la propuesta 4

	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
invierno - 11h	172	0,40	307	0,002	0,001	Posibles
invierno - 12h	205	0,47	364	0,002	0,001	
verano - 12h	402	0,92	715	0,002	0,001	

A partir de un estudio por zonas de la planta, para la propuesta 4, los resultados obtenidos son:

Tabla 13. Resultados por zonas de la propuesta 4

ZONA	ÉPOCA	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	invierno - 11h	169	46	300	0,273	0,153
	invierno - 12h	200	55	356	0,275	0,154
	verano - 12h	394	107	698	0,271	0,153
2	invierno - 11h	173	61	281	0,353	0,217
	invierno - 12h	205	73	333	0,356	0,219
	verano - 12h	402	143	654	0,355	0,219

Con los resultados obtenidos, parece que es esta propuesta la que cumple el nivel mínimo de iluminación. Sin embargo, hay que realizar una comparativa con el resto de parámetros.

## 5.5. Selección de la propuesta más adecuada

Para seleccionar la propuesta más adecuada de entre las 4 analizadas, se van a comparar en base al cumplimiento a los parámetros siguientes:

Tabla 14. Valores óptimos a cumplir por el sistema

ZONA	$E_m$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	Uniformidad	Deslumbramientos
1	200	< 2000	> 0,3	No
2	200	< 2000	> 0,3	No

Para facilitar la visualización de los diferentes resultados de las propuestas, se recogen en la Tabla 15 todos los resultados obtenidos mediante la simulación en ambas escenas de luz a la hora más crítica (12h), pues a las 11h no se cumplen los valores óptimos en ninguna propuesta y habría que incluir la iluminación artificial.

Tabla 15. Resumen de resultados de la simulación

		INVIERNO			VERANO			Deslumb.
		$E_m$ (lx)	$E_{min}/E_{max}$	$E_{min}/E_m$	$E_m$ (lx)	$E_{min}/E_{max}$	$E_{min}/E_m$	
PROPUESTA 1	ZONA 1	63	0,015	0,032	159	0,072	0,151	No
	ZONA 2	73	0,075	0,151	175	0,162	0,308	Posibles
PROPUESTA 2	ZONA 1	195	0,167	0,329	378	0,168	0,334	No
	ZONA 2	182	0,232	0,440	355	0,234	0,445	Posibles
PROPUESTA 3	ZONA 1	184	0,109	0,201	361	0,110	0,202	No
	ZONA 2	200	0,262	0,389	393	0,262	0,389	No
PROPUESTA 4	ZONA 1	200	0,154	0,275	394	0,153	0,271	No
	ZONA 2	205	0,219	0,356	402	0,219	0,355	No

### PROPUESTA 1

La iluminación media  $E_m$  con esta propuesta no alcanza los 200 lux requeridos en invierno de forma general en la planta, a pesar de utilizarse toda la superficie disponible para ventanas.

En cuanto al estudio por zonas:

- En la zona 1 no se cumple el requerimiento de 200 lux, obteniéndose un valor muy inferior en ambas fechas
- En la zona 2, tampoco se cumple con el requerimiento de 200 lux establecidos en ninguna de las escenas de luz.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  queda muy alejado del 0,3 recomendado en ninguna de las zonas ni de forma global en la planta, ni siquiera en factor  $E_{min}/E_m$  tiene valores óptimos.

Respecto a los deslumbramientos, existe riesgo de sufrirlos en la zona de envasado cuando se trabaje en zonas cercanas a la maquinaria con suficiente separación a la pared.

Tabla 16. Resumen de la propuesta 1

ZONA	$E_m$ (lx)	Uniformidad	Deslumbramientos
1	No cumple	No cumple	Cumple
2	No cumple	No cumple	No cumple

## PROPUESTA 2

La iluminación media  $E_m$  con esta propuesta no alcanza los 200 lux requeridos en invierno de forma general en la planta aunque en este caso el valor está más próximo, a pesar de incluirse aberturas en la cubierta para complementar a la iluminación lateral.

En cuanto al estudio por zonas:

- En la zona 1 no se cumple el requerimiento de 200 lux, aunque está muy próximo el valor obtenido.
- En la zona 2, el valor medio obtenido también cumple el requerimiento de 200 lux en verano.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  queda algo lejos del 0,3 recomendado en ninguna de las zonas ni de forma global en la planta, aunque en este caso el factor  $E_{min}/E_m$  sí que alcanza valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 en las dos zonas para ambas escenas de luz.

Respecto a los deslumbramientos, existe riesgo de sufrirlos en la zona de envasado cuando se trabaje en zonas cercanas a la maquinaria con suficiente separación a la pared, aunque en esta propuesta la distancia a la pared a la que se sufrirán es mayor al aumentarse la altura de ventanas.

Tabla 17. Resumen de la propuesta 2

ZONA	$E_m$ (lx)	Uniformidad	Deslumbramientos
1	No cumple	No cumple	Cumple
2	No cumple	No cumple	No cumple

## PROPUESTA 3

La iluminación media  $E_m$  con esta propuesta casi alcanza los 200 lux requeridos en invierno de forma general en la planta, aun habiendo utilizado una menor superficie de ventanas y se prescinda de laterales.

En cuanto al estudio por zonas:

- En la zona 1 no se cumple el requerimiento de 200 lux en invierno, por lo que también se cumplirá en verano.
- En la zona 2 sí se cumple con los 200 lux establecidos en invierno, por lo que también se cumplen en verano.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  no llega al 0,3 recomendado en ninguna de las zonas ni de forma global en la planta, aunque el factor  $E_{min}/E_m$  sí que alcanza valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 en la zona 2.

Respecto a los deslumbramientos, no se van a producir al tratarse de lucernarios en la cubierta situados a gran altura.

Tabla 18. Resumen de la propuesta 3

ZONA	$E_m$ (lx)	Uniformidad	Deslumbramientos
1	No cumple	No cumple	Cumple
2	Cumple	No cumple	Cumple

#### PROPUESTA 4

La iluminación media  $E_m$  con esta propuesta sí alcanza los 200 lux requeridos en invierno de forma general en la planta, sin exceder los 2000 lux de máximo en verano.

