



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

## RESUMEN

En el presente Trabajo Final de Grado (TFG) se va a estudiar la posibilidad de instaurar un sistema de iluminación natural en una planta de producción de resina urea-formaldehído ubicada en Paterna, población que pertenece a la provincia de Valencia.

En primer lugar, se describirá la producción de la planta. Para ello se realizará una breve explicación de del sistema productivo que concierne la producción de esta resina, así como una descripción de la distribución en planta.

En segundo lugar, se estudiarán los diferentes sistemas de iluminación existentes, tanto artificiales como naturales y mixtos.

Tras esto, en una tercera parte del trabajo, se seleccionará uno de estos sistemas estudiados y se aplicará a la producción de la planta. Se realizará una estimación muy aproximada del nivel de iluminación del interior de la planta con el sistema de iluminación diseñado gracias al software específico, DIALux.

Finalmente, se analizarán los gastos que suponen tanto el sistema de iluminación artificial, como el sistema de iluminación mixta propuesto. Con este análisis se obtendrán unos ahorros del sistema de iluminación mixta con respecto al sistema de iluminación artificial y con ellos se podrá estimar la viabilidad económica de la sustitución del sistema de iluminación artificial por el sistema de iluminación mixto.

**Palabras clave:** sistema de iluminación natural, artificial y mixto.



## PRÓLOGO

Este TFG surge a raíz de la asignatura Construcción y Arquitectura Industrial cursada en la mención de Diseño y Seguridad Industrial del Grado de Ingeniería Química. Esta asignatura abrió los ojos a muchos de los alumnos que la cursaron, pues presentó competencias de la profesión de ingeniero químico poco desarrolladas durante la carrera.

Este proyecto me ha resultado realmente entretenido, a la vez que apasionante, pues ha hecho que lo que antes era una predilección por la construcción y la edificación, ahora sea pasión. Haciendo que esté planteándome la posibilidad de continuar mis estudios en esta rama de la ingeniería y poder ser algún día una Ingeniera Química especializada en la Construcción.

Finalmente, quería dedicar estas líneas para agradecer tanto a mi tutora como a mi familia. En primer lugar, agradecer M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana su dedicación con los alumnos y su forma de transmitir sus conocimientos, pues logra despertar un gran interés en cada uno de estos. Por último, quería dar las gracias a mi familia que han estado apoyándome en todas las etapas de mi paso por la universidad.

## ÍNDICE

INDICE DE IMÁGENES.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	7
1. OBJETIVO.....	8
2. RESINA UREA-FORMALDEHÍDO.....	9
3. PROCESO PRODUCTIVO.....	10
3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	10
3.2. ALMACENAMIENTO.....	10
3.3. CALENTAMIENTO .....	11
3.4. CONDENSACIÓN .....	11
3.5. DEGRADACIÓN .....	12
3.6. ENFRIAMIENTO .....	12
3.7. FILTRACIÓN .....	12
3.8. ENVASADO .....	12
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	14
4.1. POTENCIAS UNITARIAS.....	15
4.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	17
5. ILUMINACIÓN.....	18
5.1. TIPOS DE ILUMINACIÓN .....	18
5.2. REQUERIMIENTOS.....	18
5.2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN. ....	19
5.3. ILUMINACIÓN NATURAL .....	21
5.3.1. FUNDAMENTOS DE LA ILUMINACIÓN NATURAL .....	23
5.3.2. METODOS DE CÁLCULO.....	24
5.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL .....	26
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	27
6.1. PROPUESTAS .....	29
6.2. SIMULACIÓN DIALUX.....	33
7. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	34
7.1. EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	36
7.1.1. PROPUESTA 1: 20 lucernarios de 10 m <sup>2</sup> cada uno. ....	36
7.1.2. PROPUESTA 2: 20 lucernarios de 20m <sup>2</sup> cada uno.....	40
7.1.3. PROPUESTA 3: 2 ventanales, en fachada Norte y Sur de 3,5 metros de alto. ....	43

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

7.1.4.	PROPUESTA 4: 2 ventanales, en fachada Norte y Sur, de 4 de alto.....	46
7.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	49
7.3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA SELECCIONADA.....	51
8.	ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	55
8.1.	EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN NATURAL .....	57
8.1.1.	CASO 0: 100% Iluminación artificial .....	57
8.1.2.	CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural .....	57
8.1.3.	CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural .....	58
9.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	59
9.1.	FACTURACIÓN ELÉCTRICA .....	59
9.1.1.	ILUMINACIÓN MIXTA. ....	64
9.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	66
9.2.1.	GASTOS ANUALES.....	66
9.2.2.	CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO. ....	68
10.	CONCLUSIONES .....	70
11.	BIBLIOGRAFIA.....	71
	ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA.....	72
	ANEXO 2: PRESUPUESTO .....	74
1.	PRESUPUESTOS ASOCIADOS A LOS LUCERNARIOS. ....	75
2.	PRESUPUESTOS ASOCIADOS A LAS LUMINARIAS.....	79

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Diagrama de flujo de la producción de resina de urea formaldehído. ....	13
Imagen 2. Períodos de tarificación en la tarifa 6.1A. ....	16
Imagen 3. Distribución en planta. ....	17
Imagen 4. Tabla 2.1 del CTE DB HE3. ....	20
Imagen 5. Tipología de sistemas de luz natural. Fuente: Poliformat. Apuntes de Construcción y Arquitectura industrial. ....	22
Imagen 6. Incidencia de la luz solar sobre un plano. Fuente: Ovacen. ....	23
Imagen 7. Curva de obtención del factor de reducción ventana-muro. Fuente: Poliforma't. Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial. ....	25
Imagen 8. Distribución de las diferentes zonas de iluminación. ....	27
Imagen 9. Vista en planta, propuesta 1. Fuente: Simulación del programa DIALux. ....	29
Imagen 10. Vista en 3D de la nave, propuesta 1. Fuente: Simulación del programa DIALux. ....	30
Imagen 11. Vista en 3D de la nave, propuesta 1. Fuente: Simulación del programa DIALux. ....	30
Imagen 12. Vista en 3D de la nave, propuesta 2. Fuente: Simulación del programa DIALux. ....	31
Imagen 13. Vista en 3D del ventanal en fachada Norte, propuesta 3. ....	31
Imagen 14. Vista en 3D del ventanal en fachada Sur, propuesta 3. ....	32
Imagen 15. Vista en 3D del ventanal en fachada Norte, propuesta 4. ....	32
Imagen 16. Vista en 3D del ventanal en fachada Sur propuesta 4. ....	32
Imagen 17. Consideraciones previas al cálculo de deslumbramiento. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Imagen 18. Zona sensible a deslumbramientos. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Imagen 19. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux. ....	36
Imagen 20. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux. ....	37
Imagen 21. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux. ....	37
Imagen 22. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	37
Imagen 23. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	38
Imagen 24. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux. ....	40
Imagen 25. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux. ....	40
Imagen 26. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux. ....	41
Imagen 27. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	41
Imagen 28. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	41
Imagen 29. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux. ....	43
Imagen 30. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux. ....	43
Imagen 31. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux. ....	44
Imagen 32. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	44
Imagen 33. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	44
Imagen 34. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux. ....	46
Imagen 35. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux. ....	46
Imagen 36. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux. ....	47
Imagen 37. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	47
Imagen 38. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux. ....	47
Imagen 39. Perfil de planta con ventanales. ....	51
Imagen 40. Vista 3D de la nave con ventanales. Fuente: DIALux. ....	51
Imagen 41. Área donde se encuentra el pico de iluminación. ....	53
Imagen 42. Colocación de estantería para filtros y útiles de la envasadora. ....	54

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Imagen 43. Emisión de luz de PHILIPS Leuchten GentleSpace. Fuente: DIALUX ..... 56  
Imagen 44. Distribución de la iluminación artificial en la planta. Fuente: DIALux. .... 56



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencia requerida por el proceso productivo.....	15
Tabla 2. Leyenda Imagen 3.....	17
Tabla 3. Número de puntos mínimos a considerar en el cálculo de E <sub>m</sub> . Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial, Poliforma't. ....	21
Tabla 4. Leyenda Imagen 8.....	27
Tabla 5. Índices medios de iluminación según la UNE-12464.1.....	28
Tabla 6. Coeficientes de reflexión introducidos en DIALux.....	33
Tabla 7. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2. Fuente: DIALux.....	38
Tabla 8. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2. Fuente: DIALux. ....	39
Tabla 9. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2. Fuente: DIALux.....	42
Tabla 10. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2. Fuente: DIALux. ....	42
Tabla 11. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 3. Fuente: DIALux.....	45
Tabla 12. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 3. Fuente: DIALux. ....	45
Tabla 13. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 4. Fuente: DIALux.....	48
Tabla 14. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 4. Fuente: DIALux. ....	48
Tabla 15. Requerimientos para el análisis de resultados.....	49
Tabla 16. Comparación de los resultados de las 4 propuestas realizadas. ....	49
Tabla 17. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2 con ventanales. Fuente: DIALux. ....	52
Tabla 18. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2 con ventanales. Fuente: DIALux.....	52
Tabla 19. Resultados VEEI Caso 0.....	57
Tabla 20. Resultados VEEI Caso 1.....	57
Tabla 21. Resultados VEEI Caso 2.....	58
Tabla 22. Precios de cada periodo de tarificación del término de potencia en €/kW año.....	59
Tabla 23. Precios de cada periodo de tarificación del término de energía en €/kWh.....	60
Tabla 24. Horas trabajadas según periodo de facturación. ....	60
Tabla 25. Coste del término de potencia. ....	61
Tabla 26. Cálculo de la potencia consumida por las luminarias.....	62
Tabla 27. Coste del término de energía. ....	62
Tabla 28. Coste del impuesto eléctrico. ....	63
Tabla 29. Descomposición gastos de la factura eléctrica.....	63
Tabla 30. Descomposición gastos de la factura eléctrica, CASO 1.....	64
Tabla 31. Descomposición gastos de la factura eléctrica, CASO 2.....	65
Tabla 32. Resumen costes de la factura de la luz en función de la utilización de las luminarias. ....	65
Tabla 33. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 100% iluminación artificial.....	66
Tabla 34. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 10% iluminación artificial.....	66
Tabla 35. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 30% iluminación artificial.....	66
Tabla 36. Comparativa del gasto eléctrico en función del uso de las luminarias. ....	67
Tabla 37. Comparativa del coste anual de renovación de luminarias en función de su uso. ....	67

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Tabla 38. Comparativa del gasto anual en función del uso de las luminarias. ....	67
Tabla 39. Datos iniciales para el cálculo del VAN. ....	68
Tabla 40. Cálculo VAN para los diferentes casos. ....	68
Tabla 41. Cálculo del TIR para los diferentes casos. ....	69
Tabla 42. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural. ....	76
Tabla 43. Cuadro de mediciones del sistema de iluminación natural. ....	77
Tabla 44. Cuadro de precios parciales del sistema de iluminación natural. ....	77
Tabla 45. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural. ....	78
Tabla 46. Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de los lucernarios. ....	78
Tabla 47. Cuadro de mediciones del mantenimiento de los lucernarios. ....	78
Tabla 48. Cuadro de precios parciales del mantenimiento de los lucernarios. ....	78
Tabla 49. Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios. ....	78
Tabla 50. Presupuesto anual de mantenimiento de los lucernarios. ....	79
Tabla 51. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de las luminarias. ....	79
Tabla 52. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias. ....	79
Tabla 53. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias. ...	80
Tabla 54. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias. ....	80
Tabla 55. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias. ....	80
Tabla 56. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural. ....	80
Tabla 57. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural. ....	81
Tabla 58. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural. ....	81
Tabla 59. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias, ....	81
Tabla 60. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias, ....	81
Tabla 61. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural. ....	82
Tabla 62. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural. ....	82
Tabla 63. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural. ....	82
Tabla 64. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias, ....	82
Tabla 65. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias, ....	83

## ÍNDICE DE ECUACIONES

( 1 ) Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.....	19
( 2 ) Número de puntos mínimos a considerar en el cálculo de $E_m$ .....	20
( 3 ) Nivel medio de iluminación.....	24
( 4 ) Factor de ventanas.....	24
( 5 ) Cálculo del total de la factura eléctrica.....	59
( 6 ) Término de potencia .....	61
( 7 ) Término de energía .....	61
( 8 ) Impuesto eléctrico .....	62
( 9 ) VAN .....	68

## 1. OBJETIVO

Los objetivos del presente Trabajo Final de Grado (TFG) son los siguientes:

- Estudiar los diferentes sistemas de iluminación natural existentes y seleccionar el que mejor se adapte a la planta de estudio.
- Estudiar la normativa vigente en aspectos de requerimientos de iluminación mínimos y de eficiencia energética.
- Diseñar un sistema de iluminación natural que se adapte a los requerimientos de la planta basándose en el método de cálculo.
- Realizar una simulación del nivel de iluminación en el interior de la planta con un software específico (DIALux), adquiriendo el dominio necesario de este.
- Comparar la eficiencia energética de un sistema de iluminación artificial con diferentes propuestas de sistemas de iluminación mixtos.
- Realizar un presupuesto del sistema de iluminación natural escogido (instalación y mantenimiento).
- Calcular el gasto anual que supondría un sistema de iluminación artificial y compararlo con el gasto anual de un sistema de iluminación mixta, es decir, con un porcentaje de iluminación artificial y otro, mayor, de iluminación natural.
- Estudiar la viabilidad económica de los sistemas iluminación mixtos propuestos.

## 2. RESINA UREA-FORMALDEHÍDO

La resina de urea-formaldehído es un polímero producto de la reacción de condensación que se da entre la urea (cristal blanco obtenido de la síntesis de amoníaco con CO<sub>2</sub>) y una disolución acuosa de formaldehído (gas obtenido a partir de metanol).

En la reacción de la urea con el formaldehído se forman puentes metilénicos entre los átomos de nitrógeno (provenientes de la urea), los cuales dan lugar a enlaces covalentes fuertes. Es por esto que el polímero resultante tendrá una estructura tridimensional, la cual no se romperá hasta que no se llegue a la temperatura que provoque la degradación térmica, aproximadamente 90°C.

La principal aplicación de esta resina son los fertilizantes de liberación lenta, siendo también muy utilizada como adhesivo en los tableros de aglomerado.

- **Tableros de aglomerado**

Existen diferentes formas comerciales en la que se puede encontrar los tableros de madera, MDF (Medium Density Fiderboard), aglomerado chapado, contrachapado, tablex plastificado, aglomerado sin cubrir, aglomerado plastificado, madera macizo, tablex.

La resina de urea formaldehído, como se ha mencionado antes, es el adhesivo que conforma el aglomerado. Los tableros de aglomerado están formados de virutas de madera prensadas y encoladas.

Dentro de los tableros de aglomerado existen diferentes tipos: aglomerado sin cubrir, plastificado con melanina, laminado o chapado y de fibras orientadas, también llamados OSB. La principal diferencia entre ellos es el acabado, pues el recubrimiento que llevan puede ser plástico o de madera o no llevar ningún tipo de recubrimiento.

- **Fertilizantes de liberación lenta**

Con la aplicación de abonos convencionales a la tierra, la planta se beneficiaba de nutrientes de manera inmediata. Esto provocaba que, en ocasiones, bien por la falta de regularidad en el abonado o bien por una aplicación deficiente de los fertilizantes, la planta sufría una sobredosis de nutrientes, conduciendo a un crecimiento irregular de la planta y/o afecciones en el sistema radicular.

Es por ello que se crearon los fertilizantes de liberación lenta, los cuales proporcionan nutrientes a las plantas de una manera lenta y por un periodo largo de tiempo. Dentro de este tipo de fertilizantes se tienen diferentes tipos: recubiertos, de baja solubilidad y con inhibidores de la nitrificación.

La urea formaldehído estaría dentro de los fertilizantes de baja solubilidad, que necesitan grandes cantidades de agua para el completo rendimiento del fertilizante, asegurando que la concentración de nitrógeno en el suelo será de las más bajas posibles.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Además de estas aplicaciones, estas resinas también son utilizadas como imprimaciones y esmaltes de secado al horno y como barnices para suelos de madera, entre otras.

### 3. PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo de la planta de estudio se basa en la reacción de policondensación que se da entre la urea y una solución acuosa de formaldehído. Este tipo de reacciones se fundamentan en la reacción de dos moléculas, con grupos funcionales reactivos en sus extremos. En ellas se desprende moléculas como pueden ser H<sub>2</sub>O, HCl, NH<sub>3</sub>, etc.

Para que este tipo de reacciones se lleven a cabo se debe de tener en cuenta las condiciones de temperatura, presión y pH del medio que debe de tener el reactor en cada momento de la reacción.

A continuación, se describirán las diferentes etapas que ocurren en la planta, reflejadas en el diagrama de bloques adjunto al final del apartado.

#### 3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Como primera etapa de este proceso productivo se tiene la recepción de la materia prima y su control de calidad. Pues no se almacenará ninguna materia prima que no cumpla con los requisitos de calidad establecidos por la empresa.

La materia prima de este sistema productivo viene en forma líquida (solución acuosa de formaldehído, ácido fórmico) o en forma sólida (urea, agente estabilizadores, catalizadores, etc). Según el estado en el que venga dicha materia prima se realizará la descarga según un complejo sistema de tuberías (estado líquido), que depositará el producto en el tanque de almacenamiento correspondiente, o mediante carretillas elevadoras (estado sólido) que transportarán el producto hasta el almacén de materia prima.

#### 3.2. ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de la materia prima variará en función:

- Estado de recepción:
  - Líquido: Almacenamiento en tanques de capacidad variable, en función de las necesidades de producción, stock de seguridad y disposición del proveedor.
  - Sólido: En función del packaging del proveedor se almacenará en silos o paletizados en el almacén de materia prima.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

- Condiciones de almacenamiento:  
Habrá que tener en cuenta la ficha de seguridad proporcionada por el fabricante para evitar posibles situaciones peligrosas como:
  - Reacciones con el aire o con productos también utilizados en la planta.
  - Solidificaciones o degradación del producto causadas por la temperatura.
  - Aglomeración del producto por contacto con la humedad del ambiente. (Sólo materia sólida)

### 3.3. CALENTAMIENTO

En esta etapa se realiza la mezcla de la urea (en estado sólido) con la solución acuosa de formaldehído. Para que estos reaccionen el reactor deberá tener las condiciones de presión y temperatura adecuadas, además de necesitar la adición de catalizadores adecuados.

Por otro lado, en esta etapa también se adicionarán los aditivos necesarios y agentes estabilizantes requeridos para cada cliente, en función de la aplicación para la que vaya a ser utilizada la resina final o las características deseadas de la misma.

Por requerimientos de la reacción, esta etapa deberá tener lugar en un medio básico, por tanto, se añadirá la sosa caustica necesaria para llevar el medio al pH requerido. Una vez, todos los reactivos y demás componentes de la resina se encuentran en el reactor se sitúa el reactor a 70°C, lo cual favorecerá el avance de la reacción.

### 3.4. CONDENSACIÓN

En la presente etapa, se lleva a cabo la reacción de condensación, la cual se produce entre las especies hidroximetilurea, creadas en la etapa anterior, por la reacción de la urea y el formaldehído.

Para que la reacción tenga lugar se añadirá ácido fórmico, con el objetivo de adecuar el pH a las necesidades de reacción. Tras esto, se situará el reactor a 90°C, aproximadamente, y se mantendrá esta temperatura durante un tiempo estipulado.

Es importante vigilar el grado de condensación, es decir, el peso molecular de las moléculas creadas; ya que, a mayor peso molecular la solubilidad en el agua será menor. Es por esto que tras esta etapa habrá un control de calidad, el cual determinará si se puede proceder a la degradación del polímero o se deben realizar los ajustes oportunos para conseguir el grado de condensación deseado.

### 3.5. DEGRADACIÓN

Por último se realiza la segunda adición de urea con el objetivo de disminuir el contenido de formaldehído de la resina, debido a su elevada toxicidad de este producto para el ser humano. Esta etapa se conoce como “degradación del polímero” porque al adicionar de nuevo urea se rompe la reacción entre la urea y el formaldehído.

Para ello, previamente se ha de asegurar un pH básico adicionando NaOH. Una vez, transcurrido el tiempo necesario para que la degradación sea la adecuada se parará la agitación y se llevará una muestra a analizar al laboratorio de calidad, para observar si el producto obtenido cumple con las especificaciones del cliente o no. En el caso de que no las cumpliera, se deberá realizar una serie de procedimientos que pueden variar desde volver a adicionar urea hasta dejar más tiempo la agitación.

### 3.6. ENFRIAMIENTO

Debido a las condiciones de reacción, la resina se encuentra, aproximadamente, a 90°C. Por tanto, es necesario bajar esta temperatura, de forma controlada, a temperaturas más adecuadas para su manipulación a través de los filtros.

### 3.7. FILTRACIÓN

Una vez enfriado el producto este se ha de filtrar, para asegurar que no haya partículas y la calidad del producto que sale de la planta sea la esperada por el cliente. Para ello se hace pasar la resina por distintos filtros de bolsa con diferentes tipos de luz en la malla.

Tras esta filtración, se pasa una muestra de la resina filtrada al laboratorio para comprobar que el filtrado ha ido bien y no quedan partículas en la resina que puedan provocar una mala calidad en el producto.

### 3.8. ENVASADO

El envasado es la última etapa de este proceso productivo. Una vez el laboratorio ha confirmado que el producto está libre de partículas, se puede envasar la resina en contenedores para enviarla al cliente, o bien, envasarla en tanques de almacenamiento final para esperar que venga una cisterna que se la entregue al cliente.



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.

