



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA EXTRACCIÓN DE ORO EN SAGUNTO, VALENCIA

AUTOR: SEISDEDOS GARCÍA, SAMUEL

TUTORA:  SANTAMARINA SIURANA, MARÍA CRISTINA



Curso Académico: 2020-21

## RESUMEN

En el presente trabajo académico se ha diseñado un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente para una planta industrial dedicada a la extracción de oro utilizando tiosulfato de sodio como agente lixivante y se han simulado sus resultados. La planta industrial está localizada en el parque empresarial de Parc Sagunt en la parcela I-8.5.

En primera instancia, se explicará en este documento el sector industrial que corresponde a esta planta detallando la distribución en planta de la industria, así como su sistema productivo para más adelante encontrar una solución acorde con los requerimientos de la planta.

Posteriormente, se realizará una introducción sobre los diferentes parámetros y conceptos que se van a tener en cuenta a la hora de realizar el sistema de iluminación y que van a determinar la viabilidad e idoneidad del sistema, permitiendo así justificar las decisiones tomadas.

A continuación, se realizará el estudio de diferentes propuestas de iluminación natural para la planta industrial diáfana como primera aproximación de entre las cuales se escogerá la mejor propuesta. Este estudio se realizará mediante el software informático de modelización DIALux.

Finalmente se desarrollará la propuesta escogida haciendo un modelado de detalle de los diferentes equipos e instalaciones en el modelado de la planta, y se analizará cómo afectan estos a la iluminación de la planta.

Estos estudios sobre iluminación natural se realizarán para diferentes condiciones en casos que puedan ser los más desfavorables o extremos, siendo estos casos los días en los que la iluminación pueda ser mínima o máxima.

Sin embargo, será necesario contar con un sistema de iluminación artificial que pueda suplir con las deficiencias del sistema e iluminación natural o los posibles imprevistos que surjan, como podrían ser unas condiciones meteorológicas inusuales.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, Iluminación natural.



## **PRÓLOGO**

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido posible gracias a la asignatura optativa de Construcción y Arquitectura Industrial, por lo que me gustaría agradecer a mi tutora, M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana la oportunidad de realizar este trabajo para poder finalizar mis estudios en Ingeniería Química, así como la preparación proporcionada durante la asignatura para este trabajo.

También me gustaría señalar la variedad de conocimientos que se pueden obtener en una carrera, que a primera vista está muy relacionada con la química siendo este TFG un ejemplo de esto.

Por último, me gustaría agradecer a mi familia y amigos todo el apoyo que me han dado durante estos años ya que gracias a ello es que he podido llegar hasta aquí.

## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:

- Memoria
- Presupuesto

## ÍNDICE

ÍNDICE DE IMAGENES.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	10
1. OBJETIVOS .....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	12
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	12
3.1. Etapas del proceso.....	12
3.1.1. Tamizado y trituración .....	12
3.1.2. Molienda.....	13
3.1.3. Clasificación en hidrociclón.....	13
3.1.4. Lixiviación.....	13
3.1.5. Filtración .....	13
3.1.6. Flotación iónica .....	14
3.1.7. Electrólisis .....	14
3.1.8. Fusión.....	14
3.2. Diagrama de bloques del proceso .....	15
4. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	16
5. ILUMINACIÓN .....	18
5.1. Tipos de iluminación.....	18
5.2. Iluminación natural y sistemas de iluminación natural .....	19
6. ESTADOS LÍMITE.....	20
7. HIPOTESIS Y CÁLCULOS PREVIOS .....	22
7.1. Requerimientos de iluminación de la planta .....	22
7.2. Cálculo del nivel de iluminación requerida .....	24
7.3. Condiciones de iluminación .....	25

7.4	Horas de iluminación .....	25
7.5	Predimensionamiento de aberturas.....	25
8.	DISEÑO DE LAS PROPUESTAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	30
8.1	Establecimiento de las condiciones en DIALux. ....	30
8.1.1	Localización y orientación de la nave. ....	30
8.1.2	Coeficientes de reflexión y otros parámetros.....	32
8.2	Propuestas .....	34
8.2.1	Propuesta 1 .....	35
8.2.2	Propuesta 2 .....	41
8.2.3	Propuesta 3 .....	47
9.	ELECCIÓN Y DESARROLLO DE PROPUESTA. ....	53
9.1	Comparación y elección de la propuesta. ....	53
9.2	Desarrollo de la propuesta.....	54
9.2.1	Mejora de la propuesta .....	62
9.3	Estudio de la iluminación por zonas. ....	68
9.4	Conclusiones de los resultados .....	74
10.	ILUMINACIÓN ARTIFICIAL .....	74
10.1	Eficiencia energética.....	75
10.1.1	Iluminación artificial al 100% .....	76
10.1.2	Iluminación artificial al 30%.....	76
10.1.3	Iluminación artificial al 10%.....	77
11.	CONSUMO ENERGÉTICO EN LA NAVE INDUSTRIAL.....	78
11.1	Elementos de la nave con gasto energético .....	78
12.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	80
12.1	Gasto energético .....	80
12.2	Iluminación 100% artificial.....	83
12.3	Iluminación 30% artificial.....	83
12.4	Iluminación 10% artificial.....	84
12.5	Balance económico .....	85
12.6	Rentabilidad .....	85
13.	CONCLUSIONES .....	87
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	88
	Documento: Presupuesto.....	89

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Diagrama de bloques del proceso de extracción de oro. ....	15
Imagen 2: Distribución en planta.....	16
Imagen 3: Distribución en planta por zonas.....	17
Imagen 4: Sistemas de iluminación natural. ....	20
Imagen 5: Ángulo de captación en la bóveda celeste.....	26
Imagen 6: Localización de la planta. ....	31
Imagen 7: Orientación de la planta.....	31
Imagen 8: Disposición de lucernarios cenitales propuesta 1. ....	36
Imagen 9: Modelo 3D propuesta 1. ....	36
Imagen 10: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de diciembre a las 9:00.....	37
Imagen 11: Isolneas (D) de la propuesta 1. ....	37
Imagen 12: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de junio a las 12:00. ....	38
Imagen 13: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de marzo a las 9:00. ....	38
Imagen 14: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de marzo a las 12:00.....	39
Imagen 15: Disposición de lucernarios cenitales de la propuesta 2. ....	42
Imagen 16: Modelo 3D de la propuesta 2.....	42
Imagen 17: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de diciembre a las 9:00.....	43
Imagen 18: Isolneas (D) de la propuesta 2. ....	43
Imagen 19: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de junio a las 12:00. ....	44
Imagen 20: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de marzo a las 9:00. ....	44
Imagen 21: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de marzo a las 12:00.....	45
Imagen 22: Disposición de aberturas de la propuesta 3 vista en planta. ....	48
Imagen 23: Vista lateral de aberturas de la propuesta 3. ....	48
Imagen 24: Modelo 3D de la propuesta 3. ....	49
Imagen 25: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de enero a las 9:00. ....	49
Imagen 26: Isolneas (D) de la propuesta.....	50
Imagen 27: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de junio a las 12:00. ....	50
Imagen 28: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de marzo a las 9:00. ....	51
Imagen 29: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de marzo a las 12:00.....	51
Imagen 30: Modelado 3D de la propuesta elegida.....	55
Imagen 31: Distribución aberturas de la propuesta modelada.....	55
Imagen 32: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de diciembre a las 9:00. ....	56