En cuanto al estudio por zonas:

- En la zona 1 sí se cumple el requerimiento de 200 lux, aunque está muy próximo el valor obtenido.
- En la zona 2 sí se cumple con los 200 lux establecidos en invierno, por lo que también se cumplen en verano.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$  no llega al 0,3 recomendado en ninguna de las zonas ni de forma global en la planta, aunque el factor  $E_{min}/E_m$  sí que alcanza valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 en la zona 2 y próximos a 0,3 en la zona 1

Respecto a los deslumbramientos, no se van a producir al tratarse de lucernarios en la cubierta situados a gran altura.

*Tabla 19. Resumen de la propuesta 4*

ZONA	$E_m$ (lx)	Uniformidad	Deslumbramientos
1	Cumple	No cumple	Cumple
2	Cumple	No cumple	Cumple

##### 5.5.1. Desarrollo de la propuesta seleccionada

Para seleccionar la propuesta más adecuada de entre las analizadas, se han descartado las dos primeras. Prácticamente no se cumple ningún parámetro de los que se han expuesto como requeridos. Además de no alcanzarse el nivel mínimo necesario aun siendo las que mayor superficie de ventanas suponen, por lo que una mejora de cualquiera de estas propuestas tampoco sería rentable debido al excesivo coste que supondría la implementación de estos sistemas por la gran cantidad de material necesaria.

Descartadas las dos primeras propuestas, se descarta cualquier tipo de abertura lateral, ya que las propuestas restantes (3 y 4), son sistemas exclusivamente cenitales, mediante lucernarios tendidos en cubierta.

La propuesta 3 podría ser la elegida con respecto a las dos iniciales, pues el valor de iluminación media obtenido prácticamente alcanza los 200 lux y no supera los 2000 lux en verano; sin embargo, aumentando ligeramente la superficie de ventanas y cambiando la orientación de los lucernarios como ocurre en la propuesta 4, permitirá alcanzar el nivel mínimo necesario y mejorar la uniformidad en ambas zonas de la planta, sin apenas aumentar el coste debido a la cantidad de policarbonato a instalar.

Por tanto, la propuesta seleccionada como sistema de iluminación a instalar en la planta para mejorar la eficiencia de la iluminación artificial ya existente, será la **propuesta 4**.

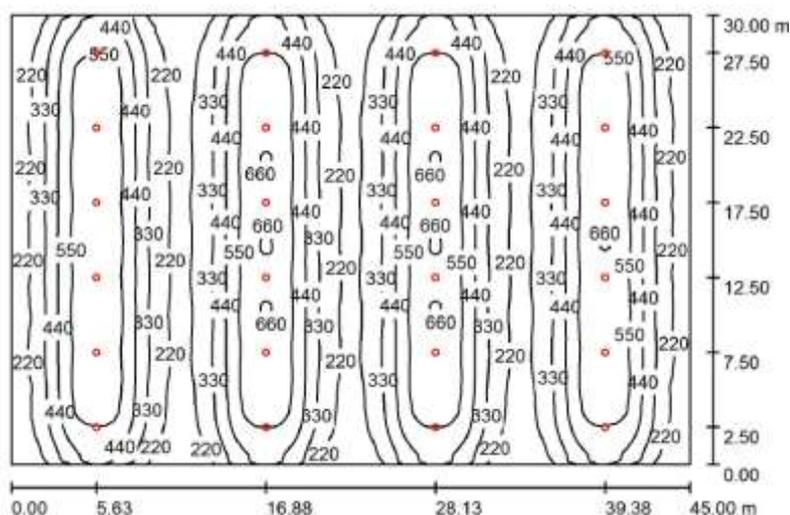
## 5.6. Análisis de la iluminación artificial

El objetivo principal del sistema diseñado es el máximo aprovechamiento de la iluminación natural, pero de nuevo hay que tener en cuenta su inestabilidad al provenir del sol por la variabilidad de la bóveda celeste. Es por ello que la nave industrial debe disponer de un sistema de iluminación artificial para lograr mantener los niveles mínimos en cualquier periodo. Mediante el software DIALux Light se va simular la cantidad de iluminación proporcionada por el sistema de iluminación artificial ya instalado en la planta.

Para estudiarlo de forma eficaz se supondrá el caso más desfavorable, antes de instalas los lucernarios y la iluminación de la nave sea 100% artificial.

Una vez se hayan introducido las dimensiones y características de la nave, según su estructura y actividad, se escogerá el tipo de luminaria instalado. En el caso de esta nave, en su construcción se optó por iluminación directa, porque origina menor proporción de sombras y porque debido a la altura, la luz dirigida hacia el techo no se aprovecharía.

El modelo de luminaria empleado, por tanto, es DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN (Potencia de 420W); con 24 puntos de iluminación para los que se obtienen los resultados recogidos en la *Figura 26* y la *Tabla 20*:



*Figura 29. Simulación del sistema artificial existente*

*Tabla 20. Resultados de la simulación en DIALux Light*

Superficie	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min} / E_{max}$
PLANO ÚTIL	399	130	673	0,325

### 5.6.1. Eficiencia energética de la instalación existente

Si la iluminación fuese exclusivamente artificial, los valores de eficiencia serían:

*Tabla 21. Eficiencia energética del sistema de iluminación*

Superficie ( $m^2$ )	VEEI ( $(W/m^2)/100lux$ )
1350	1,87

## 5.7. Eficiencia energética con iluminación natural

Como ya se ha explicado en varias ocasiones, la iluminación natural depende directamente de las horas de luz y de los elementos meteorológicos y geográficos, por ello se va a distinguir entre tres casos distintos según el porcentaje de iluminación artificial utilizada para cumplir con las necesidades lumínicas con el mínimo empleo de ésta, conociendo que por la geografía el nivel de aprovechamiento estará en torno al 70-90% de las horas de luz:

1. Sistema 100% artificial.
2. Sistema 75% natural y 25% artificial.
3. Sistema 90% natural y 10% artificial.

### Supuesto 1: 100% iluminación artificial

Se mantendrán encendidas las 24 luminarias instaladas que permiten la iluminación necesaria durante todo el tiempo de actividad.