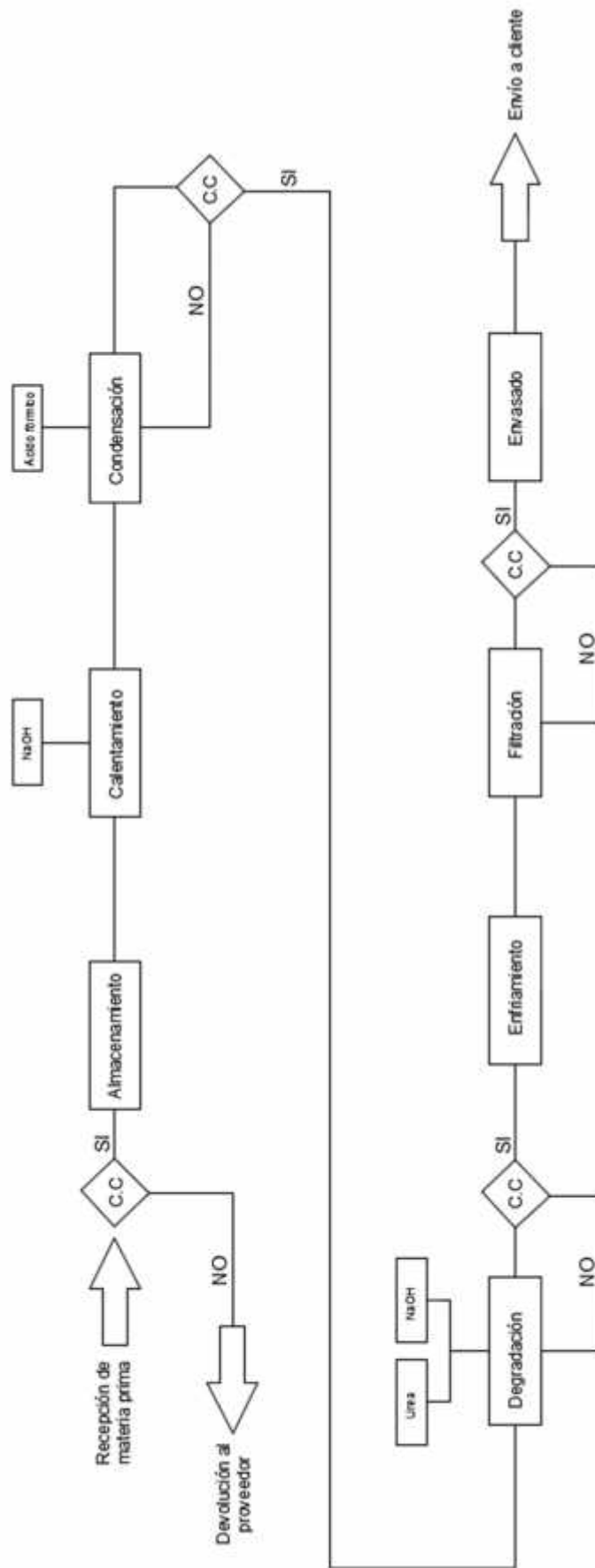


Imagen 1. Diagrama de flujo de la producción de resina de urea formaldehído.

## 4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se darán detalles acerca de la instalación, como pueden ser los reactores o el circuito de calefacción.

Según se ha descrito en el proceso productivo hay tres tipos de tanques: reactores, tanques de almacenamiento y tanques de control.

Los reactores son aquellos donde ocurre algún tipo de reacción, como por ejemplo en las etapas de condensación y degradación.

Este tipo de tanques tienen una camisa y/o serpentín interno, dependiendo de las necesidades de la reacción, por el cual pasará un glicol para calentar el contenido del reactor, cuando la reacción lo requiera. Además de tener un circuito de calefacción, irán totalmente aislados con una capa de lana de roca de, aproximadamente, 5 cm de espesor y una chapa de aluminio exterior que actuará como embellecedor.

El volumen del reactor variará en función de las necesidades de producción y estarán sustentados sobre patas al suelo de la nave.

En segundo lugar, se tienen los tanques de almacenamiento, bien de producto acabado o bien de materia prima. Estos tanques tendrán un volumen acorde a la demanda de producción y disponibilidad del proveedor de servir el producto.

Además, se adecuarán a las condiciones de almacenamiento requeridas de cada producto (citadas por el proveedor en la ficha de seguridad), es decir, que irán aislados (para evitar calentamiento del producto por la temperatura ambiente) y/o traceados (cuando sea necesario que estén a una temperatura más elevada que la ambiente, por ejemplo 45°C), también pueden estar aislado de las condiciones atmosféricas como pueden ser el oxígeno y la humedad (mediante una inertización del tanque).

Por último, se tienen los tanques de control, son aquellos tanques necesarios para que espere el producto hasta que el laboratorio dé el resultado del control de calidad, como por ejemplo en la etapa de enfriamiento. Este tipo de tanques tiene el volumen de un lote de fabricación, aproximadamente 50 toneladas, y están conectados por tuberías al reactor donde se produce la degradación del polímero y a los filtros donde se realizará la siguiente etapa.

Estos tanques no requieren de aislamiento térmico, pues en esta etapa interesa que se enfríe el producto. Sin embargo, están dotados de un serpentín exterior por el que circulará agua a temperatura ambiente, con el objetivo de enfriar el producto una vez se tiene la conformidad del laboratorio.

Por otro lado, se tienen las calderas que aportarán el fluido térmico necesario para llevar a la temperatura deseada los reactores, mediante el lazo de temperatura individual del que disponen cada uno de ellos.

Estas calderas elevarán el fluido térmico a 130°C, esta temperatura se encuentra por encima de la requerida por los reactores, pero es necesaria para conseguir un rápido alcance del set-point de temperatura impuesta.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

A través de un complejo sistema de tuberías se hace llegar este glicol hasta todos los reactores que reclamen un calentamiento. Las tuberías del sistema de calefacción deberán estar perfectamente aisladas, con lana de roca de un espesor de 5 centímetros, para evitar cualquier tipo de pérdida de calor.

#### 4.1. POTENCIAS UNITARIAS

Como se ha descrito en el apartado anterior, la planta requiere de un cierto número de equipos, como pueden ser:

- Bombas: para transportar el producto de un tanque a otro, o para hacer llegar el fluido térmico a todos los equipos que lo requieran.
- Agitadores: para homogeneizar el producto y asegurar que el avance de la reacción sea el mismo para todo el reactor.
- Caldera: la cual adecua el fluido térmico a la temperatura necesaria para que las reacciones se produzcan de manera controlada y/o el producto se encuentre a la temperatura esperada.
- Iluminación artificial: con el objetivo de alcanzar los requisitos de iluminación que determina la UNE-12464.1, actualmente, hay instaladas un total de 35 luminarias de tipo LED, las cuales se describirán en el apartado 8.
- Baterías de las carretillas elevadoras: como en la planta se trabaja con carretillas elevadoras eléctricas, es necesario disponer de unas baterías para poder cargar dichas carretillas.

Seguidamente, se adjuntará una tabla donde figura la potencia consumida por cada elemento que compone la instalación y, por consiguiente, la potencia total que requiere la instalación.

**Tabla 1. Potencia requerida por el proceso productivo.**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia unitaria (kW)</b>	<b>Potencia Total (kW)</b>
Bombas	10	7,5	75
Agitadores	6	30	180
Caldera	1	15	15
Envasadora	1	22,40	22,40
Luminarias	35	0,267	9,345
Tomas de corriente	15	3,68	55,2
Tomas de corriente trifásica	23	10	230
Batería de las carretillas elevadoras	5	10	50
		<b>TOTAL</b>	<b>636,945</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Como se puede observar la potencia instalada es superior a 450 kW. Por tanto, la planta se encuentra en la tarifa 6.1A, la cual consta de seis periodos de tarificación que varían en función de la hora de día y de la época del año. A continuación, se muestra una imagen donde se detallan los periodos según el mes y la hora.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Edificios y mes. de semana
						1 al 15	16 al 30							
0hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
2hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
3hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
4hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
5hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
6hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
7hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
8hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
9hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
10hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
11hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
12hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
13hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
14hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
15hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
16hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
17hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
18hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
19hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
20hr:	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
21hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
22hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
23hr:	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
24hr:	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5

**Imagen 2.Periodos de tarificación en la tarifa 6.1A.**

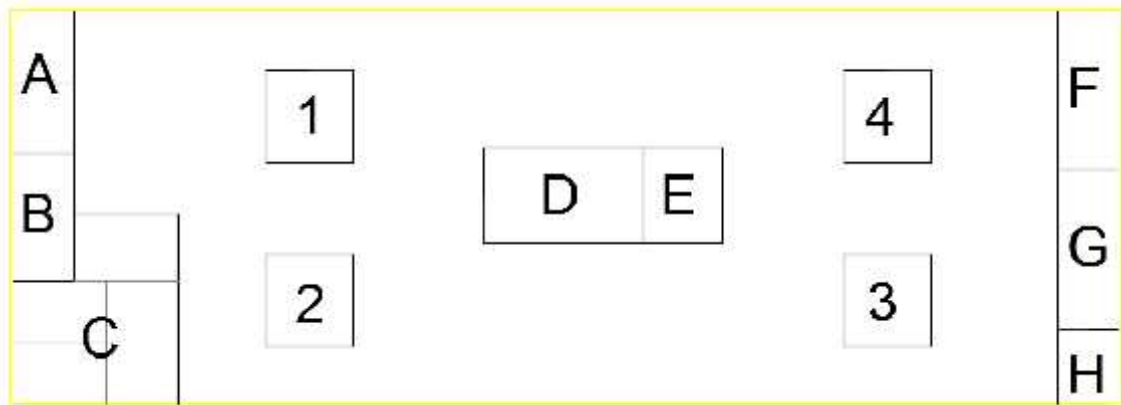
#### 4.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La planta de estudio está compuesta por una nave de 1.700 metros cuadrados, donde se encuentra el proceso productivo en una zona diáfana de 1.426 metros cuadrados. En esta zona se puede observar los reactores de la etapa de condensación (1), seguidos por los de la etapa de degradación (2) y los tanques de enfriamiento y control (3). Por último está la zona de filtración y envasado (4), la cual está situada junto al muelle de carga, donde cuando el producto es envasado en contenedores se lleva automáticamente al camión que lo transportará hasta el cliente.

En el centro de esta zona diáfana se encuentra la sala de control de procesos (E) y el laboratorio de control de calidad (D), los cuales están integrados en la distribución en planta del proceso productivo debido a la estrecha vinculación que tienen con este.

Por otro lado, se tienen los servicios auxiliares, como la sala de calderas (F), los vestuarios (A) y las oficinas (C), entre otros. Este tipo de zonas se encuentran alrededor del proceso productivo, pues son necesarias para el trabajo del personal de planta, pero no necesarios para el correcto funcionamiento del proceso productivo.

En la siguiente imagen se puede encontrar la distribución en planta de la industria de estudio, explicada en los párrafos anteriores.



**Imagen 3. Distribución en planta.**

**Tabla 2. Leyenda Imagen 3.**

A	Vestuarios	E	Sala de control	1	Reacción
B	Comedor	F	Sala de calderas	2	Degradación
C	Oficinas	G	Talleres	3	Enfriamiento
D	Laboratorio	H	Almacén de carretillas	4	Filtración y envasado

La tipología estructural de la nave son pórticos a dos aguas, con una inclinación de 5°. La luz de los pórticos es de 25 metros con una profundidad de 70 metros, es decir, que la nave consta de 15 pórticos separados por una crujía de 5 metros. La altura de pilares es de 9 metros y la de cumbrera de 10 m.

## 5. ILUMINACIÓN

La iluminación en el puesto de trabajo debe permitir al trabajador realizar las tareas necesarias en dicho puesto con total seguridad. Para ello será necesario contar con ciertas características luminosas, como son la buena visibilidad y el confort visual.

La empresa deberá tener en cuenta estas características a la hora de diseñar el puesto de trabajo, con el objetivo de asegurar la mínima fatiga visual del operario, un desarrollo de las actividades sin riesgo para la seguridad y la salud, tanto del propio operario que está realizando la actividad como de los demás trabajadores que se encuentran en la planta, y un ahorro energético de la planta.

### 5.1. TIPOS DE ILUMINACIÓN

Existen cuatro tipos de iluminación, en función de la procedencia (natural o artificial) y en función de su uso (general o localizada).

- Iluminación natural: es aquella procedente del Sol que se utiliza en la industria para obtener un confort natural y, además, generar un ahorro energético.
- Iluminación artificial: es suministrada por fuentes de energía.
- Iluminación general: se encuentra repartida uniformemente por toda la zona.
- Iluminación localizada: es aquella que se sitúa en un punto específico debido a una necesidad, como por ejemplo un puesto de control de calidad.

### 5.2. REQUERIMIENTOS

Cada tipo de actividad requiere de unos niveles de iluminación diferentes, en función de la precisión que se requiere para la realización de la actividad, el tamaño y la distancia del ojo al objeto, la movilidad del mismo, etc.

Con el objetivo de regular estas necesidades de iluminación en la industria se han creado diferentes normas como son la DIN 5035, el RD 486/1997 y la UNE 12464.1. Además de estas normas tanto la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OGSHT) como el Código Técnico de Edificación (CTE) establecen unas pautas a la hora de diseñar la nueva construcción.

Todas ellas establecen que siempre que sea posible se deberá utilizar iluminación natural en el puesto de trabajo, dadas las numerosas ventajas tanto para la economía de la empresa (ahorro energético) como para el propio trabajador (ventajas tanto físicas como emocionales).

Con el objetivo de asegurar la seguridad y la salud del trabajador se deberá intensificar la luz en las zonas donde haya riesgo de caída, donde se encuentren las máquinas más peligrosas o exista cualquier otro tipo de riesgo.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Además, para conseguir una uniformidad adecuada en toda la zona, se deberá de graduar la luz en las zonas en las que se comuniquen dos áreas con distinta intensidad lumínica.

Por último, se deberán evitar los reflejos y deslumbramientos, es decir, se evitarán situaciones en las que sea posible que los rayos de sol incidan sobre los ojos del trabajador con un ángulo inferior a 30º con respecto a un plano teórico horizontal situado a la altura de los ojos del trabajador.

En cada una de estas normativas se incluye una tabla en la que se establecen la iluminación necesaria, medida en luxes, en función de la actividad a realizar o de las exigencias de visuales.

Además de esto, el CTE establece un procedimiento de verificación para asegurar que el sistema de iluminación artificial de la planta cumple con las necesidades del trabajador.

### 5.2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN.

El Código Técnico de la Edificación establece que en todas las edificaciones, que así lo permitan, la aportación de luz natural en el interior deberá ser obligatoria. Esto deberá realizarse mediante la instalación y utilización de sistemas de control y regulación de la luz natural.

Para asegurarse que la iluminación de la instalación es suficiente, el CTE crea un procedimiento de verificación. Este procedimiento se basa en el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) por cada 100 luxes mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (1)$$

$P$  Potencia de la luminaria (W)

$S$  Superficie iluminada (m<sup>2</sup>)

$E_m$  Nivel de iluminación medio (luxes)

El resultado de esta operación se compara con la *Tabla 2.1. del CTE DB HE3*, de la cual se adjunta una imagen a continuación.

**Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación**

<b>Zonas de actividad diferenciada</b>	<b>VEEI límite</b>
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico <sup>(1)</sup>	3,5
aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes <sup>(4)</sup>	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
estaciones de transporte <sup>(6)</sup>	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	6,0
religioso en general	6,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 800lux	2,5

**Imagen 4. Tabla 2.1 del CTE DB HE3.**

Por tanto, una instalación será eficientemente energética, siempre y cuando, el valor calculado no supere el límite de dicha tabla.

El número de puntos a considerar en el cálculo del nivel medio de iluminación ( $E_m$ ) dependerá del parámetro  $k$ , el cual se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)} \quad (2)$$

- $L$  Longitud del local
- $A$  Anchura del local
- $H$  Distancia del plano de trabajo a las luminarias

En función del valor obtenido, se obtendrá el número de puntos mínimo en función de la siguiente tabla.



*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 3. Número de puntos mínimos a considerar en el cálculo de  $E_m$ . Fuente: Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial, Poliforma't.**

Valor de k	Puntos mínimos
$k > 1$	4
$2 > k \geq 1$	9
$3 > k \geq 2$	16
$k > 3$	25

El software utilizado (DIALux) utilizará un número de puntos de luz mucho mayor que el mínimo que marca la zona.

### 5.3. ILUMINACIÓN NATURAL

Como se ha mencionado en el apartado anterior, siempre que sea posible se ha de emplear la iluminación natural como base de la iluminación de la planta.

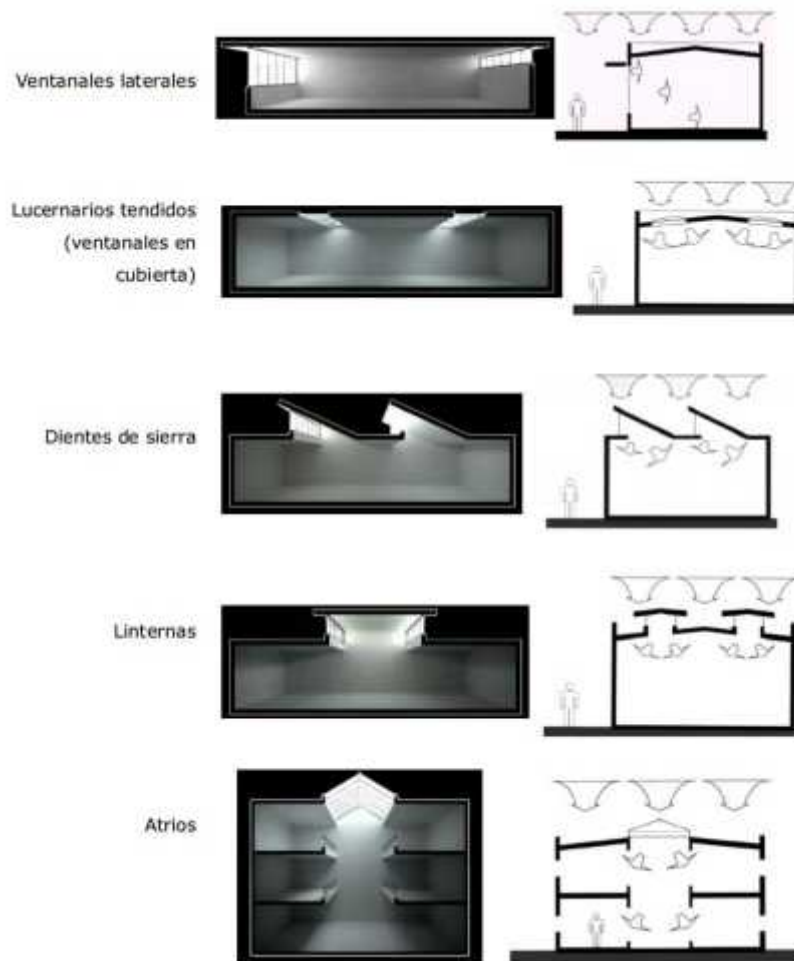
Para conseguir tal objetivo habrá que tener ciertas consideraciones. En primer lugar, la distribución en planta y dimensiones del sistema productivo. Se deberán tener en cuenta las dimensiones de los objetos situados en la zona a iluminar y la ubicación de los mismos, para evitar las sombras producidas por el movimiento del sol durante el día.

También se deberá tener en cuenta el material del que están contruidos estos, ya que se podrían producir reflejos y, con ello, posibles deslumbramientos. Con este objetivo, la OGSHT, recomienda pintar los depósitos y demás objetos situados en la zona de producción con un color mate.

En segundo lugar, se tienen los niveles luminotécnicos requeridos según las normativas, anteriormente mencionadas. En este caso de estudio, se empleará la UNE-12464.1 pues es la "Normativa Europea sobre Iluminación para Interiores" y detalla los luxes necesarios en función de cada activada, ya sea para oficinas o para las actividades productivas.

Por último, están los múltiples sistemas de iluminación natural existentes. En función de la disposición de las aberturas podrán considerarse como proveedores de luz cenital, lateral o combinada. Normalmente, se suelen clasificar en cinco tipos: ventanales laterales (iluminación lateral), lucernarios tendidos (iluminación cenital), dientes de sierra (iluminación combinada), linternas (combinada) y atrios (cenital).

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

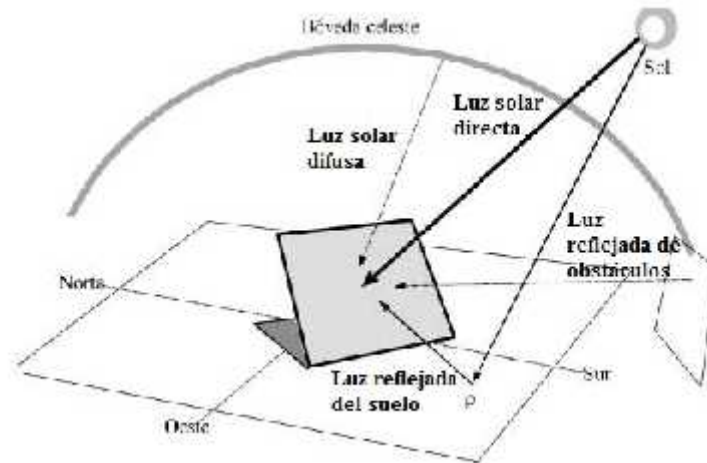


***Imagen 5. Tipología de sistemas de luz natural. Fuente: Poliformat. Apuntes de Construcción y Arquitectura industrial.***

Por tanto, un buen diseño del edificio será aquel que consiga una perfecta unión del sistema productivo y la distribución en planta con los sistemas de iluminación natural.

### 5.3.1. FUNDAMENTOS DE LA ILUMINACIÓN NATURAL

La luz que incide en el interior de un local puede ser de dos tipos: radiación directa, la cual proviene de la bóveda celeste y es variable a lo largo del año, debido a la posición del sol respecto al propio local; o radiación difusa, es la que incide en el local una vez ha sido reflejada por un obstáculo (nube) o un objeto (edificio, suelo, etc.).



**Imagen 6. Incidencia de la luz solar sobre un plano. Fuente: Ovacen.**

Por tanto, la cantidad de luz que incide en el local será una correlación entre la radiación difusa y directa. Es por esto que la iluminación experimentará múltiples variaciones debidas a la rotación de la tierra (en función de la hora del día, la incidencia de la luz será más directa o más difusa), al movimiento de translación de la tierra (según la época del año, el sol se encontrará en un punto diferente de la bóveda celeste y, por tanto, el haz de luz encontrará más o menos obstáculos hasta llegar al local) y los cambios meteorológicos (son los más imprevisibles, pues en muy poco tiempo una nube puede interponerse entre los rayos del sol y la nave, convirtiendo la luz directa en difusa).

Con el objetivo de conocer qué cantidad de la luz que recibe una superficie es directa o difusa, la "Comission International de l'Eclariage" (CIE) ha creado una serie de modelos matemáticos, entre los que destacan cielo cubierto, cielo uniforme y cielo despejado. Estos modelos determinan las distribuciones ideales de luminosidad en el cielo.