Imagen 33: Isolneas (D) de la propuesta modelada. ....	57
Imagen 34: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de junio a las 12:00. ....	57
Imagen 35: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de marzo a las 9:00. ....	58
Imagen 36: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de marzo a las 12:00. ....	58
Imagen 37: Posición de los trabajadores en el tamizado y trituración primaria. ....	61
Imagen 38: Modelo 3D de la propuesta modificada. ....	62
Imagen 39: Distribución de los lucernarios en la propuesta modificada. ....	63
Imagen 40: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de diciembre a las 9:00. ....	63
Imagen 41: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de junio a las 12:00. ....	64
Imagen 42: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de marzo a las 9:00. ....	64
Imagen 43: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de marzo a las 12:00. ....	65
Imagen 44: Isolneas (D) de la propuesta modificada. ....	65
Imagen 45: Isolneas (E) de la propuesta modificada vacía para el 21 de diciembre a las 9:00. ....	67
Imagen 46: Isolneas (D) de la propuesta modificada vacía. ....	67
Imagen 47: Precios de las tarifas el 1 de junio de 2021 (Iberdrola). ....	80
Imagen 48: Calendario de tarifas, distribución de períodos. ....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de zonas por color. ....	17
Tabla 2: Áreas y requerimientos de iluminación por actividades.....	23
Tabla 3: Valor de la $E_{requerida}$ . ....	24
Tabla 4: Valores de coeficientes. ....	28
Tabla 5: Coeficientes de reflexión.....	32
Tabla 6: Coeficientes de aberturas y de la nave. ....	34
Tabla 7: Fechas y horarios a simular. ....	35
Tabla 8: Características de la propuesta 1.....	35
Tabla 9: Resultados de la propuesta 1. ....	39
Tabla 10: Características de la propuesta 2.....	41
Tabla 9: Resultados de la propuesta 2. ....	45
Tabla 10: Características de la propuesta 3.....	47
Tabla 11: Resultados de la propuesta 3. ....	52
Tabla 12: Resultados de la propuesta desarrollada.....	59
Tabla 13: Alturas de los equipos.....	60
Tabla 14: Características de la propuesta 1 modificada. ....	62
Tabla 15: Resultados de la propuesta mejorada. ....	66
Tabla 15: Resultados de la propuesta mejorada vacía.....	68
Tabla 16: Iluminación por zonas el 21 de diciembre a las 9:00. ....	69
Tabla 17: Iluminación por zonas el 21 de diciembre a las 10:00. ....	70
Tabla 18: Iluminación por zonas el 21 de junio a las 12:00.....	71
Tabla 19: Iluminación por zonas el 21 de marzo a las 9:00.....	72
Tabla 20: Iluminación por zonas el 21 de marzo a las 12:00.....	73
Tabla 21: VEEI para iluminación artificial al 100%. ....	76
Tabla 22: VEEI para iluminación artificial al 30%. ....	77
Tabla 23: VEEI para iluminación artificial al 10%. ....	77
Tabla 24: Potencias de los equipos. ....	79
Tabla 25: Potencia total consumida.....	79
Tabla 26: Precios totales de las tarifas.....	81
Tabla 27: Horas al año de actividad por periodo.....	81
Tabla 28: Consumo de la nave con iluminación 100% artificial.....	83
Tabla 29: Factura energética para sistema de iluminación 100% artificial.....	83

Tabla 30: Consumo de la nave con iluminación 30% artificial. ....	83
Tabla 31: Factura energética para sistema de iluminación 30% artificial. ....	84
Tabla 32: Consumo de la nave con iluminación 10% artificial. ....	84
Tabla 33: Factura energética para sistema de iluminación 10% artificial. ....	84
Tabla 34: Balance económico. ....	85
Tabla 35: Valores del VAN para los sistemas de iluminación. ....	86
Tabla 36: Valores del TIR para los sistemas de iluminación. ....	86
Tabla 37: Unidad de obra 1.01 para la instalación de lucernarios.....	90
Tabla 38: Unidad de obra 1.02 para la instalación de los perfiles metálicos de los lucernarios. 90	
Tabla 39: Unidad de obra 1.03 para la instalación del policarbonato celular. ....	91
Tabla 40: Mediciones para la instalación de lucernarios. ....	91
Tabla 41: Presupuesto de ejecución material de instalación de lucernarios. ....	92
Tabla 42: Presupuesto de instalación de lucernarios. ....	92
Tabla 43: Unidad de obra para el mantenimiento de lucernarios.....	93
Tabla 44: Mediciones para el mantenimiento de lucernarios.....	93
Tabla 45: Presupuesto de mantenimiento de lucernarios. ....	93
Tabla 46: Presupuesto anual de mantenimiento de lucernarios.....	93
Tabla 47: Unidad de obra para el mantenimiento de luminarias.....	94
Tabla 48: Mediciones para el mantenimiento de 100% de luminarias.....	94
Tabla 49: Presupuesto de mantenimiento de 100% de luminarias. ....	94
Tabla 50: Presupuesto anual de mantenimiento del 100% de luminarias.....	95
Tabla 51: Mediciones para el mantenimiento de 30% de luminarias.....	95
Tabla 52: Presupuesto de mantenimiento de 30% de luminarias. ....	95
Tabla 53: Presupuesto anual de mantenimiento del 30% de luminarias.....	95
Tabla 54: Mediciones para el mantenimiento de 10% de luminarias.....	95
Tabla 55: Presupuesto de mantenimiento de 10% de luminarias. ....	96
Tabla 56: Presupuesto anual de mantenimiento del 10% de luminarias.....	96

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Área equivalente equipos rectangulares o cuadrados. ....	22
Ecuación 2: Área equivalente tanques.....	23
Ecuación 3: Cálculo de $E_{requerida}$ .....	24
Ecuación 4: Cálculo de $E_{med.}$ .....	26
Ecuación 5: Cálculo del factor de ventanas. ....	27
Ecuación 6: Factor $f$ para tragaluces. ....	27
Ecuación 7: Superficie de aberturas. ....	29
Ecuación 8: Superficie lucernarios cenitales. ....	29
Ecuación 9: Superficie de ventanales en cerramientos laterales. ....	29
Ecuación 10: Cálculo de deslumbramientos de la propuesta 1. ....	41
Ecuación 11: Cálculo de deslumbramientos de ventanales de la propuesta 3. ....	53
Ecuación 12: Cálculo del VEEI. ....	75
Ecuación 13: Cálculo de la factura. ....	82
Ecuación 14: Cálculo del término de potencia. ....	82
Ecuación 15: Cálculo del término de energía. ....	82
Ecuación 16: Cálculo del impuesto sobre la luz. ....	82
Ecuación 17: Cálculo del IVA.....	83
Ecuación 18: Cálculo del VAN. ....	85
Ecuación 19: Cálculo del TIR. ....	86

## 1. OBJETIVOS

Los objetivos que se buscan alcanzar mediante la realización de este trabajo en relación con el diseño y simulación de un sistema de iluminación natural son los siguientes:

- Diseñar una serie de propuestas de iluminación natural para el sistema productivo escogido que funciona exclusivamente con iluminación artificial.
- Buscar la flexibilidad de las propuestas planteadas, de manera que se puedan adaptar a cambios dentro de la distribución de la planta manteniendo unos buenos resultados de iluminación.
- Modelar en 3D mediante el uso del software informático DIALux las propuestas para su estudio.
- Selección de una de las propuestas en base al análisis de unos estados límites y criterios de iluminación para su desarrollo.
- Realizar un análisis más detallado de la propuesta seleccionada realizando las correcciones y mejoras necesarias.
- Estudio económico del sistema de iluminación natural frente a un sistema de iluminación artificial para verificar que tiene sentido su aplicación.

## **2. INTRODUCCIÓN**

La planta industrial se dedica a la extracción de oro utilizando tiosulfato de sodio como agente lixivante a partir de minerales sulfurados. Esta nave industrial está localizada en la provincia de Sagunto, en el parque empresarial Parc Sagunt, en la parcela I-8.5.

Esta empresa consta de una sola nave y está situada cerca del Puerto de Sagunto para poder tratar minerales procedentes no solo de España, sino de otras partes del mundo con una mayor facilidad para el transporte.

La empresa ha decidido realizar un estudio sobre la viabilidad de establecer un sistema de iluminación natural para tener un menor consumo energético y así ahorrar dinero.

## **3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**

La obtención del oro se realiza a través de una serie de etapas partiendo de un mineral en forma de roca obtenido a partir de voladuras. Esta planta es algo diferente a las demás puesto que, si bien no se pueden tratar todo tipo de minerales para extraer el oro, aquellos que si puede tratar tienen un mayor índice de recuperación de oro. Además, en esta planta se prescinde del cianuro como agente lixivante, lo que reduce los riesgos químicos que se podrían derivar de usar este agente tóxico.

Esta planta está pensada para tener una carga de trabajo de 100 toneladas diarias de mineral, a pesar de la gran cantidad de mineral a tratar el porcentaje final de oro que se obtiene es pequeño.

A continuación, se van a detallar las diferentes etapas por las que pasa el mineral para la extracción del oro:

### **3.1. Etapas del proceso**

#### **3.1.1. Tamizado y trituración**

Dado que el mineral a procesar no es homogéneo y llega en tamaños muy diferentes es necesario clasificarlo. Inicialmente este mineral pasa por un tamiz vibratorio que separa todas las rocas con un tamaño inferior a 3 cm, mientras que el resto se introducen a una trituradora de mandíbulas donde se reduce su tamaño a unos 3 cm. Después de esta trituración, se realiza otra trituración secundaria donde se reduce aún más su tamaño hasta 1.27 cm pasando previamente por otro tamiz. El mineral se conduce de la trituración primaria al segundo tamiz mediante una cinta transportadora.