*Tabla 22. VEEI con 100% iluminación artificial*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
1350	1,87

### Supuesto 2: 75% iluminación natural y 25% iluminación artificial

*Tabla 23. VEEI con 25% iluminación artificial*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
1350	1,80

### Supuesto 2: 90% iluminación natural y 10% iluminación artificial

*Tabla 24. VEEI con 10% iluminación artificial*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
1350	1,77

Como se observa en los resultados, el valor de la eficiencia desciende al reducir el uso de la iluminación artificial. Si se prescindiera de ella (situación ideal), se tendría un valor de VEEI de 0W/m<sup>2</sup>, por lo que es conveniente que este parámetro sea lo menor posible para que el consumo de potencia eléctrica sea menor.

## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se realizará un estudio económico para justificar la inversión de la instalación del sistema de iluminación natural y averiguar qué método es más rentable.

### 6.1. Presupuesto

El presupuesto de ejecución material (PEM) de la instalación de lucernarios de la Propuesta 4, asciende a la cantidad de 14783,44 €, importe al que se aplicará el 15% de PEM de Gastos Generales y el 6% del PEM en concepto de Beneficio Industrial, lo que dará lugar al Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC). Finalmente habrá que incluir el IVA (21% del PEC) para obtener el Presupuesto base de licitación, que asciende a **21644,43 €.** (Ver Anexo 1.1)

### 6.2. Balance económico

Es necesario analizar el consumo eléctrico en la planta antes y después de instalar el sistema de iluminación natural para valorar que efectivamente se produce una mejora y se produce ahorro energético.

Para ello se efectúa una comparación de las facturas de la electricidad en los distintos supuestos, considerando también la maquinaria utilizada en la planta y las correspondientes tomas de corriente.

#### 6.2.1. Sistema de iluminación 100% artificial

En primer lugar se va a realizar una estimación de las potencias demandadas cuando se utilice el sistema de iluminación artificial como única iluminación:

Tabla 25. Potencias demandadas en la planta

Descripción	Ud.	Potencia ud (W)	Potencia (kW)
Volteador de sacas	1	1100	1,10
Tolva desterronadora	1	740	0,74
Desterronador en seco	1	740	0,74
Mesa de selección	1	370	0,37
Calibradores de mallas	1	1100	1,10
Cintas transportadoras	5	370	1,85
Volteador de palots	1	1100	1,10
Tolva de recepción	1	740	0,74
Envasadora pesadora	1	1100	1,10
Luminarias	20	420	8,40
Batería carretillas elevadoras	2	10000	20,00
Tomas de corriente	6	3680	19,44
Tomas de corriente trifásica	2	10000	20,00
			<b>88,36</b>

La potencia demandada en la planta es de **88,36 kW**. Con este valor, la tarifa eléctrica contratada en la empresa es la 3.1A, que tiene un sistema de discriminación horaria, estableciendo tres periodos de facturación, diferentes en época de verano e invierno.

Esta planta trabaja de septiembre a febrero, pero la maquinaria correspondiente a limpieza y selección únicamente se utilizará en septiembre y octubre, una vez procesado el producto la planta funcionará como almacén y envasadora.

Esto puede suponer un problema en cuanto a la facturación, pues aunque sólo se utilice 6 meses al año, la compañía obliga a contratar la tarifa el año completo. Sin embargo, sólo se va a producir consumo derivado de la iluminación durante los meses de actividad.

Según la figura siguiente, cada periodo tendrá un precio distinto en cuanto a término de energía y a término de potencia:

Tarifa	Aplicación	Tp Punta (€/kW año)	Tp Llano (€/kW año)	Tp Valle (€/kW año)	Te Punta (€/kWh)	Te Llano (€/kWh)	Te Valle (€/kWh)
3.1A	1 kV<T≤36 kV	59,173468	36,490689	8,367731	0,014335	0,012754	0,007805

Figura 30. Precio por periodos  
Fuente: <https://ircprojects.com>

La actividad de esta industria tiene lugar de lunes a sábado durante todo el periodo de actividad, con un horario de a 10:00h a 20:00h de lunes a viernes (parando la actividad de 14h a 16h) y de 10:00h a 14:00h los sábados; lo que se resume en 24 días al mes, de los cuales 4 son sábados. Para determinar las horas correspondientes a cada periodo y el precio del consumo, se atenderá a la figura siguiente:

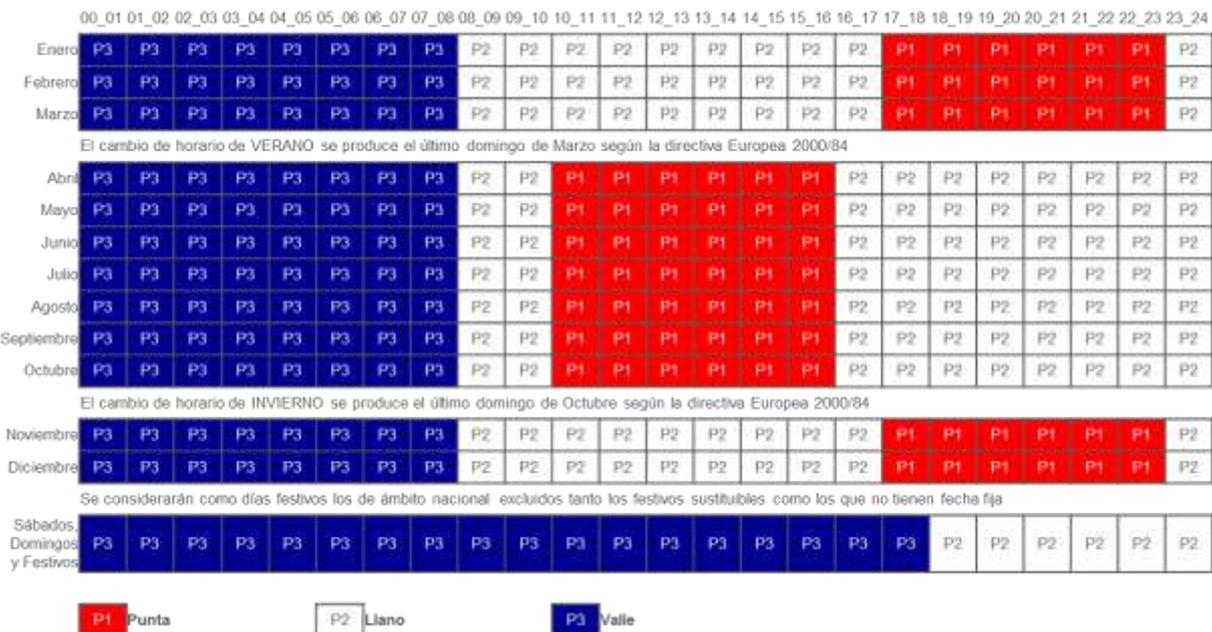


Figura 31. Discriminación horaria  
Fuente: <https://ircprojects.com>

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

Con la tabla anterior y los horarios de actividad de la planta, se pueden conocer las horas correspondientes al consumo en cada periodo:

Tabla26. Horas de actividad en casa periodo

Mes	P1	P2	P3
Enero	80	80	16
Febrero	80	80	16
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	0	0	0
Junio	0	0	0
Julio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Septiembre	80	80	16
Octubre	80	80	16
Noviembre	80	80	16
Diciembre	80	80	16
	<b>480</b>	<b>480</b>	<b>96</b>

### FACTURACIÓN ANUAL

Para el cálculo de la facturación en un periodo anual hay que tener en cuenta el término de potencia (valor que será fijo según la potencia contratada) y el término de energía (variable según el consumo mensual), además de los correspondientes impuestos y el alquiler del equipo de medida que dependerá del tipo de tarifa contratada.

#### TÉRMINO DE POTENCIA

Para el cálculo de este importe se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Término de potencia (€)} = \sum_i P_T(kW) \cdot P_i \left( \frac{\text{€}}{kW \cdot \text{año}} \right) \quad (8)$$

Donde:

- $P_T$ : Potencia total demandada en la planta.
- $P_i$ : Precio anual de cada periodo
- $i$ : Número del periodo

#### TÉRMINO DE ENERGÍA

Por otra parte se calculará el término de energía, considerando que toda la maquinaria opera durante todo el periodo en que la planta tiene actividad con las paradas antes expuestas:

$$\text{Término de potenciaenergía eléctrica (€)} = \sum_i P_T(kW) \cdot P_i \left( \frac{\text{€}}{kW \cdot h} \right) \cdot h_i \quad (9)$$

Donde:

- $P_T$ : Potencia total demandada en la planta.
- $P_i$ : Precio por hora de cada periodo.
- $h_i$ : horas de actividad en un periodo.
- $i$ : Número del periodo.

Una vez obtenidos los valores correspondientes a la potencia contratada y consumo, se impone un impuesto a la suma de ambos. Este impuesto es cobrado por la empresa que suministra la energía que lo remitirá al gobierno.

Dicho impuesto se calcula mediante la expresión fijada siguiente:

$$\text{Impuesto Sobre Electricidad (€)} = (TP + TE) \cdot 1,051127 \cdot 4,864\% \quad (10)$$

Otro coste fijo a añadir en este punto, es el precio del alquiler del equipo de medida (PAE), ya que normalmente no se es propietario del contador. Para la tarifa contratada de tres periodos, el importe a pagar por el equipo es de 29€/mes, precio fijado por el Gobierno.

Por último, la factura incluye el término correspondiente al impuesto del IVA:

$$\text{IVA (€)} = (TP + TE + ISE + PAE) \cdot 21\% \quad (11)$$

El importe total de la factura se calculará como la suma de todos los términos descritos, de modo que el gasto anual estimado de la planta es el reflejado en la tabla 30:

Tabla271. Estimación de la facturación anual

DESCRIPCIÓN	P1	P2	P3	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
<b>Término de potencia (€)</b>					
	5228,57	3224,32	739,37	<b>9192,26</b>	
<b>Término de energía (€)</b>					
	580,92	516,85	63,26	<b>1161,04</b>	
<b>Impuesto sobre electricidad (€)</b>					
				<b>529,38</b>	
<b>Alquiler del equipo de medida (€)</b>					
				<b>348</b>	
<b>IVA (€)</b>					
				<b>2358,44</b>	
					<b>13589,12</b>

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

### PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN

El mantenimiento del sistema de iluminación viene determinado por la contaminación y la vida útil de las luminarias.

Las luminarias instaladas tienen una vida útil comprendida entre 8000 y 12000 horas, por lo que se toma un valor medio de 10000 para la estimación a realizar. La relación de horas de vida útil con respecto a las horas que permanecerán encendidas, proporciona los años de vida útil de las mismas. Teniendo en cuenta que las horas que se trabajan en un año son 1056:

$$Vida\ útil = \frac{10000\ horas}{1056\ horas/año} = 9,47\ años \quad (12)$$

Se obtiene una vida útil del sistema de iluminación artificial de **9,47 años**, en caso de que sea el único método utilizado para iluminar la planta. Con este valor, se puede estimar un presupuesto de mantenimiento y renovación y el pago anual del mismo:

Tabla 28. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 100% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)	
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	1	60,00	60,00		
	h	Operario 1ª electricidad	0,3	11,00	3,30		
	h	Peón electricidad	0,3	13,18	3,95		
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74		
	%	Costes Directos	0,02	68,99	1,38		
							<b>70,37</b>

Tabla 29. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 100% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	<b>Colocación de luminarias</b>						
	Ud	Luminarias	24				20,00	
								<b>20,00</b>

Tabla 30. Presupuesto parcial para renovar las luminarias 100% artificial

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Colocación de luminarias</b>	1688,99	
			<b>1688,99</b>

Aplicando los gastos e impuestos correspondientes, se obtiene el presupuesto total para el mantenimiento del sistema de iluminación artificial:

*Tabla 31. Presupuesto total para la renovación de luminarias 100% artificial*

<b>Presupuesto total de Ejecución de Material (PEM)</b>	1688,99€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	2043,68€
<b>Presupuesto Base de licitación</b>	<b>2472,85€</b>
<b>Presupuesto Base de licitación anual</b>	<b>261,13€</b>

Obtenido este importe, se puede conocer el gasto anual relacionado con la iluminación antes de instalar el sistema de iluminación artificial:

*Tabla 32. Gasto anual con iluminación 100% artificial*

<b>Gasto electricidad anual</b>	13589,12€
<b>Gasto renovación luminarias anual</b>	261,13€
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>13850,25€</b>

### **6.2.2. Iluminación mixta**

Instalado el sistema de iluminación natural, se intentará emplear este sistema lo máximo posible en combinación con el sistema artificial. Esto no significa que la iluminación artificial se suprima, pues en algunas horas y condiciones meteorológicas puede hacerse imprescindible, incluso si fuera necesario trabajar en horas nocturnas.