En el caso de estudio, se utilizará el modelo de cielo cubierto dado que es el que mejor se adapta a las condiciones lumínicas en el interior de la planta. Esto es debido a que se instalarán lucernarios de policarbonato, con un grado de transmisión de la luz del 45%, los cuales producen una iluminación en el interior de la planta similar a la iluminación exterior en un día completamente nublado.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

5.3.2. METODOS DE CÁLCULO

5.3.2.1. MÉTODO ANALÍTICO

El método analítico se basa en el creado por el Dr. Fruhling, el cual se fundamenta en la norma alemana DIN 5034. Con el objetivo de adaptarlo y poder aplicarlo en instalaciones industriales se han realizado algunas modificaciones en el método original.

Con este método se realizará un cálculo de la superficie de ventanas en función del valor de iluminación exterior horizontal y la iluminación media requerida. Mediante la aplicación de la siguiente ecuación, se despejará la superficie de ventanas con la cual se obtendrán los valores requeridos en el interior del local.

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

$E_m$ : Nivel de iluminación medio requerido por la norma UNE-12464.1.

Para calcular este valor, se dividirá el local en diferentes zonas en función de las tareas que se vayan a desarrollar en ella. Esta norma tiene una gran cantidad de valores de iluminación para diferentes actividades que se pueden realizar en función del sector industrial en el que se encuentre la planta.

$E_a$ : Nivel de iluminación en el exterior.

Es la medición de iluminación que hay en la latitud donde se encuentra la planta, a una hora determinada. En el caso de estudio se tomarán 3.000 luxes, pues es el nivel de iluminación que hay en Valencia a las 9 de la mañana.

$f$ : Factor de ventanas.

Este factor tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que se produce al colocar una ventana en una posición u otra. Para calcularlo se aplicará la siguiente ecuación, donde  $\alpha$  es la pendiente de la cubierta:

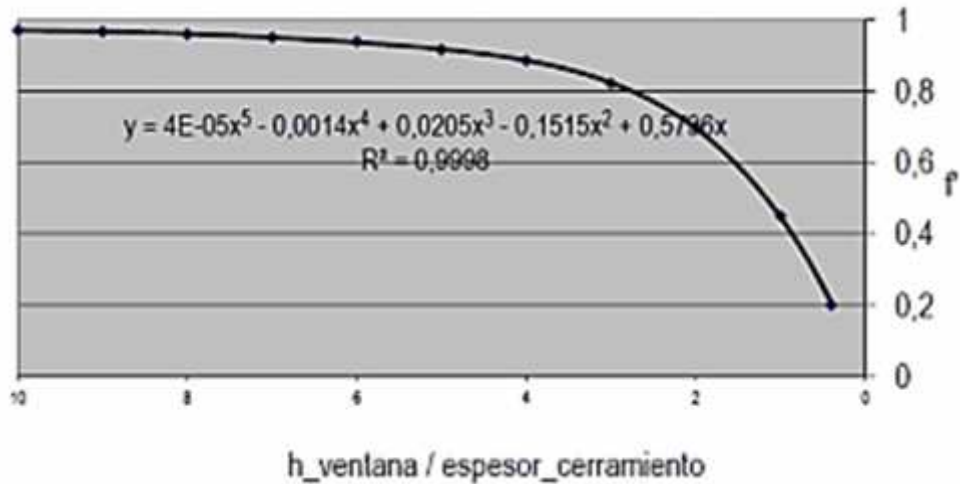
$$f = \frac{180 - \alpha}{180} \quad (4)$$

En el caso de utilizar ventanales laterales no será necesario aplicar esta ecuación, pues  $\alpha$  será 90º y, por tanto,  $f$  siempre será 0,5.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

$f^r$ : Factor característico de reducción ventana-muro

Dicho factor tiene en cuenta la reducción que se da del paso de la luz en función del grosor del cerramiento del edificio. Esta reducción será mayor cuando la relación entre la longitud y la altura de la ventana con respecto al espesor del cerramiento sea menor. A continuación, se adjunta una gráfica donde se puede apreciar esta relación.



**Imagen 7. Curva de obtención del factor de reducción ventana-muro. Fuente: Poliforma't. Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial.**

Como se puede observar en la imagen la relación entre la altura de la ventana y el espesor del cerramiento deberá ser muy pequeño para que el factor sea menor de 1. Por tanto, como la construcción de la nave es en fábrica de bloque, se considera que la relación mencionada será muy elevada y, por tanto, el factor de reducción ventana-muro siempre será 1.

$\eta$ : Rendimiento del recinto

Con este factor se tiene en cuenta el hecho de que la mayor parte haz de luz que entra por la ventana o lucernario no incide sobre el plano de trabajo. Gran parte de esta luz choca contra paredes y demás objetos donde es reflejada, en muchos casos sobre el plano de trabajo.

$S_V$ : Superficie de ventanas

Es la superficie de ventanas necesarias, mediante la cual se obtendrán los luxes medios requeridos por la UNE-12464.1 para conseguir unas condiciones de trabajo adecuadas a cada actividad.

$S_S$ : Superficie del local

Se trata de la superficie del local a iluminar, es decir, la zona diáfana que se quiere dotar de iluminación natural (1.426,106 m<sup>2</sup>).

#### 5.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Una vez realizadas las simulaciones correspondientes a cada propuesta se analizarán los resultados obtenidos. Para realizar el análisis de los resultados se deberán tener en cuenta cuatro parámetros. A continuación, se describirán estos parámetros para, más tarde, aplicarlos en la selección de la propuesta.

- Nivel de iluminación media ( $E_m$ ): es el valor que proporciona la normativa de iluminación en interiores (UNE-12464.1) en función de la tarea desempeñada. Este valor se calculará en el siguiente apartado, siendo necesario dividir la nave en diferentes zonas en función de las actividades que se realizan en cada una de ellas.
- Uniformidad ( $E_{min}/E_m$ ): este valor determina la existencia de cambios bruscos de nivel de iluminación dentro de la misma zona. Esto se consigue realizando el cociente entre el valor mínimo de iluminación y el valor medio. Este valor deberá ser superior a 0,3 para asegurar el confort visual del operario.
- Nivel de iluminación máximo ( $E_{max}$ ): es importante que el operario no esté en contacto con un nivel de iluminación superior a 2.000 luxes, pues esto podría conllevar a que se produjesen cambios bruscos de iluminación y, por tanto, no se aseguraría el bienestar del operario.

Para comprobar que esto no ocurra se realizará una simulación el día más luminoso del año (23 de junio) a la hora en la que el Sol está más alto y, por tanto, más iluminación hay en el exterior (las 12 de la mañana).

- Deslumbramientos: es importante estudiar la posibilidad de que existan deslumbramientos en alguna zona. Pues la prioridad de este estudio es que los trabajadores desempeñen sus tareas con total seguridad y con el máximo confort posible, lo cual no conseguiríamos si hubiese algún deslumbramiento.

Por tanto, se considera un deslumbramiento a cualquier rayo de luz que incida sobre el ojo humano con un ángulo inferior a 30º con respecto a un plano teórico horizontal que se forma a la altura del ojo.

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Para realizar el diseño del sistema de iluminación adecuado de la planta se ha utilizado el método analítico descrito en el punto 5.3.2.1.

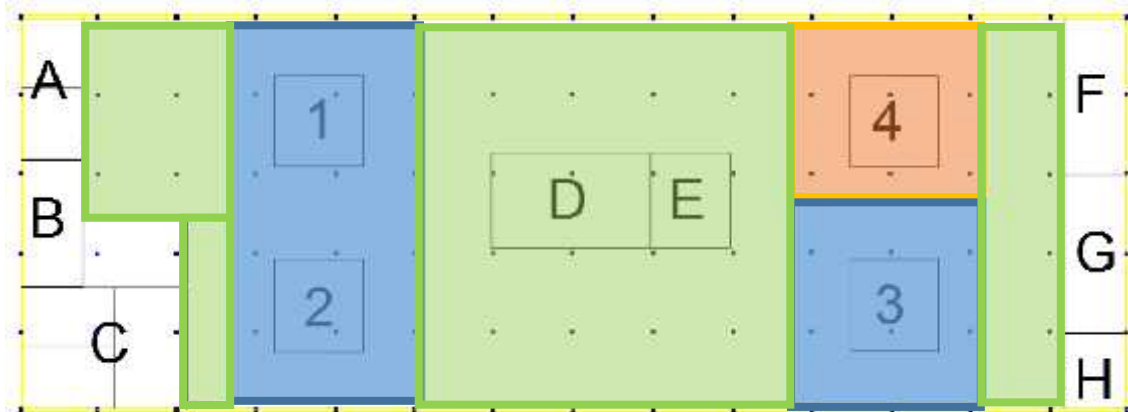
Para ello se empezará el cálculo acudiendo a la norma de iluminación en interiores (UNE-12464.1), con el fin de realizar una correcta aplicación de la misma se dividirá la planta de estudio en 3 zonas diferentes, con 3 requisitos de iluminación distintos.

En primer lugar, se tiene la zona de producción. Esta zona abarca aquellas áreas donde se realizan actividades manuales de forma recurrente, como son los cambios de filtros, las adiciones manuales de materia prima o las tomas de muestra. Esta área ocupa un área de 192,8 m<sup>2</sup>, un 13% de la zona diáfana de estudio.

En segundo lugar, se encuentran las instalaciones con intervención manual limitada, aquellas que comprenden el reactor o tanque, pues son áreas donde cada cierto tiempo se realizará el mantenimiento de la instalación o se deberán de realizar cambios en esta por necesidades del proceso o por avería. Esta área ocupa un 40% del total, 572,4 m<sup>2</sup>.




Por último, están los pasillos y áreas de circulación, los cuales serán el área restante de la zona diáfana, unos 666,906 m<sup>2</sup> (46% de dicha zona).

Seguidamente, se muestra una imagen de la distribución en planta de la nave con cada zona mencionada destacada en un color diferente. Cabe remarcar que en la zona de producción (zona 1) también se ha tenido en cuenta parte del área de la zona 2 (intervención manual limitada), pero para simplificar el dibujo no se ha marcado como tal.



**Imagen 8. Distribución de las diferentes zonas de iluminación.**

**Tabla 4. Leyenda Imagen 8.**

	Zona 1 Producción
	Zona 2 Intervención manual limitada
	Zona 3 Pasillos y áreas de circulación

**Tabla 5. Índices medios de iluminación según la UNE-12464.1.**

Zona	$E_m$ requerido (según UNE 12464.1)
Producción	500
Instalaciones con intervención manual limitada	150
Áreas de circulación y pasillos	100

Con estos datos, obtenidos de la propia norma, se realizará el cálculo del  $E_m$  medio requerido para la planta:

$$E_m = \frac{192,8 \cdot 500 + 572,4 \cdot 150 + 666,906 \cdot 100}{1426,106} = 174,57 \text{ lux}$$

A continuación, se obtendrá el valor de  $E_a$ . Por tratarse de una planta industrial, situada en el polígono industrial Fuente del Jarro de Paterna, el nivel de iluminación del exterior será el de la zona de Valencia (ya que se encuentran en la misma latitud). Por tanto, la iluminación en el exterior a las 9 de la mañana serán 3.000 luxes.

En cuanto al factor de ventanas, la estructura de la nave presenta una inclinación a dos aguas con una pendiente de 5°. Por tanto, se calcula este factor  $f$  siguiendo la siguiente ecuación, donde  $\alpha$  será 5.

$$f = \frac{180 - \alpha}{180} = 0,9722$$

Por otra parte, observando la Gráfica 1 adjunta en el punto 5.3.2.1., se considera que la relación entre la altura de la ventana y el espesor del cerramiento será muy elevada. Por tanto, el factor de reducción ventana-muro se considerará 1.

Normalmente, se toma como rendimiento de recintos rectangulares un valor entre 0,4 y 0,5. En este caso se ha tomado un valor intermedio a este, 0,45.

Finalmente, la nave tiene una superficie de 1.700 m<sup>2</sup>, pero se ha de tener en cuenta que se tienen los servicios auxiliares como vestuarios, comedor, oficinas, sala de calderas, etc. dentro de este recinto. Estas zonas no requieren ser introducidas en el diseño del sistema de iluminación, pues son zonas donde se requiere iluminación localizada o están encapsuladas, es decir, no están en contacto con el resto de la nave.

Por tanto, la superficie del local que se considerará será el área de la zona productiva, 1426,106 m<sup>2</sup>.

Con todas las variables conocidas, se procede al cálculo de la superficie de ventanas requerida para la nave de estudio.

$$S_V = \frac{E_m \cdot S_S}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} = \frac{174,57 \cdot 1426,106}{3000 \cdot 0,9722 \cdot 1 \cdot 0,45} = 189,69 \text{ m}^2 = 190 \text{ m}^2$$

Cabe remarcar, que este método de cálculo supone que las ventanas que se van a instalar son de vidrio transparente y, como se ha mencionado anteriormente, en este caso se instalarán lucernarios de policarbonato con una transmisión de la luz del 45%. Por tanto, es de esperar que para conseguir los parámetros requeridos, descritos en el apartado 5.4., se requiera una mayor superficie de ventanas que la teórica.



*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

6.1. PROPUESTAS

Una vez conocida la superficie necesaria de aberturas de luz, se procede a realizar una serie de propuestas para ver cual se adaptaría mejor a las necesidades del sistema productivo.

Estas necesidades tienen que ver con el nivel de iluminación medio, la uniformidad de la iluminación, la iluminación máxima y la posibilidad de deslumbramiento.

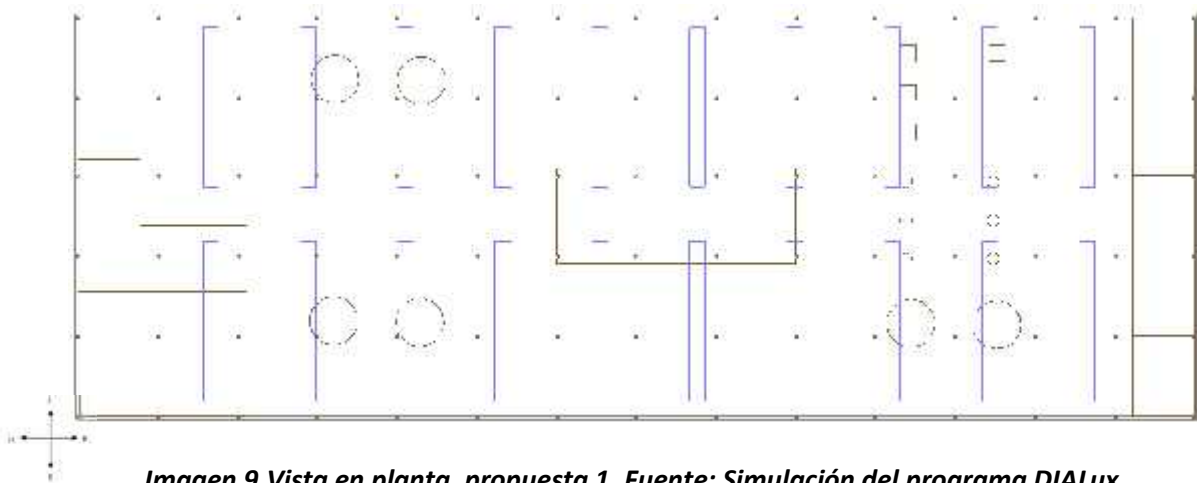
Las propuestas que se van a presentar a continuación, se pueden dividir en dos grupos. Por un lado, se han pensado soluciones colocando lucernarios en cubierta y, por otro lado, se han propuesto dos ventanales en fachada.

Como los cálculos se han realizado para una solución de lucernarios en cubierta, se recalculará el valor de la superficie de ventanas para poder trabajar con este en las propuestas 3 y 4.

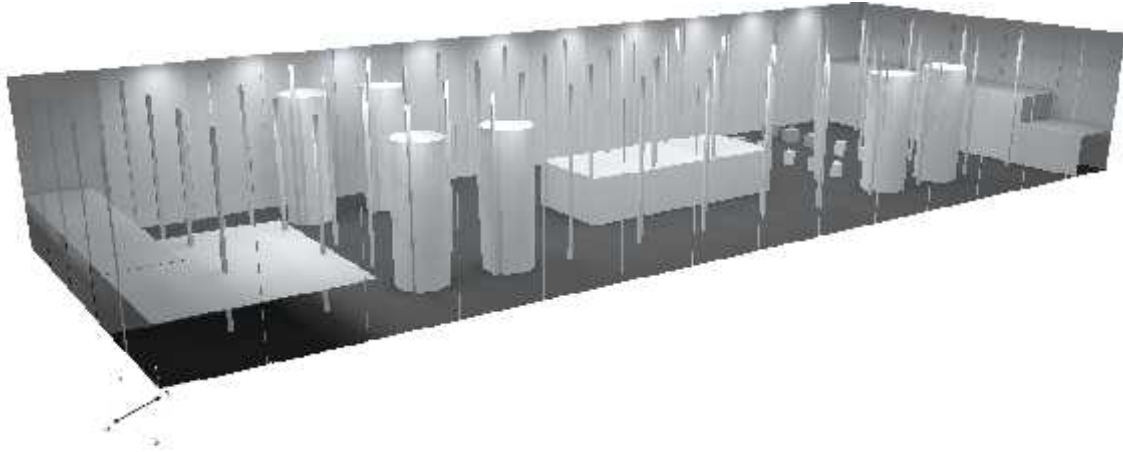
6.1.1. PROPUESTA 1

Como primera propuesta se piensa en 20 lucernarios distribuidos de forma equidistante por la cubierta correspondiente a la zona diáfana. Cada lucernario tendrá un área de 10 m<sup>2</sup>, con ello se obtendría una superficie de ventanas de 200 m<sup>2</sup>.

A continuación, se muestra una vista en planta seguida de una imagen en 3D, donde se observa la disposición de los lucernarios. En ellas, se puede observar la distribución simétrica de los mismos por la cubierta de la nave, así como, el diseño del propio lucernario.



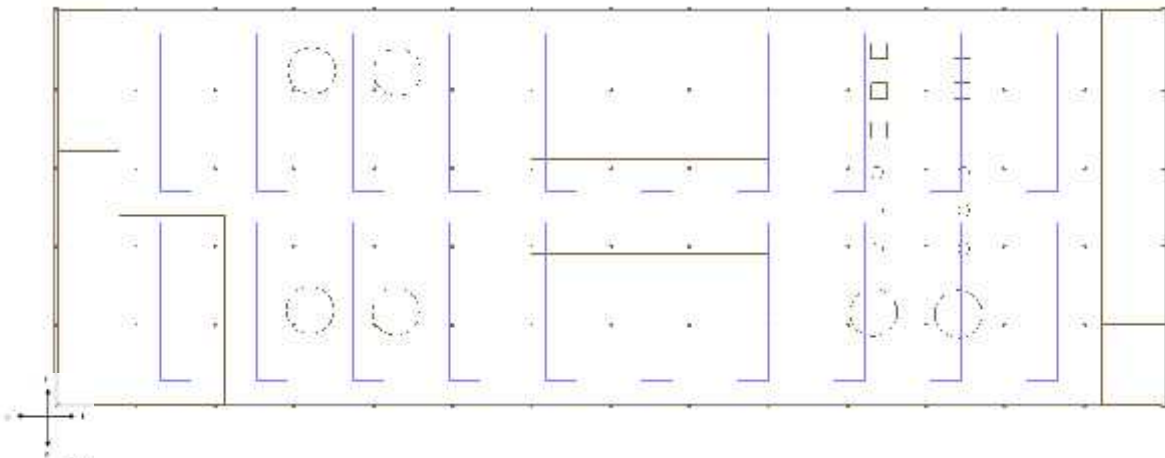
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 10. Vista en 3D de la nave, propuesta 1. Fuente: Simulación del programa DIALux.**

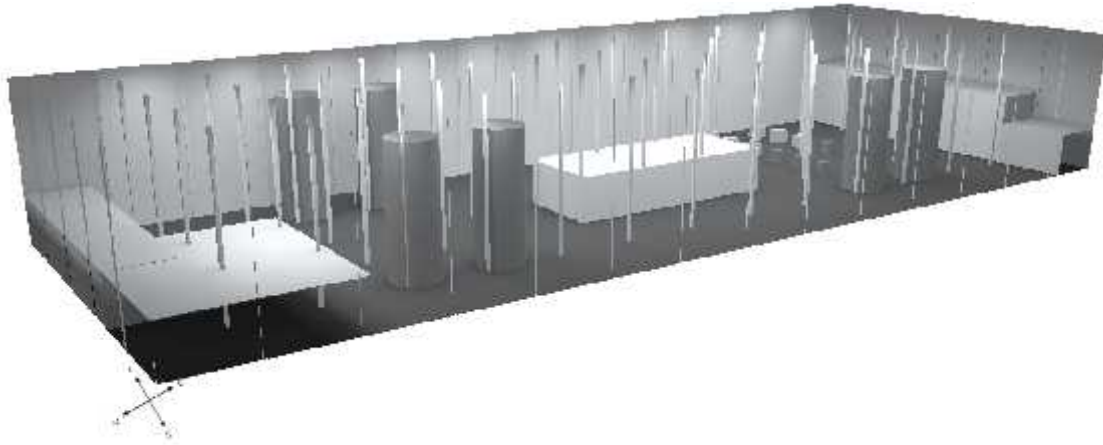
#### 6.1.2. PROPUESTA 2

Como segunda propuesta, se han colocado 20 lucernarios repartidos uniformemente por la zona diáfana. Cada lucernario tiene un área de  $20 \text{ m}^2$ , con lo que se tiene una superficie de aberturas de luz de  $400 \text{ m}^2$ . Seguidamente, se adjuntan unas imágenes donde se puede ver la distribución de los lucernarios por la nave.