### **3.1.2. Molienda**

Tras la trituración secundaria el mineral se introduce en un molino de bolas mediante una cinta transportadora para reducir el tamaño de partícula hasta 100  $\mu\text{m}$ . Una vez ha concluido la molienda el mineral se lleva a un tanque donde se añade agua para poder reducir el porcentaje de sólidos.

### **3.1.3. Clasificación en hidrociclón**

El mineral a la salida de la molienda se lleva a un hidrociclón donde se clasificará, devolviendo todo el mineral que tenga un tamaño de partícula superior a 100  $\mu\text{m}$  a la molienda para una segunda pasada y que pueda alcanzar el tamaño deseado. El mineral se almacena previo a la lixiviación en un tanque de almacenamiento.

### **3.1.4. Lixiviación**

Una vez se comienza la extracción del oro se bombea el mineral contenido en el tanque de almacenamiento hacia los tanques de lixiviación. Una vez el mineral está dentro de estos tanques se procede a añadir los reactivos necesarios, se añade el tiosulfato de sodio que actuará como agente lixivante, así como amoníaco para regular el pH de la mezcla debiendo mantenerse este en 10.5 y finalmente sulfato cúprico pentahidratado que actúa como catalizador del proceso. Se debe añadir una cierta cantidad de agua de manera que el porcentaje de sólidos sea del 33%, se puede reutilizar el relave de manera que se aproveche el agua utilizada, así como parte de los reactivos empleados.

### **3.1.5. Filtración**

Tras la lixiviación, la pulpa se introduce en un filtro prensa para su deshidratación, el relave sólido se deberá almacenar para su tratamiento como residuo sólido.

### **3.1.6. Flotación iónica**

Esta etapa se da tras la filtración y en ella se administran reactivos de flotación, siendo estos el Flomin F-121 y el Aliquat. Estos reactivos se deben suministrar con un porcentaje en volumen del 0.1% para el correcto desarrollo de la flotación iónica. El proceso consta de cuatro celdas de flotación y el relave se recicla al proceso de lixiviación.

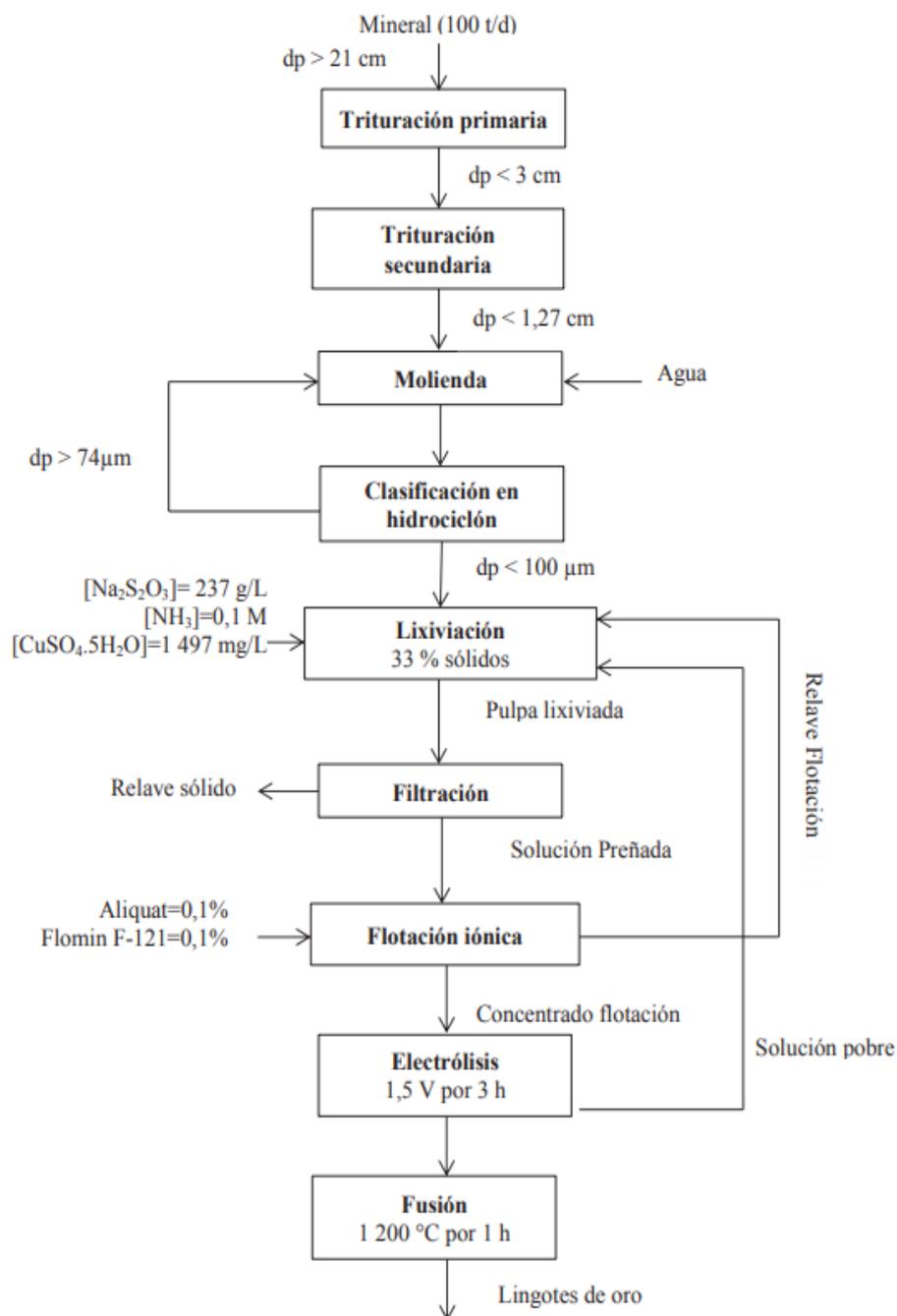
### **3.1.7. Electrólisis**

Esta etapa consta de cinco celdas electrolíticas que emplean electrodos de acero inoxidable en las que se introduce el concentrado de la flotación iónica. Se aplica un voltaje de 1.5 voltios con una densidad de corriente de  $100 \text{ A/m}^2$ , tras el proceso se recoge el oro que se ha depositado en los cátodos para su refinado.

### **3.1.8. Fusión**

La última etapa del proceso de obtención del oro es la fusión, esta se realiza en un horno con una capacidad de 60 kilogramos donde se introducirá el oro durante una hora a una temperatura de  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pasado este tiempo el oro se verterá en unas lingoteras para obtener el oro en forma de lingote con una pureza del 99%.

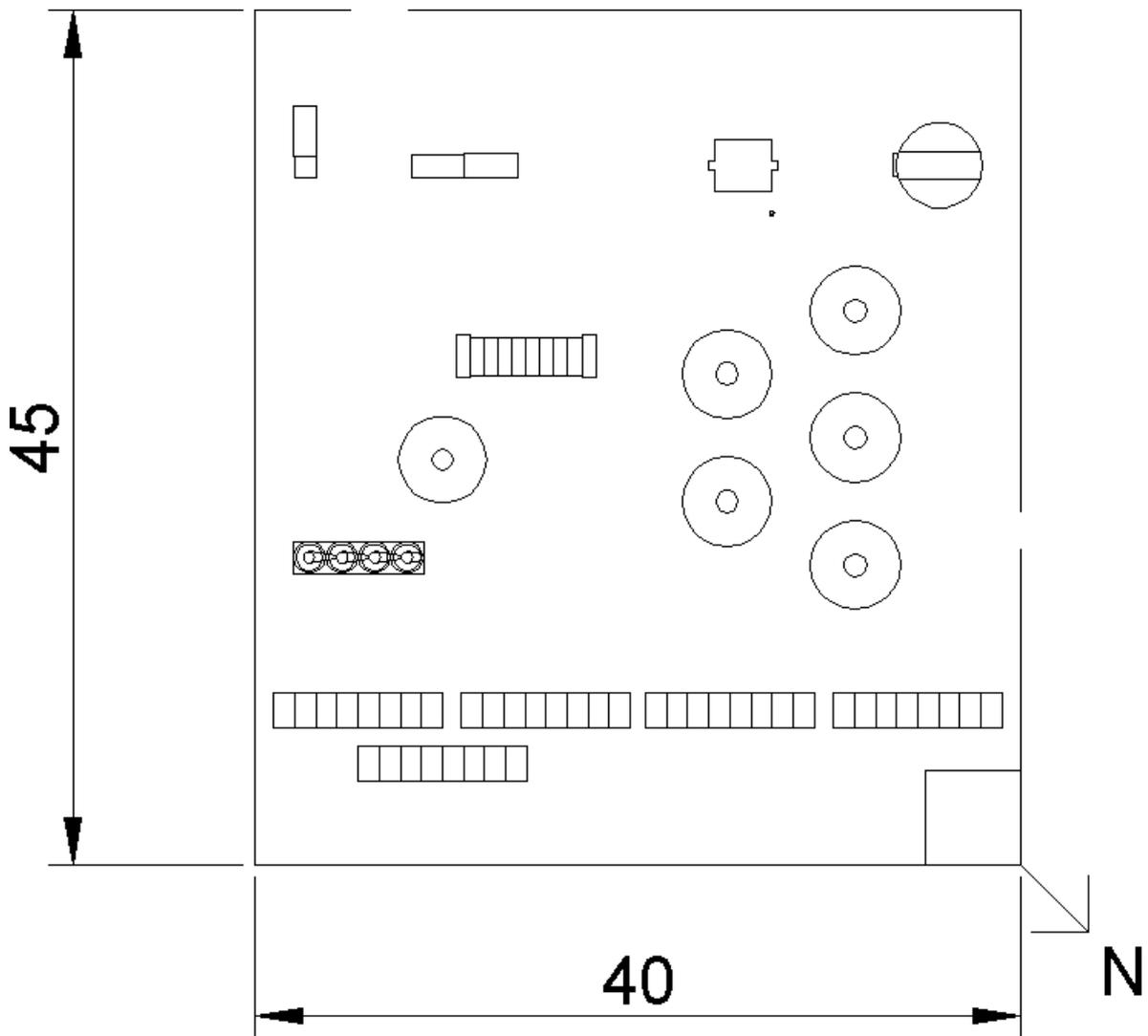
### 3.2. Diagrama de bloques del proceso