#### **PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO DE LUCERNARIOS**

Es necesario calcular el presupuesto de mantenimiento de los lucernarios, pues es necesario conocer todos los costes de ambos sistemas de iluminación para que la comparación sea efectiva.

Este mantenimiento o limpieza se realizará cada 5 años, por lo que el gasto se dividirá anualmente como ocurre con el de las luminarias.

El presupuesto de ejecución material del mantenimiento de lucernarios asciende a 517,88€, que aplicando los gastos e impuestos correspondientes se obtiene un presupuesto base de licitación de 758,23€, que anualmente suponen **151,65€**. (Ver Anexo 1.2.)

A continuación, se va a comparar la rentabilidad de los distintos sistemas según la proporción de iluminación de cada tipo empleada, para ellos habrá que estimar la factura eléctrica en cada supuesto, ya que la potencia demandada no será la misma al emplearse menos luminarias.

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

➤ **25% iluminación artificial y 75% iluminación natural.**

La potencia demandada en este caso es de **80,80 kW**, pues sólo se mantienen encendidas el 75% de las horas de actividad, lo que es comparable a utilizar 6 de las 24 luminarias. Así, siguiendo el mismo procedimiento que con la iluminación 100% artificial, la factura anual tendría un coste estimado de:

Tabla 33. Estimación de la facturación anual 25% artificial

DESCRIPCIÓN	P1	P2	P3	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
<b>Término de potencia (€)</b>					
	4781,22	2948,45	676,11	<b>8405,78</b>	
<b>Término de energía (€)</b>					
	528,90	470,57	57,59	<b>1057,07</b>	
<b>Impuesto sobre electricidad (€)</b>					
				<b>483,85</b>	
<b>Alquiler del equipo de medida (€)</b>					
				<b>348</b>	
<b>IVA (€)</b>					
				<b>2161,89</b>	
					<b>12456,58</b>

**PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN**

De la misma forma descrita anteriormente, se estima el presupuesto de mantenimiento de la iluminación artificial cuando se emplea el 25% de ella, empleando la misma vida útil y correspondientes impuestos y gastos:

Tabla 34. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 25% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>				
	Ud	Luminaria	1	60,00	60,00	
	h	Operario 1ª electricidad	0,3	11,00	3,30	
	h	Peón electricidad	0,3	13,18	3,95	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	68,99	1,38	
						<b>70,37</b>

Tabla 35. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 25% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	<b>Colocación de luminarias</b>						
	Ud	Luminarias	6				6,00	
								<b>6,00</b>

Tabla 36. Presupuesto parcial para renovar las luminarias 25% artificial

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Colocación de luminarias	442,25	
			<b>442,25</b>

Aplicando los gastos e impuestos correspondientes, se obtiene el presupuesto total para el mantenimiento eléctrico del sistema que utiliza el 25% de iluminación artificial:

Tabla 37. Presupuesto total para la renovación de luminarias 25% artificial

<b>Presupuesto total de Ejecución de Material (PEM)</b>	422,25€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	510,92€
<b>Presupuesto Base de licitación</b>	618,21€
<b>Presupuesto Base de licitación anual</b>	<b>65,28€</b>

Obtenido este importe, se puede conocer el gasto anual relacionado con la iluminación tras instalar el sistema de iluminación natural, en el caso de que la iluminación utilizada sea del 25%:

Tabla 38. Gasto anual con iluminación 25% artificial

<b>Gasto electricidad anual</b>	12456,58€
<b>Gasto mantenimiento lucernarios anual</b>	151,65€
<b>Gasto renovación luminarias anual</b>	68,28€
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>12676,51€</b>

➤ **10% iluminación artificial y 90% iluminación natural.**

La potencia demandada en este último supuesto es de **79,54 kW**. Así, siguiendo el mismo procedimiento que en los anteriores supuestos, se van a recalculer tanto la facturación anual correspondiente al consumo eléctrico como el presupuesto de renovación y mantenimiento del sistema que utiliza el 10% de las luminarias.

Los Gastos e Impuestos a aplicar, así como la vida útil de los sistemas, siguen siendo los mismos que se aplicaron en los casos anteriores, por tanto, la factura estimada para este sistema de iluminación es la siguiente:

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

Tabla 39. Estimación de la facturación anual 10% artificial

DESCRIPCIÓN	P1	P2	P3	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
<b>Término de potencia (€)</b>					
	4706,66	2902,47	665,57	<b>8274,70</b>	
<b>Término de energía (€)</b>					
	520,23	426,86	56,65	<b>1039,74</b>	
<b>Impuesto sobre electricidad (€)</b>					
				<b>476,26</b>	
<b>Alquiler del equipo de medida (€)</b>					
				<b>348</b>	
<b>IVA (€)</b>					
				<b>2129,13</b>	
					<b>12267,83</b>

### PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN

De la misma forma descrita anteriormente, también se estima el presupuesto de mantenimiento de la iluminación artificial cuando se emplea el 10% de ella, considerando la misma vida útil y correspondientes impuestos y gastos:

Tabla 40. Cuadro de precios descompuesto para renovar las luminarias 10% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)	
	<b>Ud</b>	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	1	60,00	60,00		
	h	Operario 1ª electricidad	0,3	11,00	3,30		
01.01	h	Peón electricidad	0,3	13,18	3,95		
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74		
	%	Costes Directos	0,02	68,99	1,38		
						<b>70,37</b>	

Tabla 41. Cuadro de mediciones para renovar las luminarias 10% artificial

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
	<b>Ud</b>	<b>Colocación de luminarias</b>						
01.01	Ud	Luminarias	3				3,00	
								<b>3,00</b>

Tabla 42. Presupuesto parcial para renovar las luminarias 10% artificial

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Colocación de luminarias	211,12	
			<b>211,12</b>

Aplicando los gastos e impuestos correspondientes, se obtiene el presupuesto total para el mantenimiento eléctrico del sistema que utiliza el 10% de iluminación artificial:

Tabla 42. Presupuesto total para la renovación de luminarias 10% artificial

<b>Presupuesto total de Ejecución de Material (PEM)</b>	211,12€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	255,46€
<b>Presupuesto Base de licitación</b>	<b>309,11€</b>
<b>Presupuesto Base de licitación anual</b>	<b>32,64€</b>