**Imagen 11. Vista en 3D de la nave, propuesta 1. Fuente: Simulación del programa DIALux.**

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 12. Vista en 3D de la nave, propuesta 2. Fuente: Simulación del programa DIALux.**

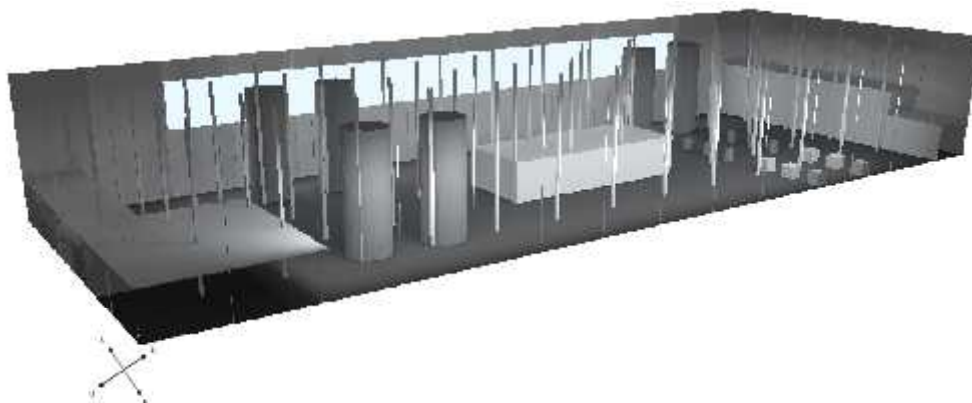
### 6.1.3. PROPUESTA 3

La tercera propuesta son dos ventanales en la fachada Norte y Sur. Para ello, se deberá recalculer la superficie de ventanas, pues el factor ventana-muro en ventanas laterales no es el mismo que para los lucernarios. Por tanto, el factor  $f$  tendrá un valor de 0,5, como ya se ha mencionado en el apartado 5.3.2.1.:

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_S}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} = \frac{174,57 \cdot 1426,106}{3000 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,45} = 368,83 \text{ m}^2 = 370 \text{ m}^2$$

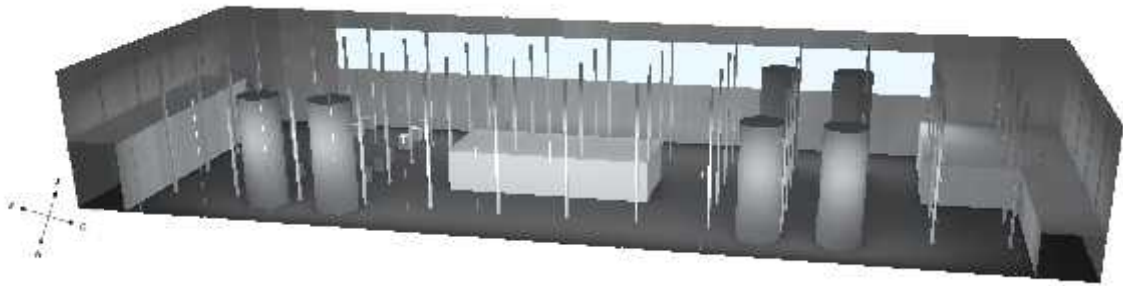
Como se puede observar, el área requerida para ventanales de fachada es muy superior (aproximadamente, un 95%) a la necesaria para lucernarios.

Por tanto, para cumplir con el área obtenida, cada ventanal tendrá 50 metros de ancho por 3,5 de alto y estará colocado a 5 metros del suelo, el área total de ventanas será de 350 m<sup>2</sup>. Seguidamente, se muestran unas imágenes de la situación de los ventanales en la nave.



**Imagen 13. Vista en 3D del ventanal en fachada Norte, propuesta 3.**

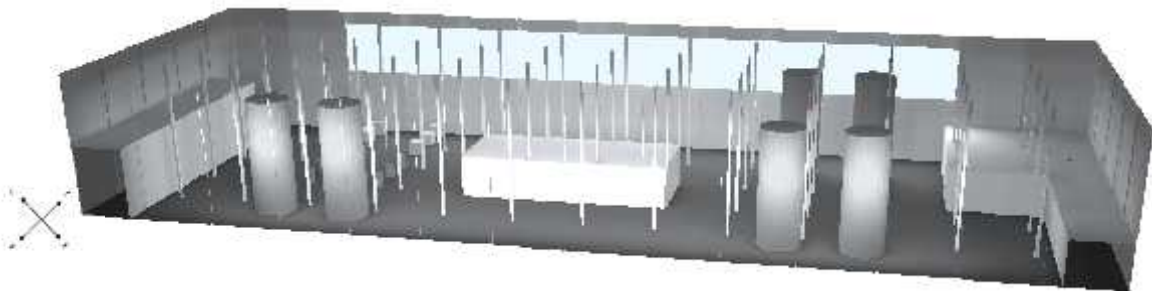
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



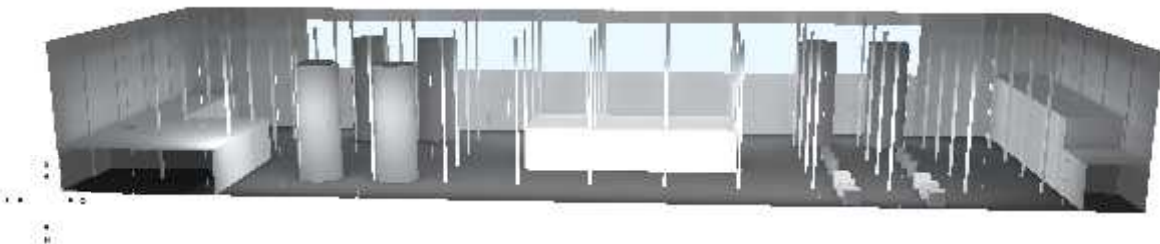
**Imagen 14. Vista en 3D del ventanal en fachada Sur, propuesta 3.**

#### 6.1.4. PROPUESTA 4

Por último, como cuarta propuesta se ha pensado en instalar dos ventanales, en fachadas Norte y Sur, de 50 metros de ancho por 4 metros de alto, ubicados a 5 metros del suelo. Con una superficie total de ventanas de 400 m<sup>2</sup>.



**Imagen 15. Vista en 3D del ventanal en fachada Norte, propuesta 4.**



**Imagen 16. Vista en 3D del ventanal en fachada Sur propuesta 4.**

## 6.2. SIMULACIÓN DIALUX

Para decidir qué sistema de iluminación es el más idóneo para la distribución en planta de estudio, se deberán introducir todos los parámetros en el programa DIALux. Este programa realizará una simulación de la disposición de la luz natural dentro de la planta en función de la distribución en planta, el día del año y la hora del día.

Para ello, se deberá ser muy riguroso a la hora de hacer el diseño en 3D de la planta, así como, del diseño de los lucernarios o ventanas. Además, se deberán introducir los coeficientes de reflexión de cada elemento que pueda influir en el cálculo, como son: paredes, suelo, pilares, tanques, despachos u otras construcciones ajenas al cálculo.

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes coeficientes de reflexión introducidos en DIALux.

**Tabla 6. Coeficientes de reflexión introducidos en DIALux.**

	<b>Coeficiente de reflexión (%)</b>
<b>Paredes</b>	50
<b>Suelo</b>	20
<b>Techo</b>	70
<b>Pilares</b>	50
<b>Tanques</b>	70
<b>Construcciones ajenas</b>	50
<b>Filtros</b>	70
<b>Contenedores de envasado</b>	40

## 7. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En primer lugar, se expondrán los resultados obtenidos mediante la simulación en el programa DIALux. Una vez conocidos, se analizará la validez de cada propuesta para el sistema productivo y sus necesidades.

Como se ha mencionado en el apartado 5.4., para realizar el análisis de los resultados se deben de tener en cuenta cuatro factores: la iluminación media del local ( $E_m$ ), la uniformidad de la iluminación, la iluminación máxima ( $E_{max}$ ) y la posibilidad de deslumbramiento.

La iluminación media del local es un dato que nos proporciona el programa, pero este valor deberá ser como mínimo el valor obtenido a partir de la norma UNE-12464.1 en el apartado 6. (174,57 luxes).

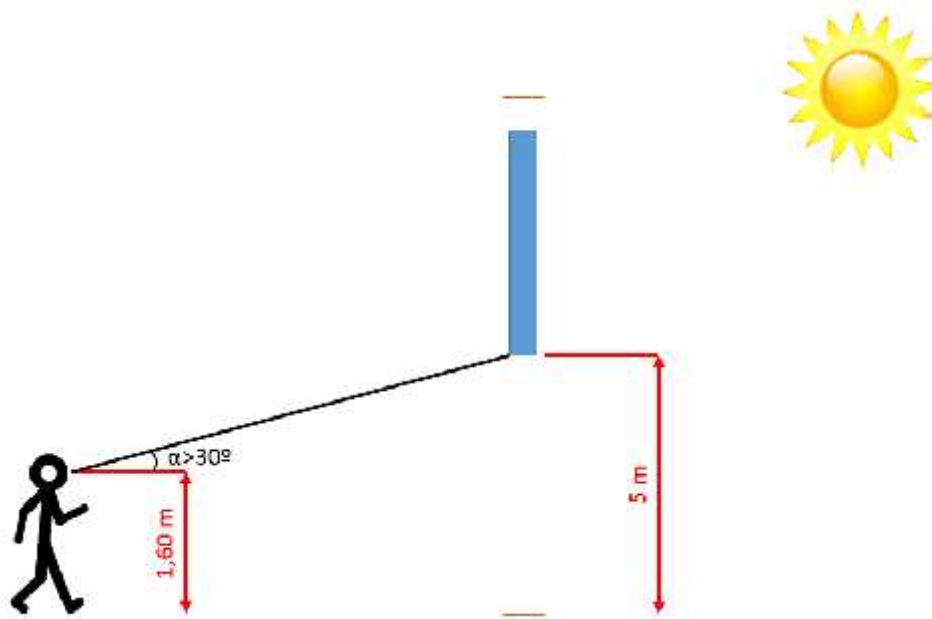
Por otro lado, se debe tener en cuenta la uniformidad de la iluminación, dicho valor también lo proporciona el programa,  $E_{min}/E_m$ . Para tener una uniformidad adecuada dicho valor deberá ser superior a 0,3.

En tercer lugar se encuentra la iluminación máxima, es el valor de iluminación más alto que el programa ha calculado ( $E_{max}$ ). Para asegurar el confort del personal que trabaja en planta, no deberá ser superior a 2.000 luxes.

Por último, se analizará la posibilidad de que existan deslumbramientos en alguna zona. Para ello, se calculará el punto de la nave donde se produce un deslumbramiento, considerando el punto más bajo del ventanal junto con el ángulo de deslumbramiento establecido (30°).

Esto se realizará para ambos ventanales, aunque se debe mencionar que la luz que penetra por la fachada Norte será radiación difusa, pues no hay posibilidad de que la luz solar incida de forma directa. Por esta razón, la luz que incida por este ventanal será más tenue que la que incida por el ventanal Sur.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

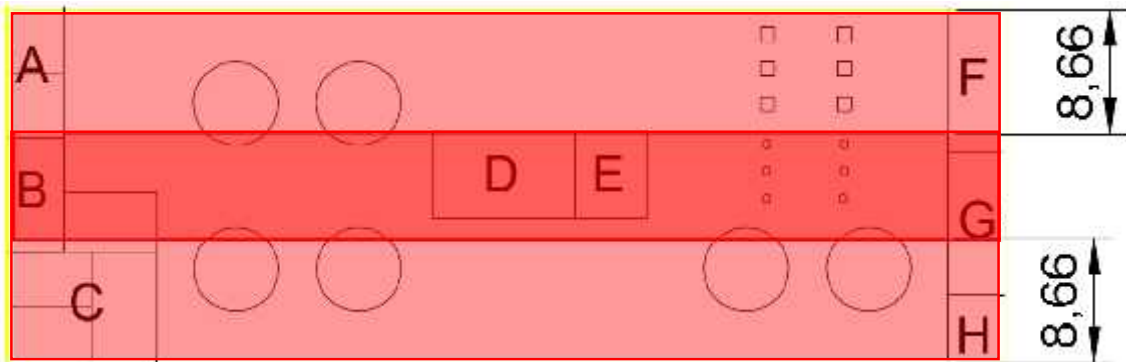


**Imagen 17. Consideraciones previas al cálculo de deslumbramiento. Fuente: Elaboración propia.**

La distancia a la cual se producirá un deslumbramiento se obtendrá realizando el cálculo de la tangente del ángulo de incidencia.

$$\tan 30 = \frac{5}{x} \rightarrow x = 8,66 \text{ m}$$

A partir de 8,66 m se producirán deslumbramientos, a continuación se puede observar una imagen donde se muestra la zona sensible a deslumbramientos.



**Imagen 18. Zona sensible a deslumbramientos. Fuente: Elaboración propia.**

La totalidad de la nave sería sensible a deslumbramientos en algún momento del día, habiendo una elevada probabilidad de sufrir un deslumbramiento en la zona de filtración. Por tanto, las propuestas 3 y 4, que son las que ofrecen soluciones con ventanales en las fachadas Norte y Sur, quedarían descartadas. Aun así, se realizará el análisis como en las demás propuestas.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

7.1. EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS.

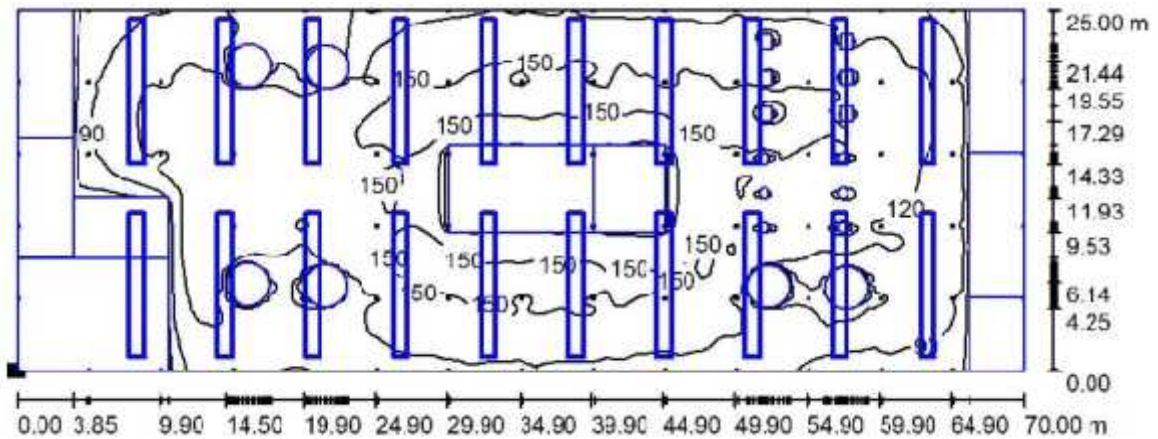
En el presente apartado, se pueden ver los resultados luminotécnicos extraídos de las distintas simulaciones realizadas con el programa DIALux. Estas simulaciones se han realizado en base al día que se considera más oscuro de todo el año, el día 10 de diciembre, y el día más luminoso del año, el 23 de junio.

En primer lugar, se decide simular en el día más oscuro del año, puesto que si en este día se cumplen los requerimientos de iluminación se supone que se cumplirán durante todo el año. Por otro lado, se simula en el día con más luz del año para comprobar que la iluminación no es excesiva, impidiendo que el trabajador trabaje con unas condiciones de iluminación adecuadas.

7.1.1. PROPUESTA 1: 20 lucernarios de 10 m<sup>2</sup> cada uno.

Seguidamente, se tienen una serie de imágenes con la distribución de los niveles de iluminación a las distintas horas de la simulación, extraídos del programa DIALux.

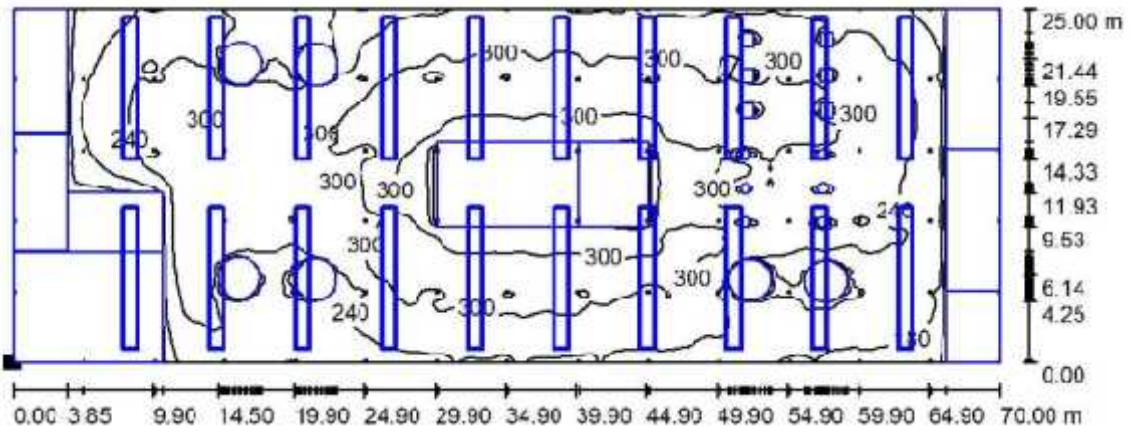
Como se puede observar se han ejecutado distintas simulaciones en el día 10 de diciembre. Se ha realizado de esta forma para comprobar la evolución de los niveles de iluminación a lo largo de la mañana.



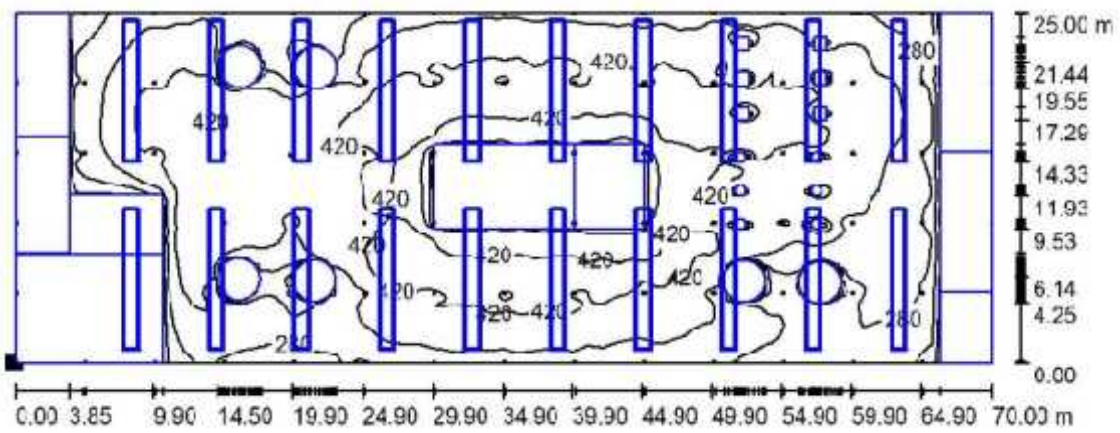
**Imagen 19. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux.**



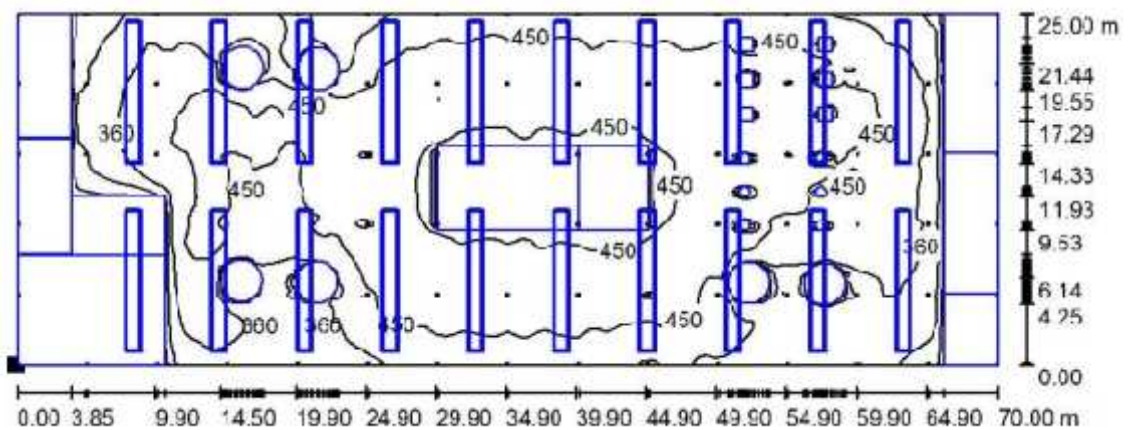
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 20. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux.**

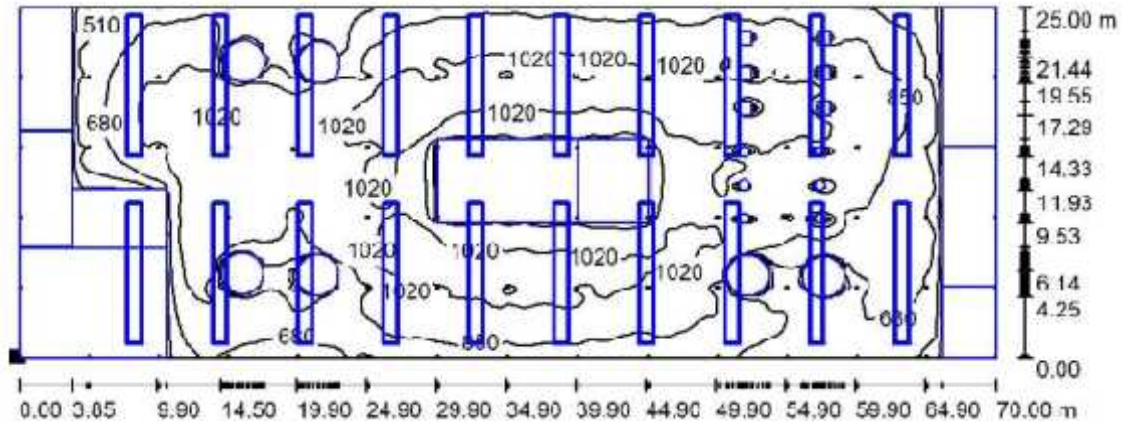


**Imagen 21. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 22. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux.**

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 23. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux.**

Los resultados luminotécnicos generales de la nave de estudio son:

**Tabla 7. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2. Fuente: DIALux.**

		$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	$E_a$ (lx)
<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	127	44	169	0,351	0,262	2.891
	<b>10:00</b>	260	91	349	0,351	0,262	5.927
	<b>11:00</b>	361	127	482	0,351	0,262	8.227
	<b>12:00</b>	422	148	564	0,351	0,262	9.632
<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	873	306	1167	0,351	0,262	19.923

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos de cada zona:

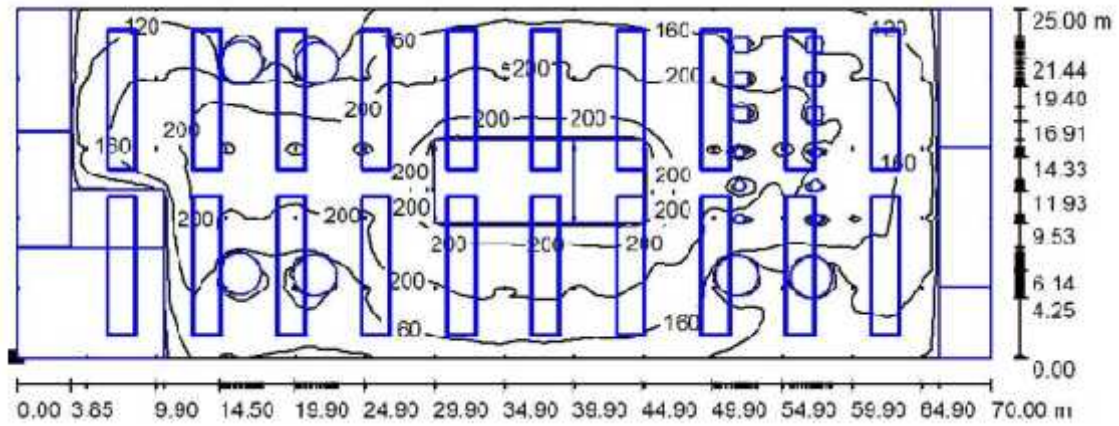
**Tabla 8. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2. Fuente: DIALux.**

			$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
<b>Zona 1</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	140	100	169	0,71	0,59
		<b>10:00</b>	270	182	342	0,67	0,53
		<b>11:00</b>	393	263	475	0,67	0,55
		<b>12:00</b>	480	315	564	0,66	0,56
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1040	611	1167	0,59	0,52
<b>Zona 2</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	100	57	146	0,57	0,39
		<b>10:00</b>	220	135	315	0,61	0,43
		<b>11:00</b>	360	162	430	0,45	0,38
		<b>12:00</b>	430	189	517	0,44	0,37
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	943	392	1042	0,42	0,38
<b>Zona 3</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	127	44	160	0,35	0,28
		<b>10:00</b>	260	91	330	0,35	0,28
		<b>11:00</b>	361	127	482	0,67	0,55
		<b>12:00</b>	440	148	550	0,34	0,27
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1025	305	1130	0,30	0,27

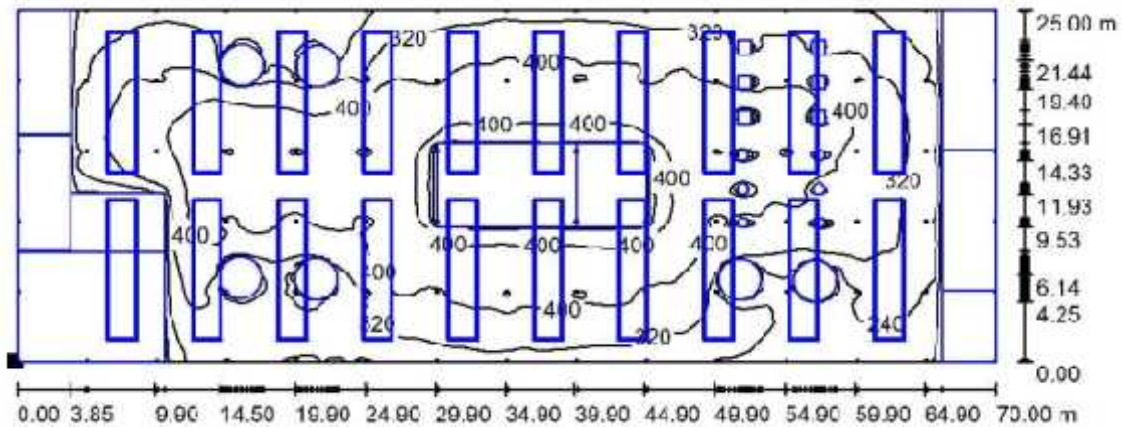
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

7.1.2. PROPUESTA 2: 20 lucernarios de 20m<sup>2</sup> cada uno.

Seguidamente, se adjuntan las imágenes, con la distribución de los niveles de iluminación en las distintas horas de la simulación para la propuesta 2.

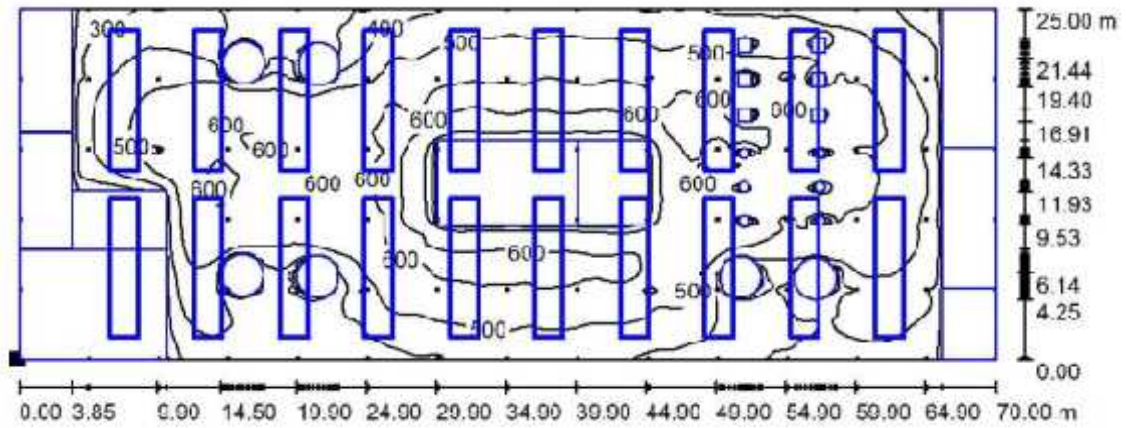


**Imagen 24. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux.**

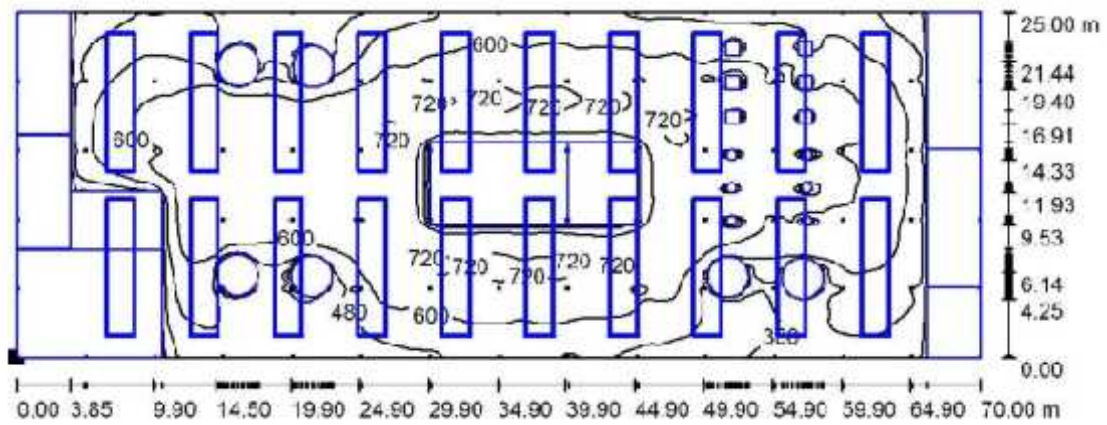


**Imagen 25. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux.**

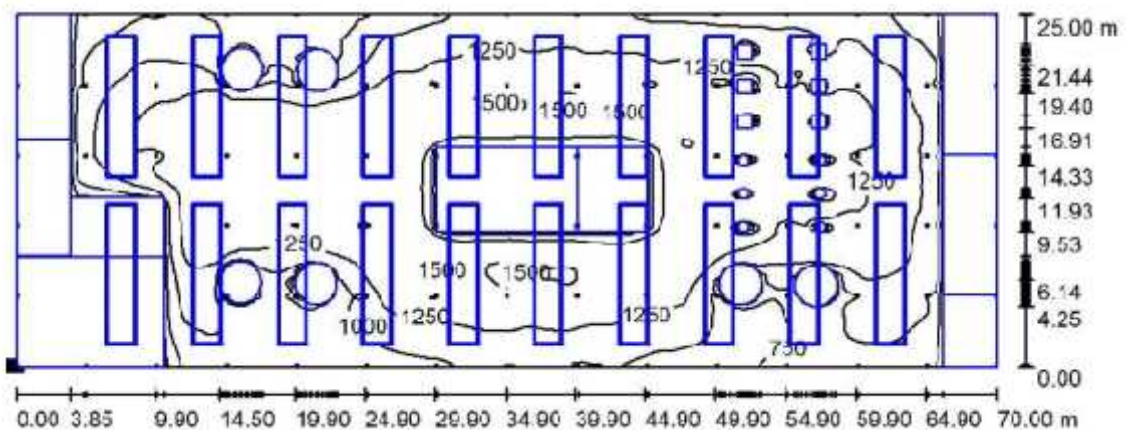
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 26. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 27. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 28. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux.**

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Los resultados luminotécnicos generales de la nave de estudio son:

**Tabla 9. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2. Fuente: DIALux.**

		$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	$E_a$ (lx)
<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	169	53	228	0,315	0,233	2891
	<b>10:00</b>	347	109	468	0,315	0,233	5927
	<b>11:00</b>	481	152	650	0,315	0,233	8227
	<b>12:00</b>	564	177	761	0,315	0,233	9632
<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1166	367	1573	0,315	0,233	19923

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos de cada zona:

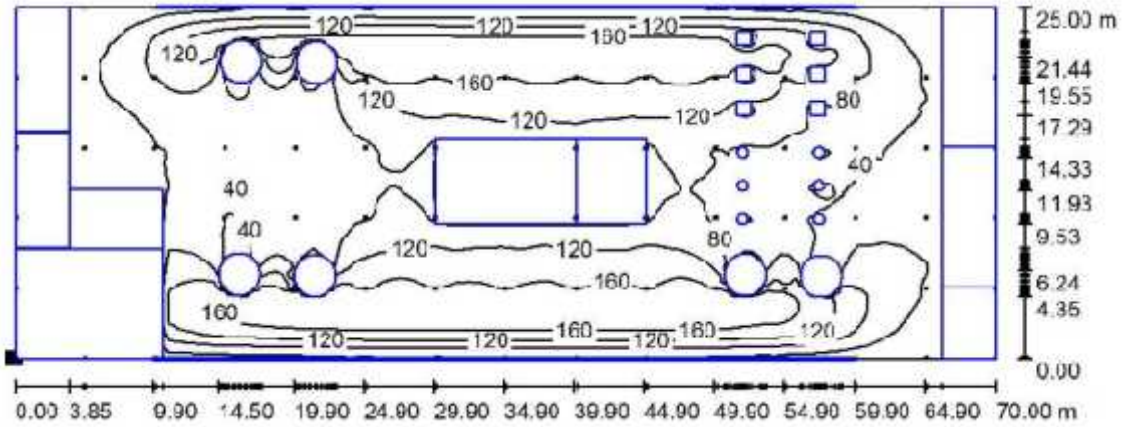
**Tabla 10. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2. Fuente: DIALux.**

			$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
<b>Zona 1</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	177	118	221	0,67	0,53
		<b>10:00</b>	373	239	453	0,64	0,53
		<b>11:00</b>	482	317	630	0,66	0,50
		<b>12:00</b>	589	371	732	0,63	0,51
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1219	814	1524	0,67	0,53
<b>Zona 2</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	211	84	213	0,40	0,39
		<b>10:00</b>	336	109	455	0,32	0,24
		<b>11:00</b>	498	152	612	0,31	0,25
		<b>12:00</b>	575	177	721	0,31	0,25
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1240	367	1481	0,30	0,25
<b>Zona 3</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	205	53	228	0,26	0,23
		<b>10:00</b>	436	291	468	0,67	0,62
		<b>11:00</b>	585	204	650	0,66	0,50
		<b>12:00</b>	629	239	761	0,38	0,31
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1381	495	1573	0,36	0,31

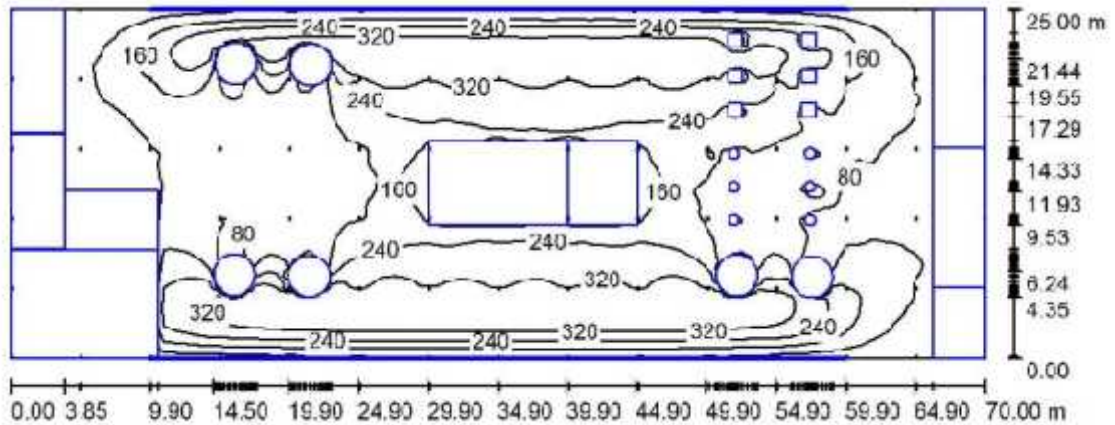
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

7.1.3. PROPUESTA 3: 2 ventanales, en fachada Norte y Sur de 3,5 metros de alto.

Seguidamente, se adjuntan las imágenes, con la distribución de los niveles de iluminación en las distintas horas de la simulación para la tercera propuesta.

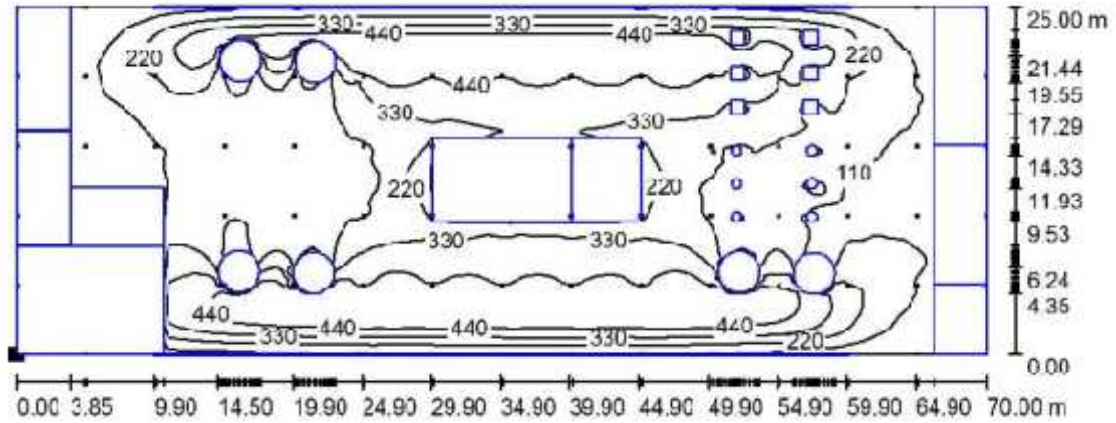


**Imagen 29. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux.**

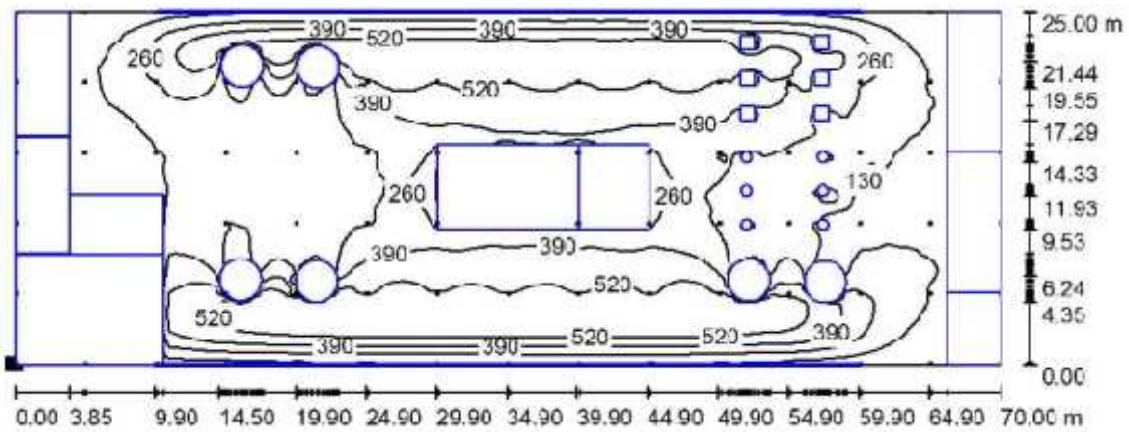


**Imagen 30. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux.**

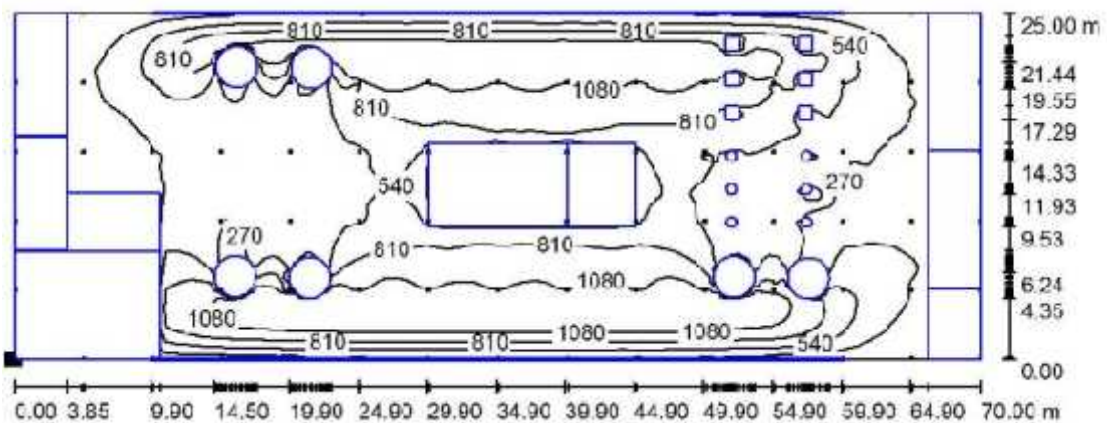
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 31. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 32. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 33. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux.**



*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Los resultados luminotécnicos generales de la nave de estudio son:

**Tabla 11. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 3. Fuente: DIALux.**

		$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	$E_a$ (lx)
<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	96	11	196	0,111	0,054	2891
	<b>10:00</b>	196	22	402	0,111	0,054	5927
	<b>11:00</b>	272	30	557	0,111	0,054	8227
	<b>12:00</b>	318	35	653	0,111	0,054	9632
<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	659	73	1350	0,111	0,054	19923

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos de cada zona:

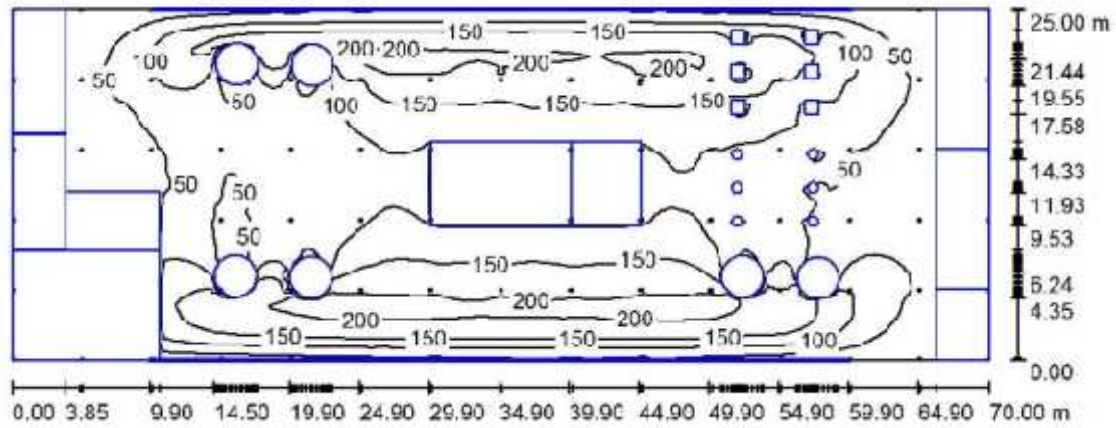
**Tabla 12. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 3. Fuente: DIALux.**

			$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
<b>Zona 1</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	110	22	180	0,20	0,12
		<b>10:00</b>	278	45	376	0,16	0,12
		<b>11:00</b>	350	62	519	0,18	0,12
		<b>12:00</b>	480	73	608	0,15	0,12
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	836	151	1267	0,18	0,12
<b>Zona 2</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	106	27	187	0,25	0,14
		<b>10:00</b>	140	40	361	0,29	0,11
		<b>11:00</b>	220	54	510	0,25	0,11
		<b>12:00</b>	260	65	615	0,25	0,11
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	663	128	1244	0,19	0,10
<b>Zona 3</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	120	38	188	0,32	0,20
		<b>10:00</b>	275	22	385	0,08	0,06
		<b>11:00</b>	410	30	528	0,07	0,06
		<b>12:00</b>	480	35	624	0,07	0,06
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	882	73	1350	0,08	0,05

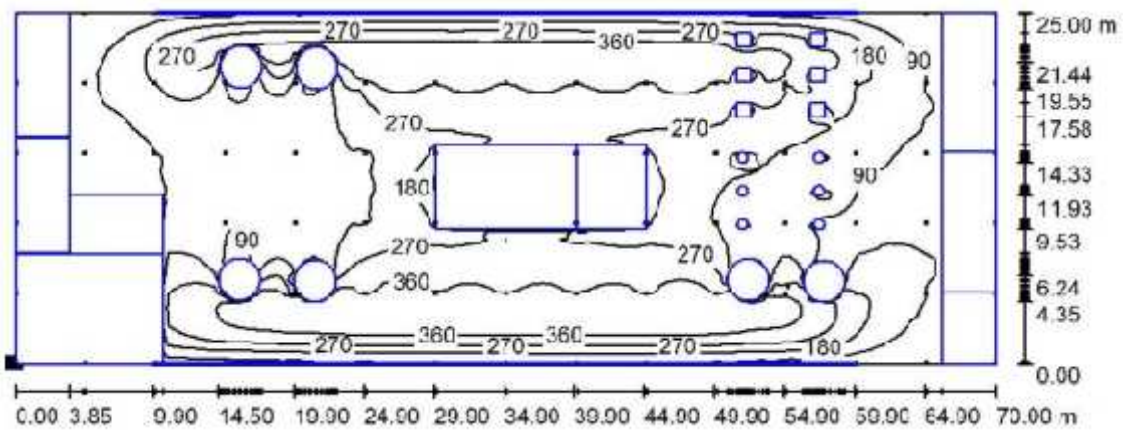
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

7.1.4. PROPUESTA 4: 2 ventanales, en fachada Norte y Sur, de 4 de alto.

Seguidamente, se adjuntan las imágenes, con la distribución de los niveles de iluminación en las distintas horas de la simulación para la última propuesta.