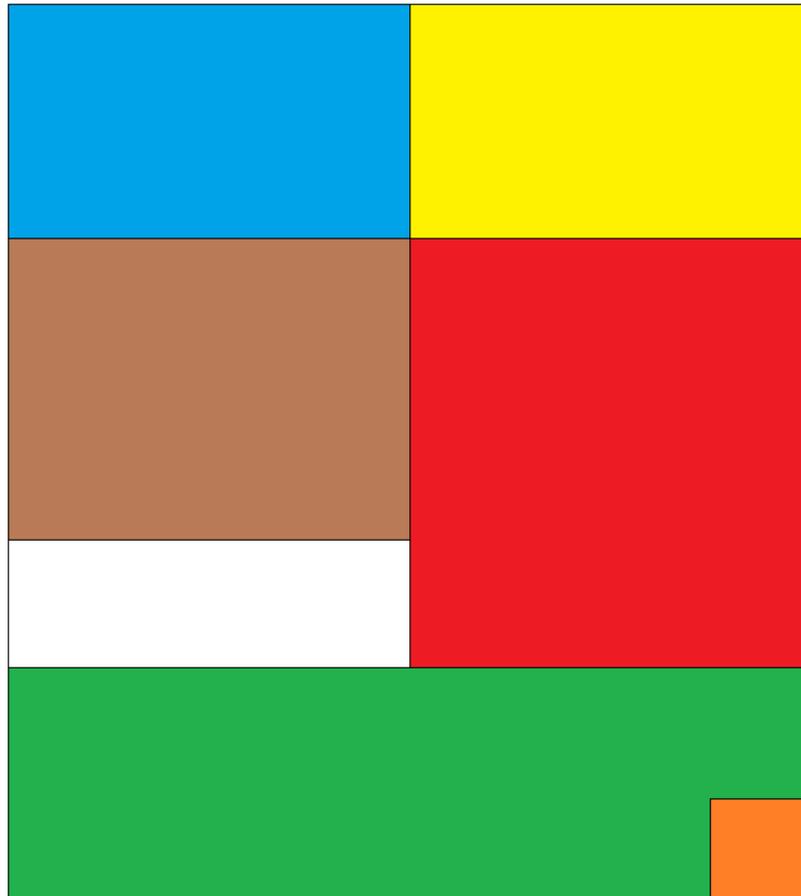
*Imagen 1: Diagrama de bloques del proceso de extracción de oro.*

#### 4. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL SISTEMA PRODUCTIVO

Como ya se ha indicado, el sistema productivo trata de una planta para la extracción del oro. Esta planta tiene unas dimensiones de 40 metros de ancho por 45 de largo, estando formada por dos sistemas de pórticos de 20 metros de luz. Alberga espacio para las diferentes fases de operaciones necesarias para extraer el oro a partir de unas rocas o minerales. La planta consta de dos trituradoras, dos tamices, un molino de bolas, un hidrociclón, un tanque sumidero, un tanque de almacenamiento, un silo de almacenamiento, cinco tanques de lixiviación, un filtro prensa, cuatro celdas de flotación, cinco celdas de electrodeposición y finalmente un horno de fundición. Por razones de espacio, el tanque de almacenamiento está situado fuera de la planta debido a que tiene un gran tamaño midiendo algo más de 15 metros, este tanque está conectado con el resto de depósitos mediante tuberías situadas bajo la nave.



*Imagen 2: Distribución en planta.*



***Imagen 3: Distribución en planta por zonas.***

En esta última imagen se puede observar la clasificación de las diferentes zonas en función de la actividad que se desarrolla en ellas, la clasificación de las zonas por colores viene recogida en la siguiente tabla:

<b>Color</b>	<b>Actividad de la zona</b>
Azul	Tamizado y triturado
Amarillo	Molienda y clasificación
Rojo	Lixiviado
Marrón	Filtración
Blanco	Flotación Iónica
Verde	Electrólisis
Naranja	Fusión

***Tabla 1: Clasificación de zonas por color.***

La secuencia que sigue el proceso desde la recepción de la materia prima sería según el orden de la tabla, es decir, azul, amarillo, rojo, marrón, blanco, verde y naranja.

Debido a la pequeña cantidad de oro que se obtiene por cada tonelada de mineral el propio cuarto del horno donde se produce la fusión también sirve como almacén.

## 5. ILUMINACIÓN

La iluminación en los lugares de trabajo es muy importante, ya que permite a los operarios realizar sus tareas, así como circular por las instalaciones y los puestos de trabajo en unas condiciones en las que la visibilidad no supone un riesgo para la salud o seguridad. Se ha de tener un nivel de iluminación adecuado lo suficientemente alto como para desarrollar las actividades sin riesgos derivados por la iluminación, pero sin un exceso que pueda provocar accidentes o daños a la vista de los trabajadores.

Las condiciones de iluminación afectan no solo a las funciones visuales fisiológicas de los trabajadores, sino que también afecta a las psicológicas. Un confort visual deseado se alcanza cuando se tiene una buena visión y se puede visualizar el objeto del trabajo de manera rápida y sin esfuerzo.

### 5.1. Tipos de iluminación

La iluminación se puede clasificar según dos criterios, el primero de ellos es si la iluminación es **natural** o **artificial**, mientras que el segundo dependerá si la iluminación está **localizada** en una zona o si por el contrario está **generalizada**.

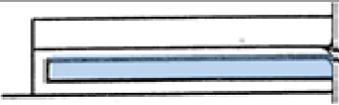
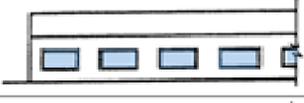
- Según el origen de la iluminación esta puede ser natural o artificial, si procede de la luz del sol será natural mientras que si es proporcionada por fuentes luminosas artificiales como podrían ser bombillas se clasificara como artificial. La luz natural permite definir los colores a la perfección, es más económica que la alternativa artificial y produce menor fatiga visual, por lo que siempre que sea posible se preferirá este tipo de iluminación complementándose con la artificial de ser necesario (**RD486/97**).
- La iluminación se considerará como generalizada cuando se reparta de manera homogénea por toda la superficie donde se realiza el trabajo, se considerará como localizada cuando se ilumine una zona específica del área de trabajo ya sea debido a una mayor demanda lumínica para realizar las actividades del trabajo o porque la general no llega

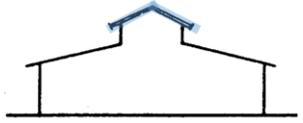
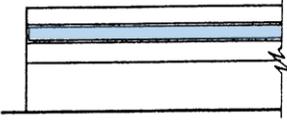
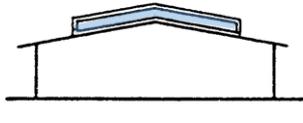
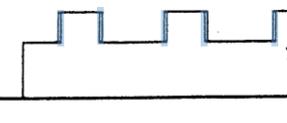
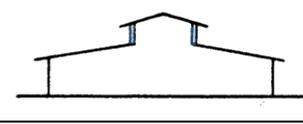
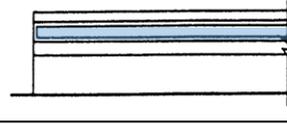
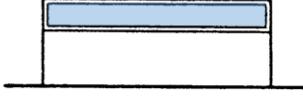
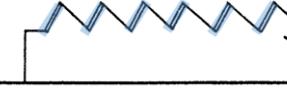
completamente. Se empleará preferentemente la iluminación general, se usará conjuntamente a una iluminación localizada cuando en determinadas zonas se requiera de mayores niveles de iluminación (RD 486/97).