Obtenido este importe, se puede conocer el gasto anual relacionado con la iluminación tras instalar el sistema de iluminación natural, en el caso de que la proporción de artificial utilizada sea del 10%:

Tabla 44. Gasto anual con iluminación 10% artificial

<b>Gasto electricidad anual</b>	12267,83€
<b>Gasto mantenimiento lucernarios anual</b>	151,65€
<b>Gasto renovación luminarias anual</b>	32,64€
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>12516,47€</b>

### 6.2.3. Análisis de rentabilidad

Con los gastos anuales obtenidos para cada uno de los supuestos, se va a realizar una comparación para visualizar las diferencias en cuanto a consumo y ahorro respecto al sistema de iluminación exclusivamente artificial, lo que permitirá estudiar la viabilidad económica de cada uno posteriormente.

Tabla 45. Resumen de gastos y ahorro

<b>SISTEMA</b>	<b>Gasto (€)</b>	<b>Ahorro (€)</b>
<b>100% iluminación artificial</b>	13850,25	-
<b>25% iluminación artificial</b>	12676,51	<b>1176,74</b>
<b>10% iluminación artificial</b>	12516,47	<b>1398,53</b>

Es importante analizar la rentabilidad de cualquier proyecto que se vaya a realizar, pues la empresa va a invertir un capital que se espera recuperar en unos años y posteriormente proporcione un beneficio.

Los parámetros que determinarán la viabilidad del proyecto serán el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN muestra el valor actual de un determinado número de flujos de caja futuros. Se calcula esta cantidad para varios valores de interés y observar la evolución de los mismos.

La expresión que permite calcular el Valor Actual Neto es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{r}{(1+i)^t} - I_0 \quad (12)$$

Donde:

- **r**: cantidad anual recuperada.
- **n**: horizonte temporal.
- **t**: periodo.
- **i**: interés en tanto por 1.
- **I<sub>0</sub>**: inversión inicial (€).

Lo ideal es que este valor tenga un carácter positivo, lo que indicaría que el proyecto de análisis es rentable. Si el VAN es cero, no se obtiene ningún tipo de beneficio.

En el caso de estudio, la anualidad corresponde al ahorro derivado de la instalación de iluminación artificial y se considera una vida útil de este sistema de 30 años.

Por otra parte, el TIR aporta información del interés a partir del cual la inversión será rentable en un determinado periodo. Es el valor del interés en el que el VAN es cero.

La expresión que permite calcular Tasa Interna de Retorno es la misma que la del cálculo del VAN, que se iguala a cero y se despeja el interés que corresponde al TIR:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{r}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (13)$$

Los valores obtenidos de los dos supuestos de iluminación se presentan a continuación:

Tabla 46. VAN y TIR

	<b>I<sub>0</sub></b>	<b>r</b>	<b>VAN 2%</b>	<b>VAN 4%</b>	<b>VAN 6%</b>	<b>TIR</b>
<b>25% artificial</b>	21644,43	1176,74	4710,37	-1296,20	-8396,94	<b>3,5%</b>
<b>10% artificial</b>	21644,43	1398,53	9677,68	2538,99	-5900,08	<b>4,9%</b>

De esta tabla puede concluir, que la instalación del sistema de iluminación natural con 30 años de vida útil, será rentable:

- **25% iluminación artificial**: siempre que los intereses sean inferiores al 3,5%.
- **10% iluminación artificial**: siempre que los intereses sean inferiores al 4,9%.

## 7. CONCLUSIONES

Tras los análisis realizados, tanto luminotécnicos como económicos, se considera que se han logrado cumplir los objetivos de esta propuesta de trabajo, con lo que se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El método analítico es la herramienta principal para obtener una superficie de aberturas acorde con los requerimientos de una planta, sin embargo, es una aproximación que normalmente habrá que mejorar.
- Todas las propuestas cumplían la superficie de ventanas mínimas, sin embargo la iluminación cenital es la que ha permitido que se cumplan la mayoría de requerimiento en las dos épocas del año opuestas.
- A pesar de la ubicación geográfica, en ninguna de las propuestas se han excedido los 2000lux es verano, así que en la propuesta seleccionada no existe la necesidad de colocar elementos que controlen la excesiva iluminación sobre todo en épocas de mayor iluminación.
- Aunque se estima que se alcanza el nivel de iluminación a las 12:00h en invierno, para el correcto funcionamiento de la planta es inviable suprimir la instalación artificial existente, pero su uso será limitado a días y horas con escasez de luz.
- Es imprescindible realizar el presupuesto de instalación y mantenimiento de ambos sistemas y una estimación de la factura eléctrica según el consumo para conocer la rentabilidad del proyecto.
- Aun produciéndose ahorro en la factura eléctrica, hay que comprobar la rentabilidad del proyecto mediante del TIR y el VAN, pues requiere un importante inversión que habrá que recuperar a lo largo de la vida útil de la instalación.
- La inversión del proyecto es rentable en caso de que se utilice un 25% de iluminación artificial con intereses inferiores al 3,5% o 10% de iluminación artificial con intereses inferiores al 4,9%, lo que indica que a menor uso del sistema artificial, mayor será la rentabilidad de la inversión. Es decir, si se realiza el proyecto de mejora, es para aprovecharlo al máximo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- COAG. Análisis Agroganadero – Agricultura: La Patata.
- *Enciclopedia de la Agricultura y la Ganadería*, Barcelona (1999).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.  
<http://www.magrama.gob.es/>
- Apuntes de Ingeniería Agrícola y del Medio Rural. ETSIAM Albacete, UCLM.
- Apuntes Poliformat de Construcción y Arquitectura Industrial.
- Rovira Sumalla (1964 – 1965). “*Proyectar es fácil: Construcción*”.
- Juan Guasch Farrás. “*Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*”; Capítulo 46: *Iluminación*.
- IDAE: Guía Técnica - Aprovechamiento de luz natural en la iluminación de edificios.
- UNE 12464.1 Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.
- <https://ircprojects.com/2014/12/29/industria-publica-la-orden-que-congela-los-peajes-para-2015/>
- Viñoles Cebolla, R., Vivancos Bono, J. (2002). *Proyectos de Ingeniería*



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

## **ANEXO 1. Presupuestos**



## Anexo 1. 1. Presupuesto de instalación de lucernarios

El presupuesto descrito a continuación para la instalación de lucernarios según la propuesta 4, se ha realizado según la base de datos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) de 2015.