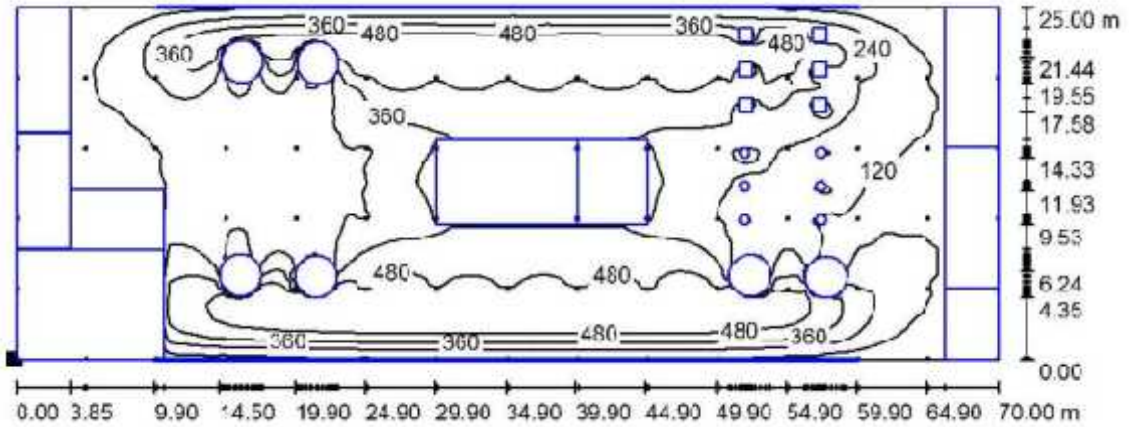


**Imagen 34. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 9:00. Fuente: DIALux.**

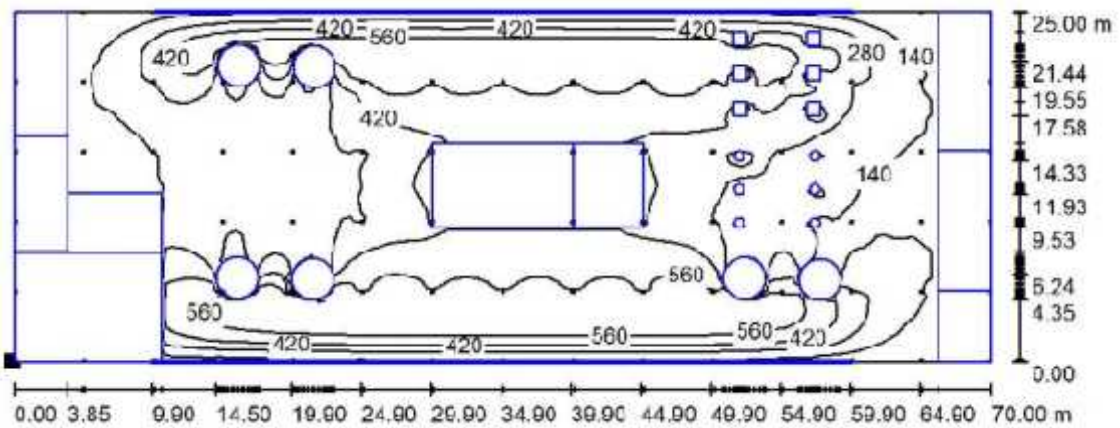


**Imagen 35. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 10:00. Fuente: DIALux.**

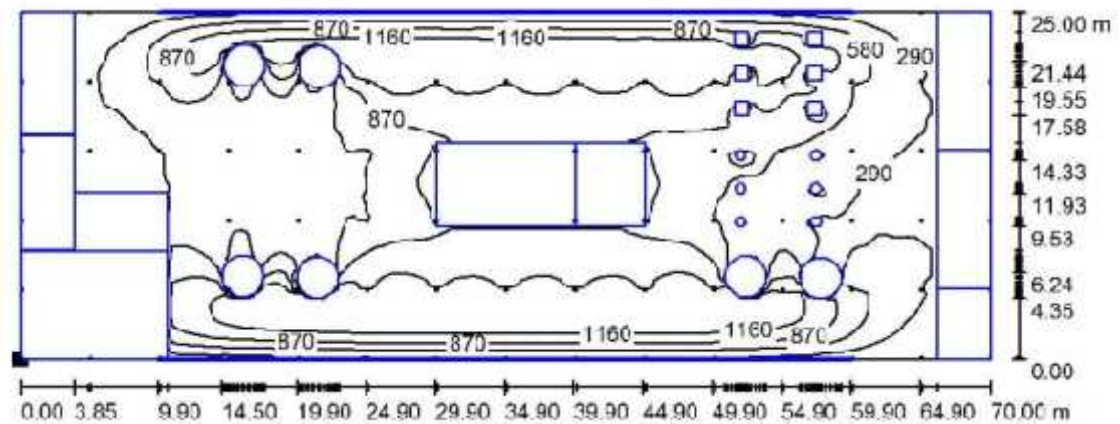
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 36. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 11:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 37. Resultados de la simulación del 10 de diciembre a las 12:00. Fuente: DIALux.**



**Imagen 38. Resultados de la simulación del 23 de junio a las 12:00. Fuente: DIALux.**

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Los resultados luminotécnicos generales de la nave de estudio son:

**Tabla 13. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 4. Fuente: DIALux.**

		$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	$E_a$ (lx)
<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	108	12	216	0,115	0,057	2891
	<b>10:00</b>	221	25	442	0,115	0,057	5927
	<b>11:00</b>	307	35	614	0,115	0,057	8227
	<b>12:00</b>	360	41	718	0,115	0,057	9632
<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	744	85	1486	0,115	0,057	19923

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos de cada zona:

**Tabla 14. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 4. Fuente: DIALux.**

			$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
<b>Zona 1</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	173	24	204	0,14	0,12
		<b>10:00</b>	353	50	420	0,14	0,12
		<b>11:00</b>	458	74	580	0,16	0,13
		<b>12:00</b>	572	81	679	0,14	0,12
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1015	167	1413	0,16	0,12
<b>Zona 2</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	113	22	205	0,19	0,11
		<b>10:00</b>	245	41	442	0,17	0,09
		<b>11:00</b>	442	63	614	0,14	0,10
		<b>12:00</b>	357	67	718	0,19	0,09
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	986	143	1486	0,15	0,10
<b>Zona 3</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	173	41	216	0,24	0,19
		<b>10:00</b>	416	73	429	0,18	0,17
		<b>11:00</b>	469	35	599	0,07	0,06
		<b>12:00</b>	622	41	693	0,07	0,06
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1014	85	1449	0,08	0,06

## 7.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se ha mencionado al inicio de este apartado, para aceptar una de las cuatro propuestas se analizarán cuatro factores como son: el nivel medio de iluminación, la uniformidad de esta, la iluminación máxima y la posibilidad de deslumbramiento. Seguidamente, se adjunta una tabla donde se recopilan los valores mínimos de estos tres factores.

**Tabla 15. Requerimientos para el análisis de resultados.**

Nivel medio de iluminación ( $E_m$ ) (lx)			$E_{max}$ (lx)	Uniformidad ( $E_{min}/E_m$ )	Deslumbramientos
Zona 1	Zona 2	Zona 3			
500	150	100	< 2000	>0,3	NO

A continuación, se comparará cada propuesta con los valores mínimos requeridos. Como el valor de iluminación en el exterior se ha tomado a las 9 de la mañana, la comparación se deberá realizar con la simulación a dicha hora. No obstante, también se comparará a las 12 de la mañana para comprobar, en los casos en los que a las 9 no sea apto, si a esta hora se tendrían los luxes necesarios.

**Tabla 16. Comparación de los resultados de las 4 propuestas realizadas.**

	Nivel medio de iluminación ( $E_m$ ) (lx)			$E_{max}$ (lx)	Uniformidad ( $E_{min}/E_m$ )	Deslumbramientos
	Zona 1	Zona 2	Zona 3			
	500	150	100	< 2000	>0,3	NO
<b>PROPUESTA 1</b>						
10/12/2016 9:00	140	100	127	-	0,5	NO
10/12/2016 12:00	480	430	440	-		
23/06/2016 12:00	1040	943	1025	1167		
<b>PROPUESTA 2</b>						
10/12/2016 9:00	177	211	205	-	0,45	NO
10/12/2016 12:00	589	575	629	-		
23/06/2016 12:00	1219	1240	1381	1573		
<b>PROPUESTA 3</b>						
10/12/2016 9:00	110	106	120	-	0,16	SI
10/12/2016 12:00	480	260	480	-		
23/06/2016 12:00	836	663	882	1350		
<b>PROPUESTA 4</b>						
10/12/2016 9:00	173	113	173	-	0,14	SI
10/12/2016 12:00	572	357	622	-		
23/06/2016 12:00	1015	986	1014	1486		

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Como se puede observar, no se ha obtenido ninguna propuesta ideal, es decir, no hay ninguna propuesta en la que todos los parámetros sean los necesarios y esperados. Por ello, se va a realizar un balance para poder seleccionar una de estas propuestas.

En ninguna de las propuestas analizadas se tiene algún punto donde el nivel de iluminación sea superior a los 2.000 luxes, lo cual evitará que el trabajador sufra un excesivo contraste de iluminación al cambiar de área de trabajo.

Las propuestas 3 y 4 se descartarían pues son las peores de las cuatro opciones posibles. Se obtiene una mala uniformidad de la luz y no llegan a los luxes requeridos a las 9 de la mañana, aunque se obtienen buenos valores a las 12. Además de esto, son las únicas opciones con la que hay posibilidad de deslumbramiento. Esto ya se ha comentado al inicio de este mismo apartado, pues a los 8,66 metros ya existe la posibilidad de que el trabajador sufra un deslumbramiento a lo largo del día.

En cuanto a las propuestas 1 y 2, son muy similares entre ellas, se han obtenido resultados muy parecidos. Las uniformidades son prácticamente iguales 0,5 (Propuesta 1) frente a 0,45 (Propuesta 2). Sin embargo, en el nivel medio de iluminación sí que se tiene una diferencia mayor, pues la propuesta 2 obtiene valores superiores a los de la propuesta 1, consiguiendo superar el mínimo requerido a las 12 de la mañana.

Por esta razón, se seleccionará la segunda propuesta como solución al caso de estudio. Las deficiencias de esta solución se intentarán suplir en el siguiente apartado, en el cual se desarrollará una mejora a la propuesta inicial.

### 7.3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la propuesta seleccionada no cumple con los niveles de iluminación medios a las 9 de la mañana en la zona 1.

El requerimiento de esta zona es muy elevado en comparación con el resto de zonas, esto es debido a que en esta zona se deberán realizar tareas de control visual y tareas manuales del tipo cambio de filtros y manejo de pantallas de control. Estas tareas se realizarán con una frecuencia muy elevada, es por esto es necesario que el operario cuente con un buen confort visual.

Con el objetivo de conseguir los luxes necesarios a las 9 de la mañana, o lo más próximos al valor mínimo requerido, se ha pensado en instalar dos ventanales de 3 metros de ancho por 5 de alto en la fachada Norte de la nave. Esta fachada es la más próxima al área de envasado y filtración (zona 1).



**Imagen 39. Perfil de planta con ventanales.**



**Imagen 40. Vista 3D de la nave con ventanales. Fuente: DIALux.**

Una vez realizado el diseño en 3D de los ventanales se realiza el cálculo de las diferentes escenas de luz, es decir, de las diferentes horas de los diferentes días, obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla 17. Resultados luminotécnicos generales de la propuesta 2 con ventanales. Fuente: DIALux.**

		$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	$E_a$ (lx)
<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	181	67	640	0,371	0,105	2891
	<b>10:00</b>	371	138	1312	0,371	0,105	5927
	<b>11:00</b>	515	191	1821	0,371	0,105	8227
	<b>12:00</b>	603	224	2132	0,371	0,105	9632
<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1247	462	4409	0,371	0,105	19923

Con estos resultados de la planta general se supera el nivel de iluminación medio requerido, por tanto, en primera instancia se podría dar por buena la solución. Como se tienen distintos requerimientos en función de la actividad realizada, se adjunta una tabla con los resultados luminotécnicos en función de cada zona de la nave.

**Tabla 18. Resultados luminotécnicos específicos de cada zona de la propuesta 2 con ventanales. Fuente: DIALux.**

			$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
<b>Zona 1</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	236	142	640	0,60	0,22
		<b>10:00</b>	509	291	1312	0,61	0,22
		<b>11:00</b>	662	403	1821	0,61	0,22
		<b>12:00</b>	790	513	2132	0,65	0,24
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1564	977	4409	0,62	0,22
<b>Zona 2</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	197	115	214	0,58	0,54
		<b>10:00</b>	386	181	419	0,47	0,43
		<b>11:00</b>	502	270	548	0,54	0,49
		<b>12:00</b>	622	316	695	0,51	0,45
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1248	648	1475	0,52	0,44
<b>Zona 3</b>	<b>10 de diciembre</b>	<b>9:00</b>	217	67	225	0,31	0,30
		<b>10:00</b>	412	138	486	0,33	0,28
		<b>11:00</b>	535	191	715	0,36	0,27
		<b>12:00</b>	674	224	866	0,33	0,26
	<b>23 de junio</b>	<b>12:00</b>	1387	462	1835	0,33	0,25

Para analizar los resultados y determinar si esta solución, desde el punto de iluminación, es correcta, se tendrán en cuenta los cuatro factores que se tuvieron en cuenta en el apartado anterior, que son el nivel medio de iluminación, la iluminación máxima, la uniformidad de la luz y la posibilidad de que existan deslumbramientos.

El primer factor que se analizará será el nivel medio de iluminación. Las zonas 2 y 3 requieren valores más bajos de iluminación, 150 y 100 luxes respectivamente, es por ello que sin realizar la modificación daban resultados buenos a las 9 de la mañana.



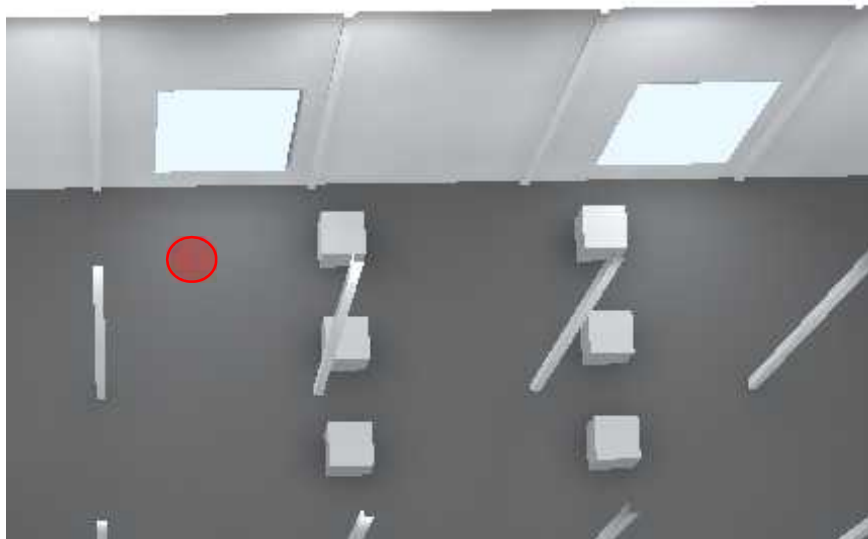
*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Sin embargo, la zona 1 tiene un nivel de iluminación medio requerido muy elevado, en comparación con las demás zonas, 500 luxes. Por esta razón se pensó en focalizar de alguna manera la luz natural, y la mejor forma era introduciendo ventanales en la fachada más próxima (Norte).

Con esta modificación se siguen sin obtener los resultados esperados (500 luxes) a las 9 de la mañana, pero a las 10 de la mañana ya se obtienen valores aptos, que superan dicho requerimiento (509 luxes).

En cuanto al nivel de iluminación máximo, se supera el valor marcado como límite (2.000 luxes) tanto el 10 de diciembre a las 12 de la mañana como el 23 de junio a las 12 de la mañana. Estos valores se encuentran en la zona 1 y son 2.132 y 4.409 luxes, respectivamente.

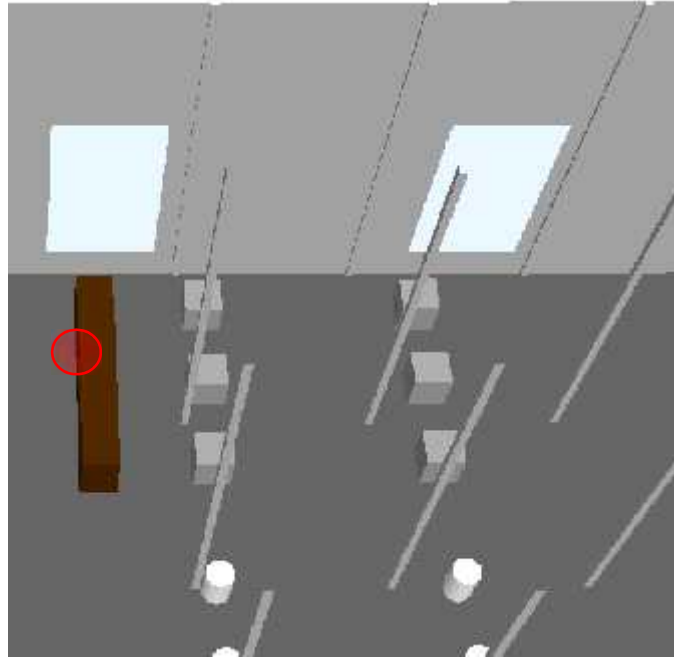
Aunque estos picos de iluminación se encuentran en la zona 1, están situados en el punto más alejado de dicha zona, pues están localizados en el límite con la zona 3. Por tanto, se podría asumir que la probabilidad de contacto entre el trabajador y este punto molesto de iluminación, es muy baja.



***Imagen 41. Área donde se encuentra el pico de iluminación.***

Aun así, para evitar el contacto directo del trabajador con este pico de iluminación, se colocarán las estanterías con los filtros y los útiles de la envasadora en esta zona, con el objetivo que se genere una barrera física.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 42. Colocación de estantería para filtros y útiles de la envasadora.**

Otro factor importante, es la uniformidad de la luz, es decir, que el operario tenga los mínimos contrastes de luz en la nave, para conseguir este objetivo la uniformidad ( $E_{\min}/E_m$ ) deberá ser superior a 0,3. Si se tienen en cuenta los valores de la planta general, se obtiene una uniformidad de 0,371, lo cual estaría por encima de la aptitud del estudio.

Ahora bien, si se examinan los valores de cada zona se puede observar como las zonas 1 y 2 obtienen mejores resultados que el dato general. No obstante, la zona 3 obtiene valores menores al general, pero dentro de la aptitud (0,33). Por tanto, en referencia a este factor también se determinaría como buena esta solución.

Por último, está la posibilidad de que haya un deslumbramiento, que impida o dificulte la visión al operario. En apartados anteriores se ha mencionado que al colocar un ventanal, ya fuera en fachada Norte o Sur existe posibilidad de deslumbramiento a partir de los 8,66 m. Por tanto, la zona de filtración estaría en esta zona con posibilidad de deslumbramiento.

Sin embargo, también se ha explicado que toda aquella luz que penetre en el interior de la nave por la fachada Norte será radiación difusa. Cabe recordar, que la radiación difusa es aquella que se produce cuando los rayos del sol se reflejan en una nube o un objeto.

La nave está aislada de objetos cercanos que puedan producir un reflejo de luz dentro de la planta por fachadas Norte y Oeste, en consecuencia, quedaría descartada la reflexión por objetos.

Por tanto, como en la zona de filtración no se realizan tareas en las que haya que fijar la vista en dirección a los ventanales y, además, como la radiación que penetra por estos se puede considerar como tenue, se podría asumir que esta solución con respecto a este factor como buena.

Una vez estudiados todos los factores limitantes de iluminación, se puede determinar que la solución propuesta sería apta para el tipo de edificio y sistema productivo. Ahora, sólo quedará determinar su viabilidad económica.

## 8. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Antes de realizar el análisis económico de la propuesta seleccionada, se describirán las luminarias que hay instaladas en la planta. Una vez conocida la potencia que consumen y los niveles de iluminación que producen se compararán con los resultados obtenidos con el sistema de iluminación natural.

Por tanto, en este apartado se intentará realizar una aproximación del nivel de iluminación artificial que hay en la planta. Para ello, se utilizará una extensión del programa utilizado para realizar las simulaciones de luz natural.

Esta extensión se denomina DIALux Light y mediante las medidas de la nave, la altura del techo y el nivel de iluminación medio requerido para toda la planta (174,57 luxes) determina el número aproximado de luminarias hay actualmente en la planta.

Otro dato que hay que facilitar al programa es el tipo de luminaria. Existen diferentes tipos de luminarias utilizadas en las plantas industriales, pero para el caso de estudio se tiene la luminaria PHILIPS Leuchten GentleSpace (con una potencia unitaria de 267W).

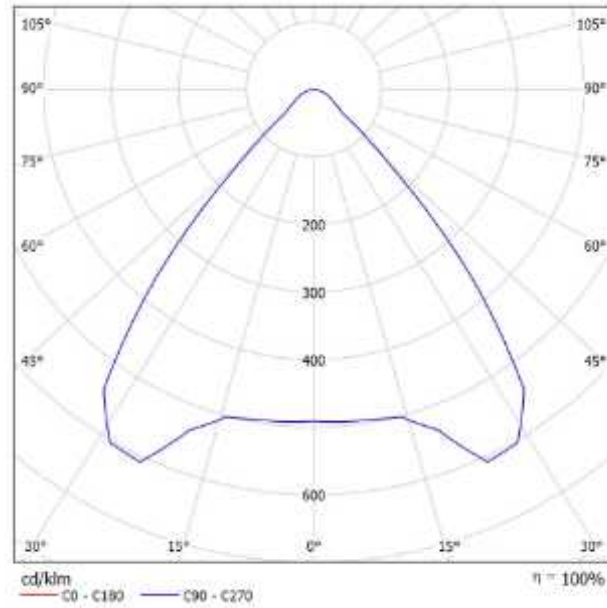
Dentro de los tipos de luminarias que existen, esta luminaria se podría clasificar como de flujo luminoso directo, lo cual es interesante pues evita las posibles reflexiones de luz sobre las paredes de la nave.