## 5.2. Iluminación natural y sistemas de iluminación natural

La iluminación natural es la preferida para iluminar una instalación, es más barata, ilumina mejor y provoca menor fatiga en la visión de los trabajadores. Aunque esta iluminación también tiene sus inconvenientes, uno de ellos es que solo es eficaz mientras haya horas de sol y no será siempre igual fluctuando con las horas y con las condiciones meteorológicas, la otra desventaja es que su implementación es más complicada que la luz artificial. Para disponer de iluminación natural es necesario instalar aperturas por las que, entre la luz solar, la colocación de estas aberturas debe estar estudiada y debe responder a las necesidades de las actividades que se desarrollan en la nave industrial, intentando mantener una flexibilidad en caso de que se produzcan cambios en la distribución de la planta, así como una relativa facilidad para su puesta en obra.

Los diferentes sistemas de iluminación natural se muestran a continuación:

Ventanal corrido		
Ventanales		
Mansarda		
Lucernarios tendidos		
Monteras		

Linterna con lucernario cenital		
Linternas transversales con lucernario vertical		
Linternas con lucernario vertical		
Dientes de sierra		

*Imagen 4: Sistemas de iluminación natural.*

La luz natural, en función de la forma en la que incide sobre la nave industrial se puede clasificar de tres formas distintas:

- **Radiación solar directa:** Este tipo de radiación se da cuando los fotones que emite el sol inciden de manera directa sobre la nave industrial sin que cambie su trayectoria al atravesar la atmósfera. Dependerá del movimiento de traslación de la Tierra, que hace que los rayos solares lleguen con inclinación, y de la rotación de la Tierra que provoca el cambio entre el día y la noche.
- **Radiación solar difusa:** La iluminación difusa se da cuando la radiación se dispersa con respecto a su dirección original debido a la interacción con la atmósfera. Depende de las condiciones meteorológicas de la zona.
- **Radiación solar reflejada:** Es aquella radiación que ha sido reflejada hacia un cuerpo o superficie desde otra superficie que es un elemento que se encuentra en ese entorno. Esta radiación dependerá de que elemento es el que provoca la reflexión.

## 6. ESTADOS LÍMITE

A la hora de diseñar un sistema de iluminación natural es necesario cumplir unos requisitos para asegurar su viabilidad, estos parámetros son la **iluminación requerida**, la **uniformidad de la iluminación**, el **factor luz de día** y los **deslumbramientos**.

- El nivel de iluminación requerida hace referencia a la iluminación mínima necesaria medida en lux que requiere un determinado espacio en función de las actividades que se realizan, estas actividades requerirán de mayor o menor iluminación en función de la precisión y riesgo del trabajo.

Para saber que iluminación requiere una determinada actividad es necesario consultar la Norma Europea sobre Iluminación para Interiores (**UNE 12464.1**), en ella se recogen los niveles de iluminación requeridos en función de la industria y actividad.

Si bien este parámetro establece el nivel mínimo medio requerido para el desarrollo de unas determinadas actividades, éste nunca debe ser superior a 2000 luxes ya que esto representaría una iluminación excesiva que podría ocasionar accidentes y/o daños a los trabajadores.

- La uniformidad es un parámetro que hace referencia a la homogeneidad de la iluminación, aunque se puede alcanzar un nivel adecuado de iluminación requerida, también es necesario que esta esté repartida de buena manera, y no que haya zonas con una iluminación superior a la deseada mientras que haya otras en las que apenas llega la luz, evitando así contrastes fuertes que pueden conllevar accidentes. Para asegurarse de que la iluminación está lo mejor repartida posible se debe vigilar este parámetro, el mínimo deseable para este parámetro es que se encuentre alrededor de un 0.3 o 0.4 o superior, siendo un valor que hace referencia a la relación entre la iluminación mínima y la media.
- El factor luz de día es un parámetro que determina la luminosidad del ambiente, estima la relación constante que hay entre el nivel de iluminación interior y el nivel de iluminación exterior en un plano horizontal. Este parámetro debe tener un valor medio inferior o igual al 2%, un valor superior supondría que la nave esta iluminada en exceso pudiendo provocar distracciones en los trabajadores que a su vez ocasionarían accidentes de trabajo y/o bajadas del rendimiento.
- El último estado límite que se ha de tener en cuenta es el de deslumbramientos, es de obligado cumplimiento que en los diferentes puestos de trabajo no existan ningún tipo de deslumbramiento, ya sea directo o indirecto que pueda ocasionar accidentes o daños en la visión del trabajador. Se considerará que un deslumbramiento no es aceptable cuando el ángulo de incidencia de este respecto a un plano teórico horizontal, ubicado a la altura de los ojos del trabajador sea igual o inferior a 45 grados. Si el ángulo de incidencia fuese menor de 45 grados se podrían instalar pantallas protectoras para evitar los posibles deslumbramientos.

## 7. HIPOTESIS Y CÁLCULOS PREVIOS

Antes de comenzar con la síntesis de propuestas se ha de establecer en qué condiciones se harán las simulaciones para el análisis de las mismas, así como una serie de cálculos previos para conocer los requerimientos de la nave industrial y la superficie de aperturas estimada necesaria para obtener el objetivo de iluminación.

### 7.1 Requerimientos de iluminación de la planta

Lo primero que se debe hacer a la hora de diseñar un sistema de iluminación natural es conocer los niveles de iluminación que se requieren en la nave que con la que se está trabajando.

Para conocer los niveles de iluminación que se necesitan se debe clasificar el tipo de industria según la actividad que desarrolla, así como clasificar las diferentes zonas de la propia industria según la actividad específica que desarrollan.

Como se ha indicado anteriormente los niveles de iluminación requerida se consultarán en la Norma Europea sobre Iluminación para Interiores (**UNE 12464.1**), en este caso en concreto la extracción de oro se correspondería con la industria química. Dentro de esta industria las diferentes actividades se clasificarán como instalaciones con intervención manual limitada, menos la cinta transportadora que conecta la trituradora principal con el tamiz secundario y el molino con la trituradora secundaria, debiendo consultar su requerimiento de iluminación en la normativa.

Conociendo el nivel de iluminación que se requiere en cada actividad, el siguiente paso es determinar el área de trabajo de cada zona teniendo en cuenta las dimensiones de los equipos. A parte de las propias dimensiones de los equipos también será necesario tener en cuenta el espacio que necesitará un trabajador para desarrollar su trabajo en dichos equipos, para ello se requerirá un espacio adicional de 1 metro en cada una de las direcciones.

De esta manera aquellos equipos con forma rectangular o cuadrada como podrían ser los tamices tendrán un área igual a la multiplicación de sus lados sumándoles 2 metros, para los equipos circulares como los depósitos el área correspondiente será la igual a un cuadrado cuyos lados son el diámetro más 2 metros.

Toda el área que sobre de la nave se considerará como zonas de paso y se aplicarán los requerimientos de iluminación recogidos en la UNE 12464.1.

$$\begin{aligned} & \textit{Área equivalente equipos rectangulares o cuadrados (m}^2\text{)} \\ & = (L + 2) * (W + 2) \end{aligned}$$

***Ecuación 1: Área equivalente equipos rectangulares o cuadrados.***

$$\text{Área equivalente tanques (m}^2\text{)} = (D + 2) * (D + 2)$$

***Ecuación 2: Área equivalente tanques.***

Con estos datos ya se tienen los datos necesarios para aplicar la fórmula del cálculo del nivel requerido de iluminación en la planta industrial, los datos se recogen en la siguiente tabla:

<b>Zona</b>	<b>L (m)</b>	<b>W (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Iluminación (lux)</b>
Recepción materia prima	3	3	-	9	150
Tamiz primario	1.2	2.7	-	15.04	150
Trituradora primaria	1.1	1.14	-	9.734	150
Tamiz secundario	2.7	1.2		15.04	150
Trituradora secundaria	1.3	2.8	-	12.48	150
Molino de bolas	3	2.74	-	23.7	150
Hidrociclón	-	-	0.3048	5.31	150
Tanque sumidero	-	-	4.5	42.25	150
Tanques lixiviado	-	-	4.72	5*45.16	150
Tanque de almacenamiento de recicló	-	-	4.6	43.56	150
Filtro prensa	7.3	2.3	-	39.99	150
Celdas de flotación	1.7*4	1.7	-	32.56	150
Celdas de electrodeposición	8.8	1.8	-	5*14.6	150
Cintas transportadoras	15.3	0.6	-	17.9	150
Zona de circulación	-	-	-	1209.64	100

***Tabla 2: Áreas y requerimientos de iluminación por actividades.***

El área de recepción de mineral se calcula directamente con el área habilitada para ello, no se ha tenido en cuenta la zona de fusión debido a que está en un cuarto dentro de la propia nave y no se debe tener en cuenta para la iluminación de la nave.