Tabla I. Cuadro de precios descompuesto para instalar los lucernarios

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Apertura del hueco</b>				
	h	Oficial 1ª vidrio	0,3	12,91	3,87	
	h	Oficial 2ª vidrio	0,3	11,00	3,30	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	8,91	0,18	
01.02	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>				
	m	Perfil metálico	1	8,37	8,37	
	h	Oficial 1ª aluminio	0,3	16,49	4,95	
	h	Oficial 2ª aluminio	0,3	12,95	3,89	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	18,94	0,38	
					<b>19,32</b>	
01.03	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación paneles policarbonato</b>				
	m	Placa policarbonato	1	32,82	32,82	
	h	Oficial 1ª aluminio	0,3	16,49	4,95	
	h	Oficial 2ª aluminio	0,3	12,95	3,89	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	43,39	0,87	
					<b>44,26</b>	
01.04	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Soldado</b>				
	m	Especialista de metal	0,3	14,10	4,23	
	h	Oficial 2ª vidrio	0,3	11,00	3,30	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	9,27	0,19	
					<b>9,46</b>	

Tabla II. Cuadro de mediciones de los lucernarios

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Apertura del hueco</b>						
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	8	1,50	15,00		180,00	
								<b>180,00</b>
01.02	m <sup>2</sup>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>						
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	8	1,50	15,00		180,00	
								<b>180,00</b>
01.03	m <sup>2</sup>	<b>Colocación paneles policarbonato</b>						
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	8	1,50	15,00		180,00	
								<b>180,00</b>
01.04	m <sup>2</sup>	<b>Soldado</b>						
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	8	1,50	15,00		180,00	
								<b>180,00</b>

Tabla III. Cuadro de presupuestos parciales para instalar los lucernarios

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Apertura del hueco</b>	1636,56	
01.02	<b>Colocación perfiles metálicos</b>	3477,88	
01.03	<b>Colocación paneles policarbonato</b>	7966,90	
01.04	<b>Soldado</b>	1702,10	
			<b>14783,44</b>

Se obtiene así el Presupuesto de Ejecución de Material (PEM) que asciende a 14783,44€. A este valor habrá que sumarle los Gastos Generales (15% del PEM) y el Beneficio Industrial (6% del PEM), lo que dará lugar al Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).

Para obtener el Presupuesto base de licitación, habrá que incluir además el IVA (21% del PEC):

Tabla IV. Presupuesto total para la instalación de lucernarios

<b>Presupuesto total de Ejecución de Material (PEM)</b>	14783,44€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	17887,96€
<b>Presupuesto Base de licitación</b>	<b>21644,43€</b>

## Anexo 1. 2. Presupuesto de mantenimiento de lucernarios

Tabla V. Cuadro de precios descompuesto de mantenimiento de lucernarios

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>				
	h	Operario	0,11	12,00	1,32	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90	1,74	
	%	Costes Directos	0,02	3,06	0,06	

Tabla VI. Cuadro de mediciones de mantenimiento de lucernarios

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>						
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	8	1,50	15,00		180,00	<b>180,00</b>

Tabla VII. Cuadro de mediciones precios parciales del mantenimiento de lucernarios

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>	517,88	<b>517,88</b>

Tabla VIII. Presupuesto total para el mantenimiento de lucernarios

<b>Presupuesto total de Ejecución de Material (PEM)</b>	<b>517,88€</b>
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	<b>626,64€</b>
<b>Presupuesto Base de licitación</b>	<b>758,23€</b>
<b>Presupuesto Base de licitación anual (5 años)</b>	<b>151,65€</b>



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

## **ANEXO 2. Luminaria**



Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

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



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

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

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

Leuchtenkörper aus schwarzem Phenol-Kunststoff, bis 140°C hitzebeständig, mit dem 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 verdrahtet mit wärmebeständigen Leitungen, fest montierte Schraubanschlußklemme 5 x 4 mm<sup>2</sup>. Leitungseinführung durch Kabelverschraubung PG16. Durchgangsverdrahtung über ausbrechbare Öffnung für zweite PG16-Verschraubung möglich.

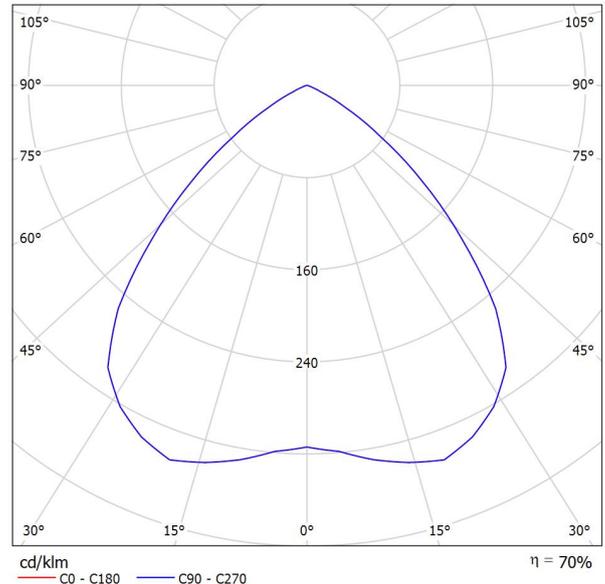
Aluminium-Reflektor semihochglänzend eloxiert, tiefbreitstrahlend. Bajonettverschlußartige Aufnahme des rotationssymmetrischen Reflektors.

Offene Ausführung:  
Zwangsventilation im Reflektor/Leuchtenkörper 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 Profilmidichtung und werkzeuglos bedienbaren Verschlüssen aus rostfreiem Stahl zur Erhöhung der Schutzart auf IP 54.