Una peculiaridad de la luminaria instalada es que no se coloca adosada al techo, si no suspendida a este, siendo la longitud de suspensión, para el caso de estudio, de un metro.

Además, esta luminaria utiliza tecnología LED la cual tiene numerosas ventajas como son la eficiencia y durabilidad de este tipo de luminarias, están libres de mercurio y tóxicos, se trata de una luz fría (lo cual es más cómodo para la vista), entre otras.

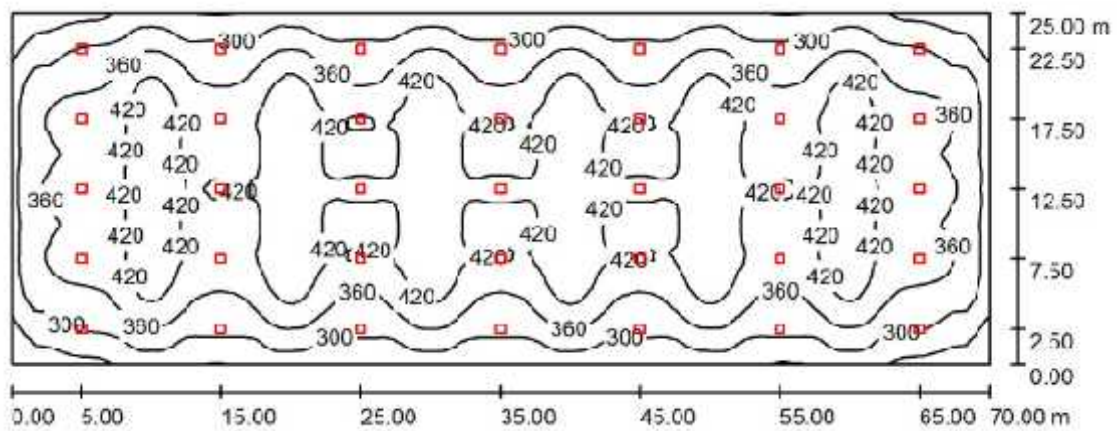
En la siguiente imagen se puede observar una gráfica con la emisión de flujo de esta luminaria. Además, en el Anexo 1 se puede encontrar la ficha técnica de esta luminaria, la cual es utilizada por el programa de simulación.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*



**Imagen 43. Emisión de luz de PHILIPS Leuchten GentleSpace. Fuente: DIALUX**

Los resultados obtenidos con el programa determinan la existencia aproximada de 35 luminarias. A continuación se adjunta la distribución de la luz con las luminarias instaladas.



**Imagen 44. Distribución de la iluminación artificial en la planta. Fuente: DIALux.**

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

## 8.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN NATURAL

Como se ha especificado en el apartado 5.2.1., el CTE establece un procedimiento de verificación con el objetivo de asegurar que la iluminación instalada en la planta es energéticamente eficiente.

Por ello, se hará la comprobación de la eficiencia energética de la iluminación con el sistema de iluminación artificial actual y con las propuestas de iluminación mixta.

Dado que las condiciones meteorológicas son variables, y no siempre las idóneas, no se puede plantear un sistema de iluminación 100% natural. Además, con la latitud a la que se encuentra ubicada la planta tampoco se consigue un aprovechamiento total de la luz solar.

En vistas a la latitud a la que se encuentra la planta (39º), el aprovechamiento de la iluminación exterior puede ser entorno a un 90%. Por tanto, se van a realizar dos casos de estudio, en el primero se supondrá una utilización de iluminación artificial del 10% y en el segundo una utilización del 30%.

### 8.1.1. CASO 0: 100% Iluminación artificial

Para este supuesto se aplicará la ecuación vista en el apartado 5.2.1., para la aplicación de esta ecuación será necesario conocer ciertos parámetros como son: la superficie del local, el nivel de iluminación medio y la potencia de las luminarias. La potencia unitaria de cada luminaria instalada será de 267 W.

**Tabla 19. Resultados VEEI Caso 0.**

Superficie	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100 lux)
1750	1,43

### 8.1.2. CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural

Para poder hacer una aproximación de lo que significaría tener encendidas las luminarias un 10% de las horas que actualmente lo están, se supondrá que únicamente se instalarán un 10% del número de las luminarias actuales. Esto quiere decir que se instalarían 4 luminarias.

**Tabla 20. Resultados VEEI Caso 1.**

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100 lux)
1750	0,16

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

8.1.3. CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural

Para este caso, se procede de la misma manera que en el CASO 1. Se supone que sólo serán necesarias el 30% de las luminarias originales, es decir, se necesitarán 11 luminarias.

**Tabla 21. Resultados VEEI Caso 2.**

<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VEEI ((W/m<sup>2</sup>)/100 lux)</b>
1750	0,45

El VEEI ideal que debería tener cualquier planta o construcción sería 0. Dado que es un valor tan difícil de obtener se tomará como óptimo el caso con el menor VEEI.

## 9. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar un balance económico entre la situación actual (iluminación artificial) y situación futura (sistema de iluminación mixta), se realizará una comparación de la factura eléctrica en estas dos situaciones y se analizará el coste de instalación y mantenimiento del sistema de iluminación mixta con el coste de mantenimiento y renovación de las luminarias instaladas.

### 9.1. FACTURACIÓN ELÉCTRICA

La factura de la luz, se descompone en dos términos de facturación: término de potencia y término de energía; dos impuestos que son el impuesto sobre la electricidad y el IVA; y un coste fijo que es el alquiler del contador o equipo de medida, el cual depende de la empresa con la que se tiene el contrato de energía eléctrica, para el estudio se tomará un valor de 98 €/mes.

$$T \quad f \quad = T_p + T_e + I_E + I_{IVA} + A \quad c_i \quad (5)$$

El término de potencia hace referencia a la potencia que necesitas, es decir, es el precio de la potencia contratada, por tanto, es un coste fijo de la factura. En el apartado 4.1. se ha calculado la potencia total que requiere la instalación, entre maquinaria e iluminación artificial y, con ello, se ha definido la tarifa a la que se acoge la planta de estudio.

La potencia total requerida por la instalación es de 636,945 kW, por tanto, la tarifa que se ajusta a las necesidades de la planta será la 6.1 A. En la siguiente tabla se adjuntan los precios de cada periodo de la tarifa.

**Tabla 22. Precios de cada periodo de tarificación del término de potencia en €/kW año.**

<b>P1</b>	39,139427
<b>P2</b>	19,586654
<b>P3</b>	14,334178
<b>P4</b>	14,334178
<b>P5</b>	14,334178
<b>P6</b>	6,540177

El término de energía es el precio de la energía que se consume. En este caso, el valor del término de energía será variable, pues el consumo de la planta está compuesto del consumo de las luminarias y del consumo de los equipos utilizados por producción. Por tanto, se ha hecho una estimación del consumo mínimo que deberían tener los equipos de la planta.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

A continuación se adjunta la tabla de precios según periodos de la tarifa contratada.

**Tabla 23. Precios de cada periodo de tarificación del término de energía en €/kWh.**

<b>P1</b>	0,026674
<b>P2</b>	0,019921
<b>P3</b>	0,010615
<b>P4</b>	0,005283
<b>P5</b>	0,003411
<b>P6</b>	0,002137

Una vez conocidos los precios de cada periodo de facturación, se procede a calcular el coste mensual y anual de la factura eléctrica en la situación actual, es decir, con una utilización al 100% de la iluminación artificial.

Para ello, se ha de conocer las jornadas laborales y los días trabajados en planta. En la empresa de estudio, se trabaja de 6 a 22 todos los días del año exceptuando una semana en diciembre, por las vacaciones de Navidad, y dos semanas en agosto.

En algunas ocasiones será necesario realizar paradas de planta por mantenimiento o reparaciones de los diferentes equipos, por esta razón los días trabajados por mes son como máximo 27.

Con los datos mencionados se crea la siguiente tabla, la cual hace referencia a las horas trabajadas dentro de cada periodo en función del mes.

**Tabla 24. Horas trabajadas según periodo de facturación.**

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>Días trabajados</b>
<b>Enero</b>	6	10				0	24
<b>Febrero</b>	6	10				0	27
<b>Marzo</b>			6	10		0	27
<b>Abril</b>					16	0	27
<b>Mayo</b>			6	10		0	25
<b>Junio</b>			6	10		0	13
	8	8				0	13
<b>Julio</b>	8	8				0	27
<b>Agosto</b>						16	15
<b>Septiembre</b>			6	10		0	27
<b>Octubre</b>					16	0	27
<b>Noviembre</b>			6	10		0	27
<b>Diciembre</b>	6	10				0	24



*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

El término de potencia se calculará aplicando la siguiente ecuación:

$$T_P = \sum_i P_i \cdot P_T \cdot N_i \quad (6)$$

- $P_i$  Precio de cada periodo (€/kW·día)
- $P_T$  Potencia total consumida (kW)
- $N_i$  Número de días trabajados al mes (día)

**Tabla 25. Coste del término de potencia.**

	<b>Término potencia</b>
<b>Enero</b>	2.459,53 €
<b>Febrero</b>	2.766,97 €
<b>Marzo</b>	1.350,75 €
<b>Abril</b>	675,38 €
<b>Mayo</b>	1.250,70 €
<b>Junio</b>	650,36 €
	1.332,24 €
<b>Julio</b>	2.766,97 €
<b>Agosto</b>	171,19 €
<b>Septiembre</b>	1.350,75 €
<b>Octubre</b>	675,38 €
<b>Noviembre</b>	1.350,75 €
<b>Diciembre</b>	2.459,53 €
<b>TOTAL</b>	<b>19.260,49 €</b>

Para el cálculo del término de energía se procederá del mismo modo, aplicando la ecuación correspondiente:

$$T_e = \sum_i h_i \cdot P_i \cdot N_i \cdot P_C \quad (7)$$

- $h_i$  Horas de consumo de cada periodo (h)
- $P_i$  Precio de cada periodo (€/kW·día)
- $P_T$  Potencia consumida (luminarias) (kW)
- $N_i$  Número de días trabajados al mes (día)

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Cabe recordar, que la potencia de las luminarias instaladas es de 267 W cada una. De la simulación en el programa DIALux Light se obtiene la aproximación del número de luminarias para conseguir el nivel de iluminación medio requerido por normativa. El programa determina que serán alrededor de 35 las luminarias instaladas del tipo PHILIPS Leuchten GentleSpace.

**Tabla 26. Cálculo de la potencia consumida por las luminarias.**

Potencia unitaria (kW)	Cantidad de luminarias	Potencia total (kW)
0,267	35	9,345

Por tanto, aplicando la ecuación con los datos presentados en las tablas 23 y 24, se obtienen los siguientes costes del término de energía.

**Tabla 27. Coste del término de energía.**

	Término energía
<b>Enero</b>	3.017,78 €
<b>Febrero</b>	3.395,00 €
<b>Marzo</b>	1.101,13 €
<b>Abril</b>	515,75 €
<b>Mayo</b>	1.019,56 €
<b>Junio</b>	530,17 €
	1.696,08 €
<b>Julio</b>	3.522,63 €
<b>Agosto</b>	179,51 €
<b>Septiembre</b>	1.101,13 €
<b>Octubre</b>	515,75 €
<b>Noviembre</b>	1.101,13 €
<b>Diciembre</b>	3.017,78 €
<b>TOTAL</b>	<b>20.713,41 €</b>

El impuesto eléctrico tiene por objetivo anular los recargos sobre la factura eléctrica una vez se hayan adquirido los ingresos necesarios. Este impuesto se calculará mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$I_E = (T_P + T_e) \cdot 1,05113 \cdot 4,864\% \quad (8)$$

**Tabla 28. Coste del impuesto eléctrico.**

	<b>Término potencia</b>	<b>Término energía</b>	<b>Impuesto eléctrico</b>
<b>Enero</b>	2.459,53 €	3.017,78 €	280,04 €
<b>Febrero</b>	2.766,97 €	3.395,00 €	315,04 €
<b>Marzo</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €
<b>Abril</b>	675,38 €	515,75 €	60,90 €
<b>Mayo</b>	1.250,70 €	1.019,56 €	116,07 €
<b>Junio</b>	650,36 €	530,17 €	60,36 €
	1.332,24 €	1.696,08 €	154,83 €
<b>Julio</b>	2.766,97 €	3.522,63 €	321,57 €
<b>Agosto</b>	171,19 €	179,51 €	17,93 €
<b>Septiembre</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €
<b>Octubre</b>	675,38 €	515,75 €	60,90 €
<b>Noviembre</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €
<b>Diciembre</b>	2.459,53 €	3.017,78 €	280,04 €
		<b>TOTAL</b>	<b>2.043,74 €</b>

Una vez ya se han calculado los valores de los diferentes términos (potencia y eléctrico) y el impuesto sobre la electricidad. Únicamente quedará calcular el IVA, el cual será un 21% sobre la suma de todos los impuestos y gastos anteriores, y realizar la suma de todos ellos para obtener el importe mensual y anual de la factura eléctrica.

**Tabla 29. Descomposición gastos de la factura eléctrica.**

	<b>Término potencia</b>	<b>Término energía</b>	<b>Impuesto eléctrico</b>	<b>IVA</b>	<b>Total factura eléctrica</b>
<b>Enero</b>	2.459,53 €	3.017,78 €	280,04 €	1.229,62 €	6.986,96 €
<b>Febrero</b>	2.766,97 €	3.395,00 €	315,04 €	1.380,75 €	7.857,76 €
<b>Marzo</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €	561,80 €	3.139,04 €
<b>Abril</b>	675,38 €	515,75 €	60,90 €	283,51 €	1.535,53 €
<b>Mayo</b>	1.250,70 €	1.019,56 €	116,07 €	521,71 €	2.908,04 €
<b>Junio</b>	650,36 €	530,17 €	60,36 €	281,17 €	1.522,06 €
	1.332,24 €	1.696,08 €	154,83 €	689,04 €	3.872,20 €
<b>Julio</b>	2.766,97 €	3.522,63 €	321,57 €	1.408,92 €	8.020,09 €
<b>Agosto</b>	171,19 €	179,51 €	17,93 €	97,99 €	466,63 €
<b>Septiembre</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €	561,80 €	3.139,04 €
<b>Octubre</b>	675,38 €	515,75 €	60,90 €	283,51 €	1.535,53 €
<b>Noviembre</b>	1.350,75 €	1.101,13 €	125,36 €	561,80 €	3.139,04 €
<b>Diciembre</b>	2.459,53 €	3.017,78 €	280,04 €	1.229,62 €	6.986,96 €
				<b>TOTAL</b>	<b>51.108,88 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Por tanto, anualmente el coste eléctrico de la planta iluminada con el 100% de iluminación artificial es de 51.108,88€. Seguidamente se va a estudiar el coste eléctrico de algunos casos donde se usa iluminación artificial y natural.

9.1.1. ILUMINACIÓN MIXTA.

En el presente apartado se realizará un estudio referido al coste de la factura eléctrica en función de una utilización mayor o menor de iluminación artificial. Para ello, se utilizarán los mismos casos detallados en el apartado 8.1.

*9.1.1.1. CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.*

El primer paso para realizar el estudio será establecer qué número de luminarias serán necesarias. Dado que con una utilización total de iluminación artificial se tenían 35 luminarias, se supondrá que con una utilización del 10% de este tipo de iluminación será adecuado colocar 4 luminarias.

A continuación se realizarán los mismos cálculos que en el apartado anterior, pero referido a 4 luminarias en vez de 35, lo cual será una potencia consumida por las luminarias de 1,068 kW.

**Tabla 30. Descomposición gastos de la factura eléctrica, CASO 1.**

	<b>Término potencia</b>	<b>Término energía</b>	<b>Impuesto eléctrico</b>	<b>IVA</b>	<b>Total factura eléctrica</b>
<b>Enero</b>	2.427,56 €	2.946,41 €	274,76 €	1.206,81 €	6.855,54 €
<b>Febrero</b>	2.731,01 €	3.314,71 €	309,10 €	1.355,09 €	7.709,92 €
<b>Marzo</b>	1.333,20 €	1.075,09 €	123,13 €	552,18 €	3.083,60 €
<b>Abril</b>	666,60 €	503,55 €	59,83 €	278,88 €	1.508,86 €
<b>Mayo</b>	1.234,44 €	995,45 €	114,01 €	512,80 €	2.856,71 €
<b>Junio</b>	641,91 €	517,64 €	59,28 €	276,53 €	1.495,37 €
	1.314,93 €	1.655,97 €	151,89 €	676,37 €	3.799,16 €
<b>Julio</b>	2.731,01 €	3.439,33 €	315,47 €	1.382,60 €	7.868,41 €
<b>Agosto</b>	168,97 €	175,27 €	17,60 €	96,57 €	458,40 €
<b>Septiembre</b>	1.333,20 €	1.075,09 €	123,13 €	552,18 €	3.083,60 €
<b>Octubre</b>	666,60 €	503,55 €	59,83 €	278,88 €	1.508,86 €
<b>Noviembre</b>	1.333,20 €	1.075,09 €	123,13 €	552,18 €	3.083,60 €
<b>Diciembre</b>	2.427,56 €	2.946,41 €	274,76 €	1.206,81 €	6.855,54 €
				<b>TOTAL</b>	<b>50.167,55 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

*9.1.1.2. CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.*

Para este caso, se deberá multiplicar las 35 luminarias originales por 0,3, con lo cual se tendrán 11 luminarias con las que realizar los cálculos acerca de la facturación eléctrica. La potencia total consumida por las luminarias será de 2,937 kW.

**Tabla 31. Descomposición gastos de la factura eléctrica, CASO 2.**

	<b>Término potencia</b>	<b>Término energía</b>	<b>Impuesto eléctrico</b>	<b>IVA</b>	<b>Total factura eléctrica</b>
<b>Enero</b>	2.434,78 €	2.962,53 €	275,95 €	1.211,96 €	6.885,22 €
<b>Febrero</b>	2.739,13 €	3.332,84 €	310,44 €	1.360,89 €	7.743,30 €
<b>Marzo</b>	1.337,16 €	1.080,97 €	123,63 €	554,35 €	3.096,11 €
<b>Abril</b>	668,58 €	506,31 €	60,07 €	279,92 €	1.514,88 €
<b>Mayo</b>	1.238,11 €	1.000,90 €	114,47 €	514,81 €	2.868,30 €
<b>Junio</b>	643,82 €	520,47 €	59,53 €	277,58 €	1.501,39 €
	1.318,84 €	1.665,03 €	152,56 €	679,23 €	3.815,66 €
<b>Julio</b>	2.739,13 €	3.458,14 €	316,85 €	1.388,54 €	7.902,66 €
<b>Agosto</b>	169,47 €	176,22 €	17,67 €	96,89 €	460,26 €
<b>Septiembre</b>	1.337,16 €	1.080,97 €	123,63 €	554,35 €	3.096,11 €
<b>Octubre</b>	668,58 €	506,31 €	60,07 €	279,92 €	1.514,88 €
<b>Noviembre</b>	1.337,16 €	1.080,97 €	123,63 €	554,35 €	3.096,11 €
<b>Diciembre</b>	2.434,78 €	2.962,53 €	275,95 €	1.211,96 €	6.885,22 €
				<b>TOTAL</b>	<b>50.380,11 €</b>

Se realiza una comparación de los gastos asociados a la factura eléctrica utilizando únicamente iluminación artificial, haciendo un 10% uso de esta y un 30%.

**Tabla 32. Resumen costes de la factura de la luz en función de la utilización de las luminarias.**

	<b>100 % iluminación artificial</b>	<b>10% iluminación artificial – 90% iluminación natural</b>	<b>30% iluminación artificial – 70% iluminación natural</b>
<b>Término de potencia</b>	19.260,49 €	19.010,20 €	19.066,72 €
<b>Término energía</b>	20.713,41 €	20.223,57 €	20.334,18 €
<b>Impuesto eléctrico</b>	2.043,74 €	2.005,90 €	2.014,45 €
<b>IVA</b>	9.091,24 €	8.927,87 €	8.964,76 €
<b>TOTAL FACTURA</b>	<b>51.108,88 €</b>	<b>50.167,55 €</b>	<b>50.380,11 €</b>

## 9.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar el análisis económico y estudiar la viabilidad de la instalación de este sistema de iluminación, se comparará el coste que supone cada propuesta para la planta y realizando un análisis del VAN y el TIR se determinará si es rentable adoptar alguna de las propuestas.

### 9.2.1. GASTOS ANUALES

En primer lugar se hará un resumen de todos los gastos que suponen cada propuesta (Gasto eléctrico, renovación de luminarias y mantenimiento de lucernarios, si es necesario).

*NOTA: Todos los presupuestos se pueden encontrar en el ANEXO 2.*

#### 9.2.1.1. 100% Iluminación artificial:

**Tabla 33. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 100% iluminación artificial.**

Gasto eléctrico anual	51.108,88 €
Coste anual de renovación de luminarias	3.207,41 €
<b>Gasto anual 100% iluminación artificial</b>	<b>54.316,29 €</b>

#### 9.2.1.2. 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural:

**Tabla 34. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 10% iluminación artificial.**

Gasto eléctrico anual	50.167,55 €
Coste anual de renovación de luminarias	366,56 €
Coste anual de mantenimiento de los lucernarios	106,88 €
<b>Gasto anual 10% iluminación artificial</b>	<b>50.640,99 €</b>

#### 9.2.1.3. 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural:

**Tabla 35. Gastos anuales de la propuesta de utilización del 30% iluminación artificial.**

Gasto eléctrico anual	50.380,11 €
Coste anual de renovación de luminarias	1.009,02 €
Coste anual de mantenimiento de los lucernarios	106,88 €
<b>Gasto anual 30% iluminación artificial</b>	<b>51.496,00 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Seguidamente, se realizará una comparativa entre las tres propuestas de sistemas de iluminación, con el objetivo de determinar cuál sale más rentable.