A las cintas transportadoras solo se les ha añadido los metros de espacio adicional en dos de los cuatro lados perimetrales debido a que en los otros dos están conectadas a una trituradora y al molino haciendo ese espacio inutilizable.

La zona de circulación se ha calculado como la diferencia entre el área de la nave (1800 m<sup>2</sup>) y la suma de las áreas de las diferentes zonas, incluyendo también los 25 m<sup>2</sup> del cuarto donde se encuentra el horno.

## 7.2 Cálculo del nivel de iluminación requerida

Con los requerimientos de iluminación por zonas ya definidos se puede proceder al cálculo de del nivel de iluminación que demandará la planta industrial. Para realizar este cálculo se utilizará la siguiente fórmula:

$$E_{requerida} = \frac{\sum S_i * E_i}{A}$$

*Ecuación 3: Cálculo de  $E_{requerida}$*

- $S_i$  representa el área de las diferentes zonas que se han establecido en el apartado anterior
- $E_i$  es el valor del nivel de iluminación que requiere cada una de las diferentes actividades de la nave industrial.
- $A$  es el valor del área total de la nave industrial sobre la que se está haciendo el cálculo.

Para este cálculo no se debe tener en cuenta la iluminación de la zona del horno por lo que en el numerador no aparecerá, pero si se tendrá en cuenta su área en el denominador, pues es el área total de la nave.

Aplicando esta fórmula con los datos que se tienen se obtiene el valor de iluminación requerida:

$E_{requerida}$	114.32
-----------------	--------

*Tabla 3: Valor de la  $E_{requerida}$ .*

### 7.3 Condiciones de iluminación

Cuando se realicen las simulaciones se tendrá que establecer qué tipo de condiciones meteorológicas se dan en el exterior ya que estas influirán sobre el nivel de iluminación que habrá en la planta.

Existen dos modelos para simular estas condiciones:

- El **modelo de cielo despejado** es el primero de ellos, el modelo de cielo despejado es el que más se aproxima para Valencia y es el más adecuado para edificaciones con acristalamientos con gran transparencia.
- El segundo modelo es el de **cielo cubierto**, este modelo es muy utilizado porque en esas condiciones y en invierno es cuando hay una luminosidad mínima y de esa manera se asegura una buena iluminación natural durante gran parte del año, aunque puede provocar iluminaciones excesivas en verano. Es el más usado en edificaciones industriales ya que los lucernarios suelen estar compuestos de materiales con una transparencia del 45-50%, simplificando así los cálculos.

### 7.4 Horas de iluminación

No basta con definir en qué condiciones se encuentra el entorno, también se ha de definir a qué horas en concreto se realizarán las simulaciones y en qué día del año.

La respuesta es que se van a realizar dos simulaciones, una el 21 de diciembre a las 9 horas que es cuando se estima un menor nivel de iluminación durante el año, y otra el 21 de junio a las 12 horas para el caso contrario.

También se podrán hacer simulaciones en diferentes horas de esos mismos días o de otros, pero esos dos días y horas son necesarios para que se comprueben en los casos más extremos el comportamiento de la nave industrial.

### 7.5 Predimensionamiento de aberturas

Las aberturas son las zonas de la nave industrial por la que va a entrar la luz del sol que la iluminará, es necesario hacer un predimensionado teniendo en cuenta las características de la nave, así como las del exterior.

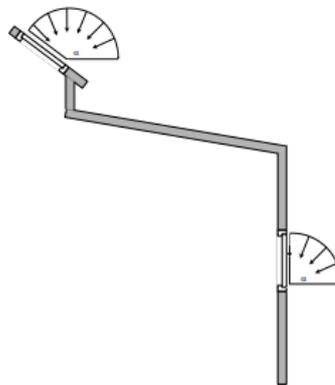
Para realizar este predimensionado se partirá de la ecuación para el cálculo del nivel de iluminación horizontal media, que se corresponde con la expresión:

$$E_{med} = E_a * f * f' * \eta * \frac{S_v}{S_s}$$

**Ecuación 4: Cálculo de  $E_{med}$ .**

El significado de las diferentes variables se explicará a continuación, así como sus valores cuando corresponda.

- **$E_{med}$ :** Es el nivel de iluminación horizontal media que proporcionan las aberturas, este parámetro se iguala al nivel de iluminación requerida  $E_{requerida}$  siendo 114.32 lux. Es el valor medio de la iluminación que se necesita obtener en la nave y se tiene como dato.
- **$E_a$ :** Hace referencia al nivel de iluminación difusa en un plano horizontal al exterior, es decir, es el nivel de iluminación que habría en una determinada zona si no hubiese ninguna edificación situada en esa zona en un momento en concreto. En este caso dicha zona se corresponde con Valencia en situación de invierno un 21 de diciembre a las 9:00 de la mañana. Para esa situación el valor de  $E_a$  son unos 3000 lux, por lo que este parámetro también es un dato de partida.
- **$f$ :** A este parámetro se le denomina como factor de ventanas, se corresponde con qué porcentaje de la bóveda celeste es capaz de captar una abertura en función de la posición de la misma. Cuanto mayor sea este parámetro mayor será la luz que capten las aberturas.



**Imagen 5: Ángulo de captación en la bóveda celeste.**

Para determinar cuál es el factor de ventanas se debe conocer cuál es la inclinación de las aberturas, en el caso de los tragaluces, que son aberturas situadas en la parte superior de la nave industrial esta dependerá de cada caso. Por otra parte, los ventanales que son aberturas situadas en los laterales de la edificación siempre tendrán una inclinación de 90° respecto a la horizontal.

Conocida la inclinación de las aberturas se debe aplicar la siguiente fórmula:

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

***Ecuación 5: Cálculo del factor de ventanas.***

De este modo el factor de ventanas para los ventanales será siempre de 0.5, mientras que el de los tragaluces variará.

Para el caso de la nave industrial con la que se está trabajando, la altura de pilar es de 7 metros mientras que la de cumbrera es de 8 metros, dando así una inclinación de la cubierta del 10%. Esta inclinación es igual a un ángulo de 5.7 grados que es igual a un ángulo de 174.3 grados respecto a la horizontal.

Con estos datos se puede calcular el factor de ventana para tragaluces en esta nave como:

$$f = \frac{174.3}{180} = 0.968$$

***Ecuación 6: Factor f para tragaluces.***

- Factor de ventanas f para tragaluces: 0.968.
- Factor de ventanas f para ventanales: 0.5.

Como se puede observar el factor es mayor para los tragaluces, esto es debido a que la inclinación que tienen les permite captar una gran parte de la luz solar.

- **f'**: El coeficiente  $f'$  es el factor característico de reducción ventana-muro, este coeficiente tiene en cuenta la reducción que se pueda dar en la radiación solar incidente a consecuencia del grosor del cerramiento de la fachada.

Cuanto menor es la relación entre la altura y longitud de la ventana y el espesor del cerramiento, esta disminución será mayor.

Este parámetro tendrá un valor equivalente a 1 en este caso al tratarse de una nave industrial, esto se debe a que el espesor de los cerramientos que se emplean en las naves industriales es muy pequeño frente a las dimensiones de las aberturas.

- **$\eta$** : Este parámetro es el rendimiento general de la instalación, tiene en cuenta que solo una parte del flujo luminoso que entra por tragaluces o ventanales incide sobre el plano de trabajo. Mientras que una parte de la radiación solar incide sobre la zona de trabajo, una gran parte lo hace sobre otras superficies como son suelos, paredes y techos, que a su vez reflejan parte de esta radiación pudiendo incidir sobre la zona de trabajo.

Su valor es un promedio de los coeficientes de reflexión de estas superficies y para el predimensionado tiene un valor de entre 0.4 y 0.5. Para este caso se ha seleccionado 0.4 ya que es el supuesto más desfavorable.

- **S<sub>s</sub>**: La superficie del local es el área que ocupa la nave industrial para la que se realizan las aberturas, esta nave industrial tiene una superficie total de 1800 metros cuadrados.
- **S<sub>v</sub>**: Finalmente se tiene la superficie de ventana, este coeficiente estima la superficie de aberturas necesaria para alcanzar los requerimientos de iluminación de la nave industrial.