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

### Emisión de luz 1:



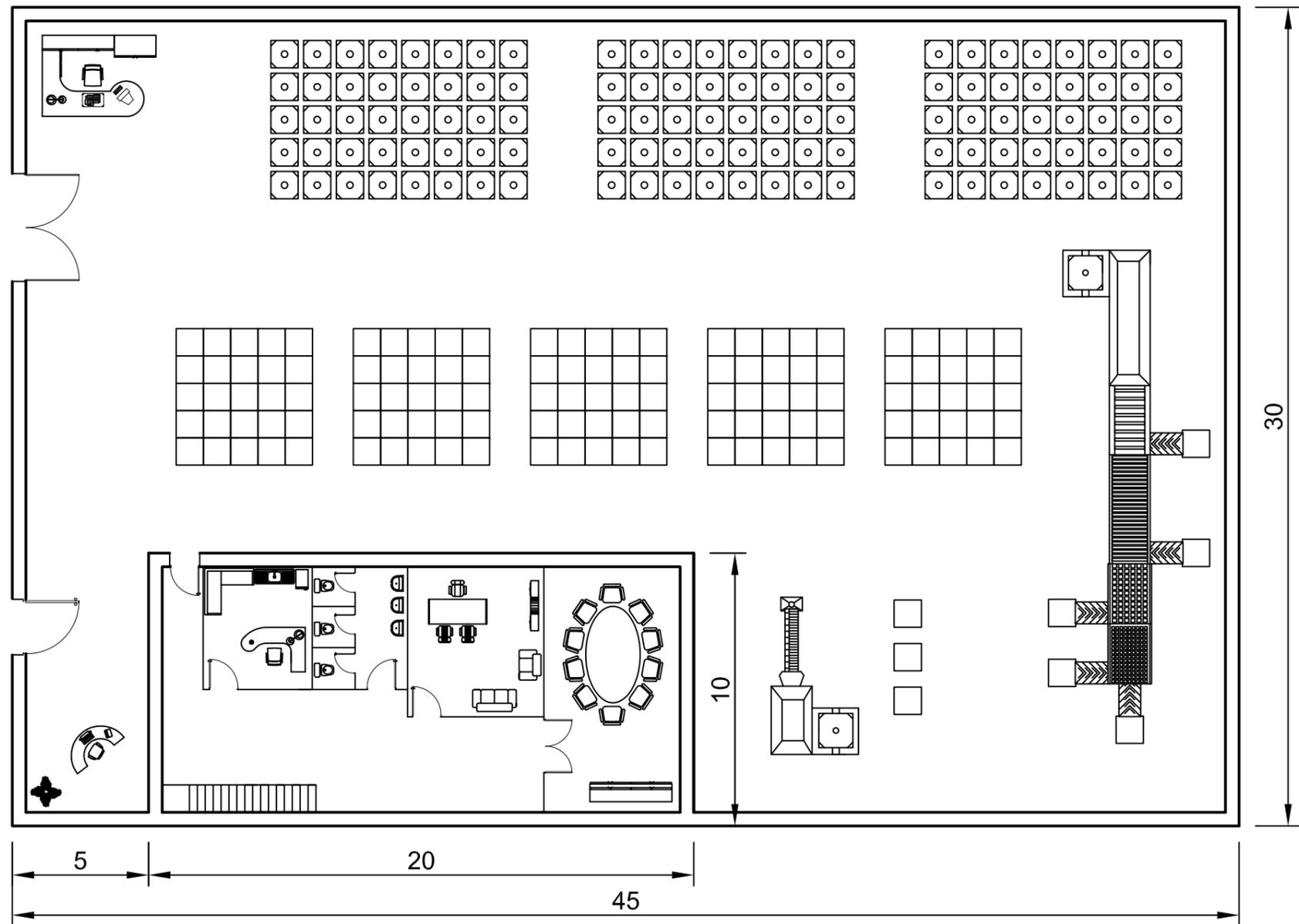
### Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR												
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tamaño del local	X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara				Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H		26.5	27.5	26.8	27.7	27.9	26.5	27.5	26.8	27.7	27.9
	3H		26.4	27.3	26.7	27.5	27.8	26.4	27.3	26.7	27.5	27.8
	4H		26.3	27.2	26.6	27.4	27.7	26.3	27.2	26.6	27.4	27.7
	6H		26.3	27.0	26.6	27.3	27.6	26.3	27.0	26.6	27.3	27.6
	8H		26.2	26.9	26.6	27.2	27.6	26.2	26.9	26.6	27.2	27.6
	12H		26.2	26.9	26.5	27.2	27.5	26.2	26.9	26.5	27.2	27.5
4H	2H		26.5	27.3	26.8	27.5	27.8	26.5	27.3	26.8	27.5	27.8
	3H		26.4	27.0	26.7	27.4	27.7	26.4	27.0	26.7	27.4	27.7
	4H		26.3	26.9	26.7	27.2	27.6	26.3	26.9	26.7	27.2	27.6
	6H		26.2	26.7	26.6	27.1	27.5	26.2	26.7	26.6	27.1	27.5
	8H		26.2	26.7	26.6	27.0	27.5	26.2	26.7	26.6	27.0	27.5
	12H		26.2	26.6	26.6	27.0	27.4	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
8H	4H		26.2	26.7	26.6	27.0	27.4	26.2	26.7	26.6	27.0	27.4
	6H		26.1	26.5	26.6	26.9	27.4	26.1	26.5	26.6	26.9	27.4
	8H		26.1	26.4	26.5	26.8	27.3	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3
	12H		26.0	26.3	26.5	26.8	27.3	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3
12H	4H		26.2	26.6	26.6	27.0	27.4	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
	6H		26.1	26.4	26.5	26.8	27.3	26.1	26.4	26.5	26.8	27.3
	8H		26.0	26.3	26.5	26.8	27.3	26.0	26.3	26.5	26.8	27.3
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias												
S = 1.0H		+1.1	-2.2		+1.1	-2.2						
S = 1.5H		+2.6	-6.8		+2.6	-6.8						
S = 2.0H		+4.4	-11.9		+4.4	-11.9						
Tabla estándar		BK00				BK00						
Sumando de corrección		6.8				6.8						
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 55500lm Flujo luminoso total												



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la limpieza, selección y envasado de patata.

### **ANEXO 3. Plano**



PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SIST.DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA LIMPIEZA, SELECCIÓN Y ENVASADO DE PATATA.

Plano: Distribución en planta de la nave  
 Autor: M<sup>a</sup> Paz García Simarro

Fecha: Julio 2016  
 Escala: 1:200

Nº Plano: 1