**Tabla 36. Comparativa del gasto eléctrico en función del uso de las luminarias.**

	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
<b>Gasto eléctrico 100% iluminación artificial</b>	51.108,88 €	-
<b>Gasto eléctrico 10% iluminación artificial</b>	50.167,55 €	941,33 €
<b>Gasto eléctrico 30% iluminación artificial</b>	50.380,11 €	728,77 €

**Tabla 37. Comparativa del coste anual de renovación de luminarias en función de su uso.**

	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
<b>Coste anual de renovación de luminarias 100% iluminación artificial</b>	3.207,41 €	-
<b>Coste anual de renovación de luminarias 10% iluminación artificial</b>	366,56 €	2.840,85 €
<b>Coste anual de renovación de luminarias 30% iluminación artificial</b>	1.009,02 €	2.198,39 €

**Tabla 38. Comparativa del gasto anual en función del uso de las luminarias.**

	<b>Coste</b>	<b>Ahorro</b>
<b>Gasto anual 100% iluminación artificial</b>	54.316,29 €	-
<b>Gasto anual 10% iluminación artificial</b>	50.640,99 €	3.675,30 €
<b>Gasto anual 30% iluminación artificial</b>	51.496,00 €	2.820,29 €

Como se puede apreciar los dos casos de estudio de sistemas de iluminación mixta obtienen importantes ahorros anuales. A continuación, se estudiará si estos ahorros son suficientes para considerar la instalación rentable y, con ello, proceder a su realización.

9.2.2. CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO.

Finalmente, se realizará el análisis de la inversión para corroborar que se trata de una buena elección cambiar el sistema de iluminación de artificial a mixta. Para ello, se tendrán en cuenta dos parámetros que indican la rentabilidad del proyecto.

Por un lado, está el Valor Actual Neto (VAN), el cual estima el valor presente de los flujos de caja originados por la inversión.

Este indicativo se calculará mediante la aplicación de la siguiente ecuación, para la cual se deberá conocer la inversión inicial, el flujo de caja que genera la inversión y el “horizonte temporal”, es decir, la cantidad de periodos que se hayan considerado. En este caso, se considerarán 25 años, pues supone que esta será la vida útil de la instalación.

$$V = -I_0 + \sum_{t=0}^T \frac{V}{(1+i)^t} \quad (9)$$

- $I_0$  Inversión inicial
- $T$  Horizonte temporal
- $V$  Flujo de caja
- $i$  Interés

El segundo factor que determinará la rentabilidad del proyecto y, con ello, su ejecución, será el TIR. El TIR es la Tasa Interna de Rentabilidad, es aquel valor que anule el VAN. Cuanto más elevado sea este factor más rentabilidad tendrá el proyecto.

Seguidamente, se calcularán estos parámetros para las diferentes soluciones propuestas, utilización del 10% Iluminación artificial (CASO 1) y del 30% Iluminación artificial (CASO 2).

**Tabla 39. Datos iniciales para el cálculo del VAN.**

	Inversión inicial	Flujo de caja
<b>CASO 1: 10% Iluminación artificial</b>	37.075,05 €	3.729,63 €
<b>CASO 2: 30% Iluminación artificial</b>	37.075,05 €	2.862,35 €

**Tabla 40. Cálculo VAN para los diferentes casos.**

	VAN i = 0,02	VAN i = 0,04	VAN i = 0,06	VAN i = 0,08	VAN i = 0,1
<b>CASO 1</b>	34.679,57 €	20.340,83 €	9.907,66 €	2.157,99 €	- 3.714,17 €
<b>CASO 2</b>	17.986,69 €	6.983,69 €	- 1.022,32 €	- 6.969,12 €	- 11.475,20 €



**Tabla 41. Cálculo del TIR para los diferentes casos.**

	<b>Inversión inicial</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>TIR</b>
<b>CASO 1</b>	37.075,05 €	3.729,63 €	8,67%
<b>CASO 2</b>	37.075,05 €	2.862,35 €	5,71%

A la vista de los resultados, ambos proyectos poseen un TIR considerablemente alto, por tanto, se puede asumir que serán rentables. Aun así, el caso en el que se utiliza un 30% de iluminación artificial será el más restrictivo, pues será rentable si los intereses son menores al 5,71%. En cambio, la opción en la que se utiliza un 10% de la iluminación será rentable con intereses menores al 8,67%.

## 10. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- De las diferentes soluciones propuestas, se ha obtenido una solución que cumple con los requisitos mínimos de iluminación que propone la normativa UNE-12464.1, consiguiéndose, además, una buena uniformidad de la luz natural en la planta (obteniendo excelentes resultados en dos de las zonas establecidas) en todas las épocas del año.
- A pesar de la existencia de ventanales, los cuales son más propensos a producir deslumbramientos, se han disminuido colocando dichos ventanales en la fachada Norte de la planta.
- Los valores de iluminación máximos obtenidos para el 10 de diciembre a las 12 de la mañana, así como los obtenidos el 23 de junio resultan excesivos, pues son mayores de 2.000 luxes. Se ha evitado el contacto del trabajador con la colocación de barreras físicas.
- Es imposible la utilización de un sistema de iluminación 100% natural, dada la variabilidad de las condiciones meteorológicas. Por tanto, siempre es necesario complementar estos sistemas con sistemas de iluminación artificial.
- Se han propuesto dos sistemas de iluminación mixta: utilizando un 10% y un 30% de iluminación artificial. Con ellos se han analizado el coste de implantación y mantenimiento y los gastos eléctricos que suponen. Obteniéndose notables ahorros con respecto a la situación actual (sistema de iluminación 100% artificial).
- Se ha calculado el VEEL para las tres situaciones planteadas: 100% iluminación artificial, 10% iluminación artificial y 30% iluminación artificial. De este estudio se puede concluir que al introducir iluminación natural el VEEL disminuye y se acerca más al valor ideal. Actualmente, el procedimiento de cálculo del VEEL propuesto por el CTE no estima una variación de este a lo largo del día, pues supone una potencia fija.
- Del análisis de la viabilidad de todas estas propuestas, mediante el cálculo del VAN y el TIR. Se ha obtenido como resultado, que el cambio en el sistema de iluminación será viable si eligiendo la propuesta en la que se utiliza un 10% de iluminación artificial el interés es menor al 8,67%; o bien, si se elige la propuesta en la que la utilización de iluminación artificial es del 30% los intereses en esta son menores del 5,71%.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- *Tipos de tableros de madera.* Disponible en: <http://www.bricotodo.com/tipostableros.htm>
- *Información técnica de tableros OSB.* Disponible en: <http://www.osb-info.org/Tecnica.html>
- Ballester-Olmos y Anguis, José Francisco. *Abonos nitrogenados de liberación lenta.* Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1994\\_03.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_03.pdf)
- *Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.* Disponible en: [http://www.infoagro.com/abonos/ab\\_liber\\_lenta.htm](http://www.infoagro.com/abonos/ab_liber_lenta.htm)
- Vallejos Calzada (2010): *Estudio de la reducción de emisión de formaldehído en las resina de urea formaldehído.*
- *Código Técnico de la edificación.*
- *Fundamentos de la iluminación.* Disponible en: <http://ovacen.com/>
- UNE 12464.1. *Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.*
- Base de Precios del IVE (2015). *Instituto Valenciano de la Edificación.*
- Poliforma't. *Apuntes de Construcción y Arquitectura industrial.*
- Poliforma't. *Apuntes de proyectos.*
- [www.endesaclientes.com](http://www.endesaclientes.com)
- Andrés, Carlos. (18/05/2013). *Polimerización por condensación.* Recuperado de: [https://www.youtube.com/watch?v=k9\\_VlMrCPrw](https://www.youtube.com/watch?v=k9_VlMrCPrw)

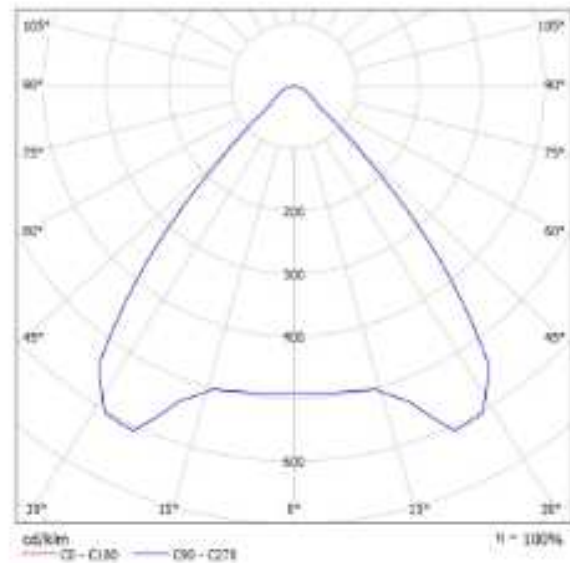
# ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE LA LUMINARIA

Proyecto elaborado por  
Teléfono:  
Fax:  
e-Mail:

**PHILIPS Leuchten 910925628912 GentleSpace BY461P LED240S/740 PSD IP65 WB GC SI / Hoja de datos de luminarias**



Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 82 96 99 100 100

LED-Flächenleuchte mit 4 Lichtflügeln; mit integrierter Optik für breitstrahlende Lichtverteilung;  
Gehäuse aus Aluminium, silbergrau lackiert;  
mit neutralweißen LED und DALI-regelbarem Betriebsgerät;  
Systemleistung: 267 W; mit Wieland-Stecker-Buchse-Anschluss

Flaches, 4-flügeliges Leuchtgehäuse aus Aluminium, silbergrau lackiert; mit Glasabdeckung; mit integrierten Kühlrippen zur lötfreien Kühlung;  
Länge: 645 mm, Breite: 603 mm, Höhe: 92 mm; mit von außen zugänglichem 5-poligem Kabel/Stecker/Buchse-Anschluss bis 4 mm<sup>2</sup> (wird mitgeliefert)

LEDGINE-Module mit 24.000 lm Leuchtenlichtstrom;  
Lichtfarbe: Neutralweiß (4000 K) und Ra: 75;  
breitstrahlende Optik

Lieferung mit DALI-regelbarem Betriebsgerät und werkzeugslos höhenverstellbarer Triangel-Seitabhängung (max. 1,70 m; minimaler Abstand zu einer Decke: 0,3 m);  
Lebensdauer: 75.000 Stunden  
(mit 70% Lichtstrombehalt und Umgebungstemp. 45°C);  
Umgebungstemperaturbereich: -30°C bis +45°C

Schutzklasse I, Schutzart IP 65, ENED 30, D-Zeichen, Ballwurfsicher, CE-Zeichen

Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	
Techo		40	38	36	35	34	33	32	31	30	
Paredes		40	38	36	35	34	33	32	31	30	
Suelo		30	28	27	26	25	24	23	22	21	
Posición del luz		Flejo en perpendicular al eje de visión					Flejo longitudinalmente al eje de visión				
X	Y	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	
		3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	
		4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	
		5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	
		6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	
		12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	
		2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	
		3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	
		4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	4H	
		5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	5H	
		6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	
		12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	
		9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	
		6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	
		3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	
		12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	
		12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	
		9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	9H	
		6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	6H	
		3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	3H	
		12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	12H	
Distancia de la pantalla del espectador para espaldas y otros valores		S = 1,0H		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0	
		S = 1,5H		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0		+1,0   -1,0	
		S = 2,0H		+0,5   -0,5		+0,5   -0,5		+0,5   -0,5		+0,5   -0,5	
Tubo estándar		D40L					D40L				
Número de lámparas		1,0					1,0				
Nota: Análisis de deslumbramiento realizado en relación a 2000h de vida útil de la lámpara											

# ANEXO 2: PRESUPUESTO

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Seguidamente, se expondrá el coste de instalación del sistema de iluminación seleccionado, así como el coste de mantenimiento del mismo.

1. PRESUPUESTOS ASOCIADOS A LOS LUCERNARIOS.

En primer lugar, se calculará el importe de instalación y mantenimiento del sistema de iluminación natural, pues estos gastos serán fijos independientemente del sistema de iluminación mixta que se elija. Cabe recordar, que se tratan de 20 lucernarios de 2 x 10 m y dos ventanales de 3 x 5 m.

El presupuesto estará dividido en dos secciones, por un lado se tendrá la instalación de los lucernarios, y por otro lado se tendrá la instalación de los ventanales. Además, cada sección del presupuesto estará dividida en diferentes partidas como son:

- Instalación de lucernarios:
  - Realización del hueco para los lucernarios.
  - Colocación de la carpintería metálica.
  - Instalación de los paneles de policarbonato.
  - Soldado de paneles.
  
- Instalación de ventanales:
  - Realización del hueco para los ventanales.
  - Instalación del acristalamiento.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 42. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	M2	<b>Realización del hueco para el lucernario</b>				
	hr	Oficial 1ª metal	0,1200	16,58 €	1,99 €	
	%	Costes directos	0,0200	1,99 €	0,04 €	
						2,03 €
01.02	M2	<b>Colocación carpintería metálica</b>				
	ud	Premarco de aluminio	1,0000	8,37 €	8,37 €	
	hr	Oficial 1ª metal	0,0900	16,58 €	1,49 €	
	día	Grúa elevadora	0,0038	116,39 €	0,44 €	
	%	Costes directos	0,0200	10,30 €	0,21 €	
						10,50 €
01.03	M2	<b>Instalación de paneles de policarbonato</b>				
	ud	Panel de policarbonato	1,0000	40,90 €	40,90 €	
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,1100	12,91 €	1,42 €	
	día	Grúa elevadora	0,0046	116,39 €	0,53 €	
%	Costes directos	0,0200	42,85 €	0,86 €		
						43,71 €
01.04	M2	<b>Soldado paneles</b>				
	hr	Oficial 1ª metal	0,0500	16,58 €	0,83 €	
	día	Grúa elevadora	0,0021	116,39 €	0,24 €	
	%	Costes directos	0,0200	1,07 €	0,02 €	
						1,09 €
01.05	M2	<b>Realización del hueco para ventanal</b>				
	hr	Oficial 1ª construcción	0,1000	15,77 €	1,58 €	
	%	Costes directos	0,0200	1,58 €	0,03 €	
						1,61 €
01.06	M2	<b>Instalación acristalamiento</b>				
	ud	Premarco de aluminio	1,0000	8,37 €	8,37 €	
	m2	Acristalamiento	1,0000	58,99 €	58,99 €	
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,1680	12,91 €	2,17 €	
	día	Grúa elevadora	0,0070	116,39 €	0,81 €	
%	Costes directos	0,0200	70,34 €	1,41 €		
						71,75 €



*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 43. Cuadro de mediciones del sistema de iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	M2	<b>Realización del hueco para el lucernario</b>					
	M2	Lucernarios	20,00	2,00	10,00	400	
							400
01.02	M2	<b>Colocación carpintería metálica</b>					
	M2	Lucernarios	20,00	2,00	10,00	400	
							400
01.03	M2	<b>Instalación de paneles de policarbonato</b>					
	M2	Lucernarios	20,00	2,00	10,00	400	
							400
01.04	M2	<b>Soldado paneles</b>					
	M2	Lucernarios	20,00	2,00	10,00	400	
							400
01.05	M2	<b>Realización del hueco para ventanal</b>					
	M2	Ventanal	2,00	3,00	5,00	30	
							30
01.06	M2	<b>Instalación del acristalamiento</b>					
	M2	Ventanal	2,00	3,00	5,00	30	
							30

**Tabla 44. Cuadro de precios parciales del sistema de iluminación natural.**

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Realización del hueco para el lucernario	811,76 €	
01.02	Colocación carpintería metálica	4.201,85 €	
01.03	Instalación de paneles de policarbonato	17.484,25 €	
01.04	Soldado paneles	437,16 €	
01.05	Realización del hueco para ventanal	48,26 €	
01.06	Instalación del acristalamiento	2.152,51 €	
			<b>25.135,80 €</b>

Con la suma de los presupuestos parciales, se obtienen el *Presupuesto de Ejecución Material (PEM)* (39.421,65 €). A este presupuesto el contratista deberá sumarle un porcentaje asignado para Gastos Generales (15%), ajenos a la ejecución de la obra, y un Beneficio Industrial para el propio contratista (6%). Una vez se hayan imputado estos impuestos se obtendrá el *Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)*.

Para finalizar, deberá imputarse a este PEC el porcentaje del IVA correspondiente (21%), siendo el resultado de esto el *Presupuesto Base de Licitación*.

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 45. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural.**

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	25.135,80 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	30.640,53 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>37.075,05 €</b>

El siguiente paso será calcular el coste de mantenimiento de los lucernarios, pues cada 5 años será necesario realizar una limpieza de los mismos. En el caso de los ventanales, no será necesario realizar un mantenimiento especial, por tanto se excluirá del presupuesto de mantenimiento.

**Tabla 46. Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de los lucernarios.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	UD	<b>Mantenimiento de paneles de policarbonato</b>				
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,050	12,91 €	0,65 €	
	día	Grúa elevadora	0,002	116,39 €	0,24 €	
	%	Costes directos	0,020	0,89 €	0,02 €	
						0,91 €

**Tabla 47. Cuadro de mediciones del mantenimiento de los lucernarios.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL	
01.01	UD	<b>Mantenimiento de paneles de policarbonato</b>						
	ud	Lucernarios	20	2	10	400		
							400	

**Tabla 48. Cuadro de precios parciales del mantenimiento de los lucernarios.**

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Mantenimiento de paneles de policarbonato	362,30 €	
			<b>362,30 €</b>

Para conseguir el *Presupuesto Base de Licitación*, habrá que imputar el IVA (21%) al *Presupuesto de Ejecución por Contrata*, el cual se habrá obtenido al realizar incrementar el valor de los Gastos Generales (15%) y el Beneficio Industrial (6%) al *Presupuesto de Ejecución Material*.

**Tabla 49. Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios.**

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	362,30 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	441,64 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>534,38 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Como último paso, quedaría obtener el Presupuesto Total Anual, pues como se ha comentado anteriormente esta tarea se realizará cada 5 años.

**Tabla 50. Presupuesto anual de mantenimiento de los lucernarios.**

<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>534,38 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>106,88 €</b>

2. PRESUPUESTOS ASOCIADOS A LAS LUMINARIAS.

A continuación se calculará el coste de la renovación de las luminarias. Pues este tipo de luminarias tienen una vida útil entre 15.000 y 25.000 horas. Como se ha mencionado en apartados anteriores la planta funciona 16 horas al día durante 303 días al año, esto quiere decir que las luminarias estarán en funcionamiento durante 4.848 horas al año.

Tomando como vida útil de las luminarias 20.000 horas y dadas las horas de funcionamiento que estas tienen al año, será necesario renovar dichas luminarias cada 4,13 años.

En primer lugar se calculará este presupuesto de renovación para una utilización del 100% de las luminarias, esto quiere decir que se tendrán en cuenta las 35 luminarias del cálculo original.

**Tabla 51. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de las luminarias.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	M2	<b>Renovación de luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1,00	250,00 €	250,00 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,30	16,58 €	4,97 €	
	día	Grúa elevadora	0,01	116,39 €	1,45 €	
	%	Costes directos	0,02	6,43 €	0,13 €	
						256,56 €

**Tabla 52. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	UD	<b>Renovación de luminarias</b>					
	ud	Luminarias	35			35	
							35

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 53. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias.**

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Renovación de luminarias	8.970,84 €	
			<b>8.970,84 €</b>

De igual forma que en apartados anteriores, para conseguir el *Presupuesto Base de Licitación*, habrá que imputar el IVA al *Presupuesto de Ejecución por Contrata*, el cual se habrá obtenido al realizar incrementar el valor de los Gastos Generales y el Beneficio Industrial al *Presupuesto de Ejecución Material*.

**Tabla 54. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias.**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	8.970,84 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	10.935,45 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	<b>13.231,89 €</b>

Dado que la vida útil del sistema de iluminación artificial es de 4,13 años, se calculará el coste anual que supone esta renovación.

**Tabla 55. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias.**

PRESUPUESTO TOTAL	13.231,89 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	<b>3.207,41 €</b>

A continuación se realizarán los mismos cálculos para los diferentes casos de estudio de iluminación mixta.

#### *2.1. CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural*

De igual forma que se ha realizado en la comparación del gasto eléctrico, se necesitarán 4 luminarias para aportar un 10% de la iluminación.

**Tabla 56. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	M2	Renovación de luminarias				
	ud	Luminaria	1,00	250,00 €	250,00 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,30	15,77 €	4,73 €	
	día	Grúa elevadora	0,01	116,39 €	1,45 €	
	%	Costes directos	0,02	6,19 €	0,12 €	
						<b>256,31 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

**Tabla 57. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	UD	Renovación de luminarias					
	ud	Luminarias	4			4	
							4

**Tabla 58. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.**

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Renovación de luminarias	1.025,24 €	
			<b>1.025,24 €</b>

Para conseguir el *Presupuesto Base de Licitación*, habrá que imputar el IVA (21%) al *Presupuesto de Ejecución por Contrata*, el cual se habrá obtenido al realizar incrementar el valor de los Gastos Generales (15%) y el Beneficio Industrial (6%) al *Presupuesto de Ejecución Material*.

**Tabla 59. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	1.025,24 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	1.249,77 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	<b>1.512,22 €</b>

Dado que la vida útil del sistema de iluminación artificial es de 4,13 años, se calculará el coste anual que supone esta renovación.

**Tabla 60. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 1: 10% Iluminación artificial – 90% Iluminación natural.**

PRESUPUESTO TOTAL	1.512,22 €
PRESUPUESTO TOTAL ANUAL	<b>366,56 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

*2.2. CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural*

De igual forma que se ha realizado en la comparación del gasto eléctrico, serán 11 las luminarias necesarias para aportar un 30% de la iluminación.

**Tabla 61. Cuadro de precios descompuestos de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	M2	<b>Renovación de luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1,00	250,00 €	250,00 €	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,30	16,58 €	4,97 €	
	día	Grúa elevadora	0,01	116,39 €	1,45 €	
	%	Costes directos	0,02	6,43 €	0,13 €	
						256,56 €

**Tabla 62. Cuadro de mediciones de la renovación y mantenimiento de las luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	Nº	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	UD	<b>Renovación de luminarias</b>					
	ud	Luminarias	11			11	
							11

**Tabla 63. Cuadro de presupuesto parcial de la renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.**

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Renovación de luminarias	2.822,13 €	
			<b>2.822,13 €</b>

Para conseguir el *Presupuesto Base de Licitación*, habrá que imputar el IVA (21%) al *Presupuesto de Ejecución por Contrata*, el cual se habrá obtenido al realizar incrementar el valor de los Gastos Generales (15%) y el Beneficio Industrial (6%) al *Presupuesto de Ejecución Material*.

**Tabla 64. Presupuesto de renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	2.822,13 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	3.440,18 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	<b>4.162,62 €</b>

*Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente de una planta industrial dedicada a la fabricación de resina de urea formaldehído.*

Dado que la vida útil del sistema de iluminación artificial es de 4,13 años, se calculará el coste anual que supone esta renovación.

**Tabla 65. Presupuesto anual de renovación y mantenimiento de luminarias, CASO 2: 30% Iluminación artificial – 70% Iluminación natural.**

<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>4.162,62 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>1.009,02 €</b>