Se calculará despejando el resto de coeficientes de la ecuación 4.

<b>Coeficiente</b>	<b>Valor</b>
$E_{requerida}$	114.32 lux
$E_a$	3000 lux
$f$	0.5 ventanas y 0.97 lucernarios cenitales
$f'$	1
$\eta$	0.4
$S_s$	1800 m <sup>2</sup>

**Tabla 4: Valores de coeficientes.**

Con todos los parámetros ya definidos y con sus valores conocidos se puede proceder al cálculo de que superficies de aberturas serán necesarias para la nave. Para ello primero habrá que reordenar la ecuación 4 quedando de la siguiente manera:

$$S_v = \frac{E_{requerida}}{E_a} * \frac{S_s}{f * f' * \eta}$$

***Ecuación 7: Superficie de aberturas.***

Se tienen dos tipos de aberturas diferentes, los tragaluces y los ventanales, estos dos tipos de aberturas requieren de un cálculo separado para obtener sus superficies.

- **Superficie de lucernarios cenitales**

$$S_v = \frac{114.32}{3000} * \frac{1800}{0.97 * 1 * 0.4} = 176.78 \text{ m}^2$$

***Ecuación 8: Superficie lucernarios cenitales.***

- **Superficie de ventanales en cerramientos laterales**

$$S_v = \frac{114.32}{3000} * \frac{1800}{0.5 * 1 * 0.4} = 342.96 \text{ m}^2$$

***Ecuación 9: Superficie de ventanales en cerramientos laterales.***

Se puede observar que la superficie necesaria es casi el doble en el caso de los ventanales, esto es a consecuencia del factor f ya que captan una menor porción de los rayos del sol.

Si solo se tuviera en cuenta los metros de aberturas construidos sería más eficiente un sistema basado en tragaluces, necesitándose menos de estos para obtener un mismo nivel de iluminación.

## **8. DISEÑO DE LAS PROPUESTAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL**

Realizados ya los cálculos previos y planteadas las situaciones en las que se van a realizar las simulaciones, el siguiente paso es el diseño de tres propuestas diferentes para el sistema de iluminación.

Para las simulaciones se deberán tener en cuenta los cuatro estados límite, nivel de iluminación requerida, uniformidad, deslumbramientos y factor luz de día.

Se necesitará un nivel de iluminación de 114.32 luxes en la nave para el desarrollo de las actividades.

En cuanto a la uniformidad será necesario un valor mínimo de 0.3 para cumplir con los objetivos.

Los deslumbramientos no serán aceptables cuando la luz incida sobre los ojos de los trabajadores con un ángulo de 45° o menor.

Finalmente, se deberá tener un valor del factor luz de día del 2 o 3 por ciento o inferior.

### **8.1 Establecimiento de las condiciones en DIALux.**

DIALux es un programa utilizado para simular unas condiciones de iluminación y poder estudiar dicha iluminación en una edificación, pero para realizar estas simulaciones antes han de establecerse unos determinados valores para ser lo más preciso posible.

#### **8.1.1 Localización y orientación de la nave.**

La localización de la nave es importante debido a que de ella dependerá la cantidad de luz que recibe, y esto afecta de manera directa al rendimiento del sistema de iluminación natural.

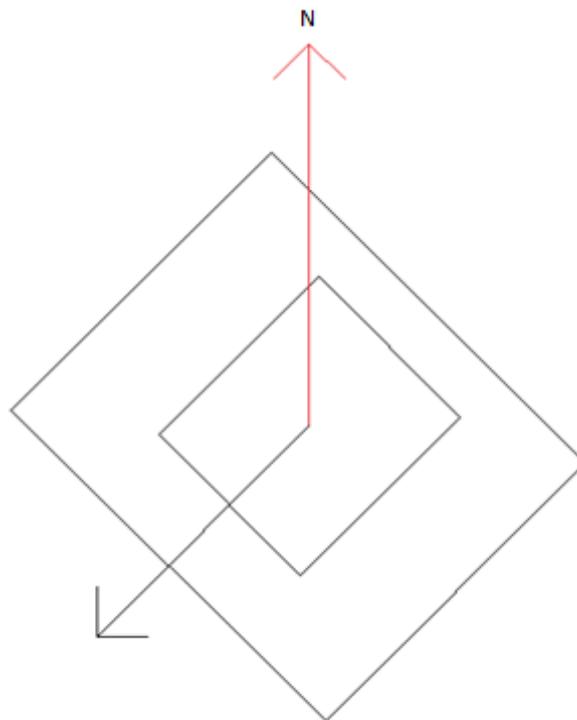
Como se ha indicado anteriormente, la nave industrial está situada en la provincia de Valencia, más concretamente en el parque comercial de Sagunto. Por ello se introduce como dato de localización Valencia en el programa.

El siguiente paso es determinar la orientación de la nave industrial indicando para ello donde está el norte en referencia a la nave industrial.



***Imagen 6: Localización de la planta.***

La planta se encuentra situada en la parcela amarilla de la imagen, a continuación, se va a detallar la orientación de la nave industrial dentro de la parcela indicada.



***Imagen 7: Orientación de la planta***

### 8.1.2 Coeficientes de reflexión y otros parámetros

- **Coeficientes de reflexión.**

Como se ha explicado antes, no toda la luz que incide lo hace sobre el plano de trabajo, parte de esta luz se da sobre otras superficies y estas a su vez la reflejan pudiendo incidir sobre el plano de trabajo.

Las superficies como son suelos, paredes y techos tienen unos coeficientes de reflexión en torno a 27, 70 y 70 por ciento respectivamente, mientras que los coeficientes de reflexión de los equipos pueden ser más variados. Los coeficientes que se han tomado para realizar las simulaciones vienen indicados en la siguiente tabla:

<b>Superficie</b>	<b>Coeficiente de reflexión (%)</b>
Suelo	27
Paredes	70
Techo	70
Depósitos	70
Tamices	30
Trituradoras	30
Molino	30
Hidrociclón	30
Filtro	30
Celdas electrolisis	30
Tanques de flotación ionica	30

*Tabla 5: Coeficientes de reflexión.*

- **Factor de degradación**

Con el paso del tiempo y debido a la actividad de la industria las distintas superficies se degradan o ensucian, este factor hace referencia a esta degradación, pues cuanto más sucia o degradada esté una superficie menor cantidad de luz reflejará.

Como es una industria se va a suponer un **factor de degradación del 50%**, se trata de un local interior al que se le supone poco mantenimiento o limpieza más allá de los necesarios, situándose así en un caso más desfavorable con el que trabajar.

- **Grado de transmisión**

El grado de transmisión indica que porcentaje de la radiación solar que recibe la nave industrial deja pasar el material del que está compuesta la abertura. Es un parámetro de las aberturas y como las naves suelen tener lucernarios compuestos por policarbonatos celulares cuya transparencia oscila entre el 40 y 50 % se ha escogido un **50% como grado de transmisión**.

- **Factor de contaminación**

Similar al factor de degradación, en lugar de hacer referencia a las distintas superficies de la nave y su efecto en la reflexión de la luz está relacionado con las aberturas. La contaminación de la industria afecta a las aberturas reduciendo la cantidad de luz solar que pasa a través de ellas, de nuevo debido a que esta es una nave industrial se va a suponer una alta contaminación teniendo así un **factor de contaminación en las aberturas de 0.5**.

- **Factor de división con travesaños**

Al instalar las aberturas es necesario colocar estas aberturas de manera que estén fijas, de manera que no toda la superficie de la abertura corresponde a la misma, parte de ella es la carpintería metálica utilizada como estructura. Esta hace que se pierda parte de la superficie de abertura reduciendo así la cantidad de luz que pasa a través de ella.

Para estas propuestas se ha establecido que las aberturas estarán fijadas por una ventana metálica fija haciendo que su **factor de división con travesaños tenga un valor de 0.9**, siendo 1 el máximo posible y 0 el mínimo.

- **Factor de reducción por luz de incidencia no vertical**

Este factor es el mismo que el factor de ventana visto anteriormente, tiene en cuenta la inclinación de la abertura y en función de ella se tiene que cantidad de la luz incidente es capaz de captar.

Para los ventanales el factor de reducción valdrá 0.5 y para los tragaluces 0.97, los primeros no captarán la mitad de la luz mientras que los segundos captarán casi la totalidad siendo estos mucho más eficientes.

<b>Coefficiente</b>	<b>Valor</b>
Factor de degradación	50 %
Grado de transmisión	50 %
Factor de contaminación	0.5
Factor de división con travesaños	0.9
Factor de reducción por luz de incidencia no vertical	0.97 tragaluces y 0.5 ventanas

*Tabla 6: Coeficientes de aberturas y de la nave.*

## **8.2 Propuestas**

Con todos los coeficientes ya definidos el siguiente paso ya es realizar las propuestas para el sistema de iluminación natural.

Son necesarias tres propuestas diferentes que se van a evaluar en las mismas condiciones y horarios para encontrar la mejor de ellas.

Inicialmente se van a estudiar las diferentes propuestas en la planta diáfana, es decir, inicialmente se estudiará el comportamiento del sistema de iluminación con la nave vacía.

Las dimensiones de la nave serán de 40 metros de ancho por 45 metros de largo, mientras que su altura será de 7 metros para los pilares y 8 metros de cumbre.

Se van a estudiar dos fechas clave distintas, por un lado, el 21 de diciembre a las 9:00 de la mañana día y hora en los que la iluminación procedente del exterior es mínima, por lo que servirá para analizar el comportamiento del sistema de iluminación en el caso más desfavorable viendo en que zonas se puede quedar corto.

Por otra parte, se estudiará que comportamiento tiene el sistema el 21 de junio a las 12:00 de la mañana, caso contrario al anterior donde se comprobará que la

iluminación que se tiene en el interior de la nave industrial no es excesiva y pueda ser perjudicial para la seguridad y/o salud de los trabajadores.

Por último, se analizará los resultados de un día cualquiera del año a las 9:00 y 12:00 horas de la mañana para conocer la iluminación de la nave industrial en lo que se podría denominar como condiciones normales a las mismas horas que los casos anteriores para saber cómo sería el funcionamiento habitual del sistema de iluminación de la nave industrial.

Mes	Día	Hora
Diciembre	21	9:00
Junio	21	12:00
Marzo	21	9:00
		12:00

**Tabla 7: Fechas y horarios a simular.**

### 8.2.1 Propuesta 1

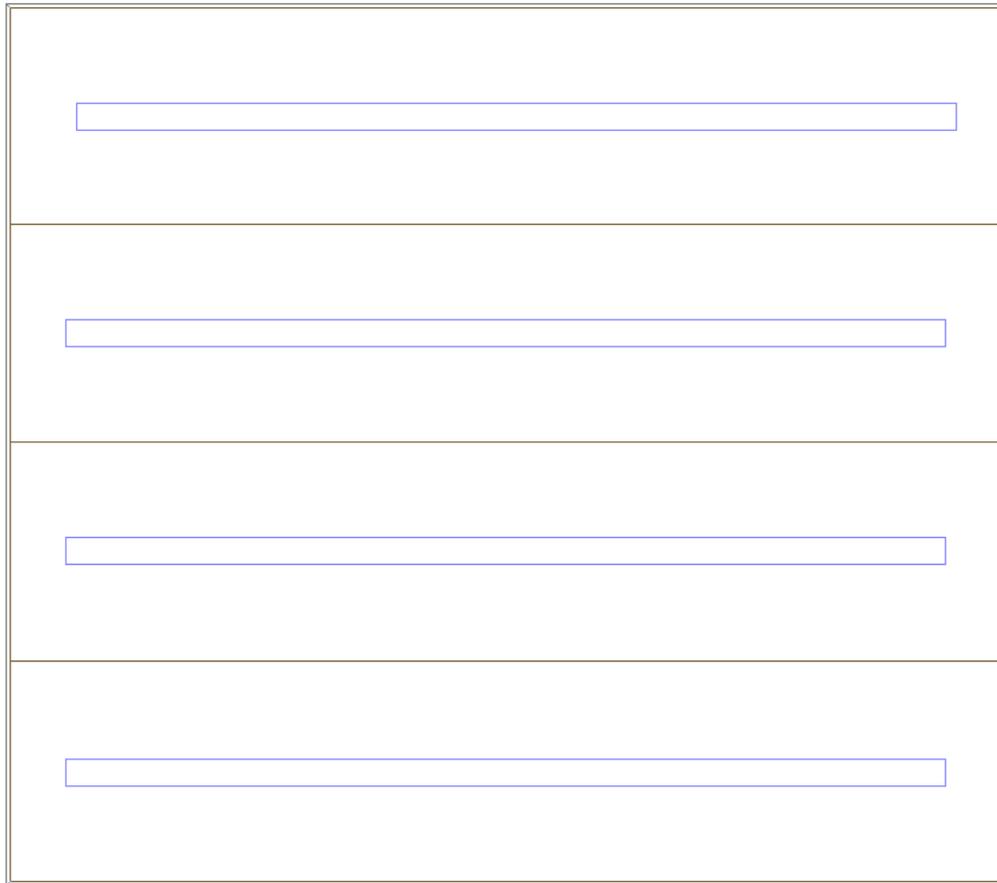
Para diseñar esta propuesta se han empleado únicamente tragaluces para la iluminación natural de la nave industrial. Se va a utilizar una superficie de lucernarios cenitales basándose en el área previamente calculada para este tipo de aberturas de 200 m<sup>2</sup>, una superficie algo mayor de la calculada para obtener mejores resultados y redondear la cifra.

Superficie de lucernarios cenitales (m <sup>2</sup> )	200
Número de lucernarios cenitales	4
Área por lucernario cenital (m <sup>2</sup> )	50

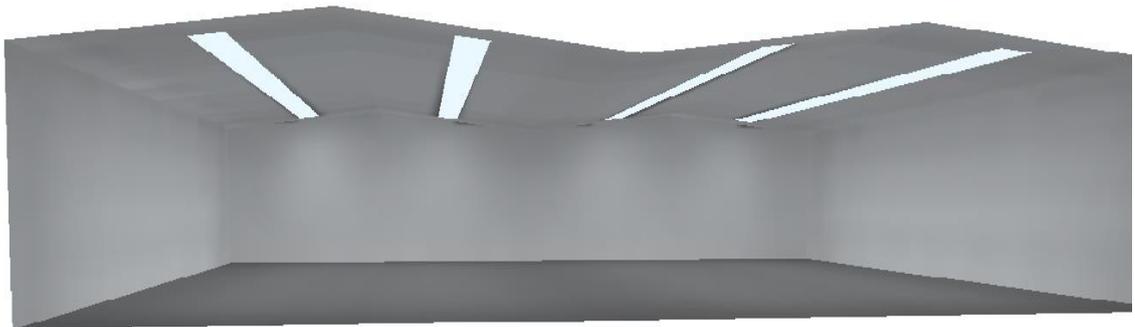
**Tabla 8: Características de la propuesta 1.**

Esta propuesta consta de cuatro lucernarios cenitales situados cada uno de ellos en una de las cuatro partes diferentes del techo, están centrados en la parte del techo en la que se encuentran.

Cada lucernario cenital tendrá una superficie de 50 m<sup>2</sup> teniendo una longitud de 40 metros con una anchura de 1.25 metros cada uno.



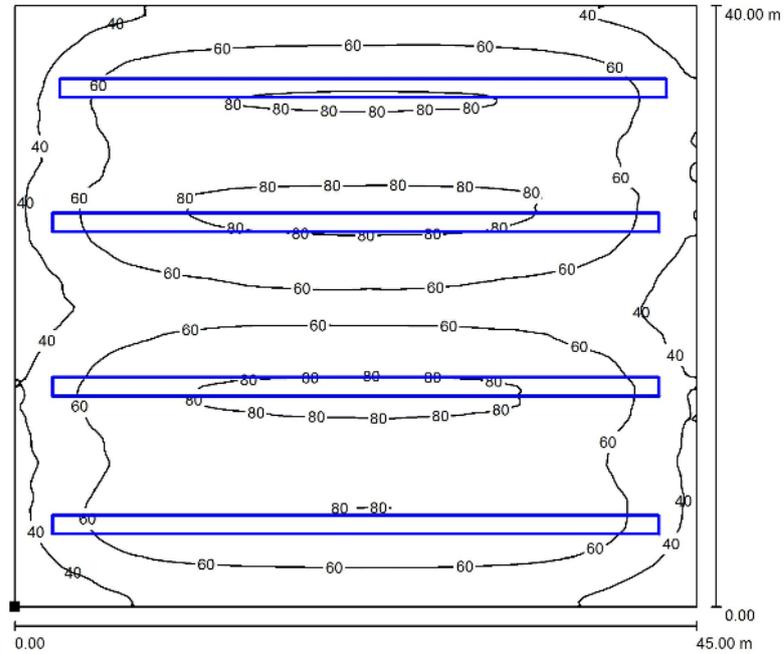
*Imagen 8: Disposición de lucernarios cenitales propuesta 1.*



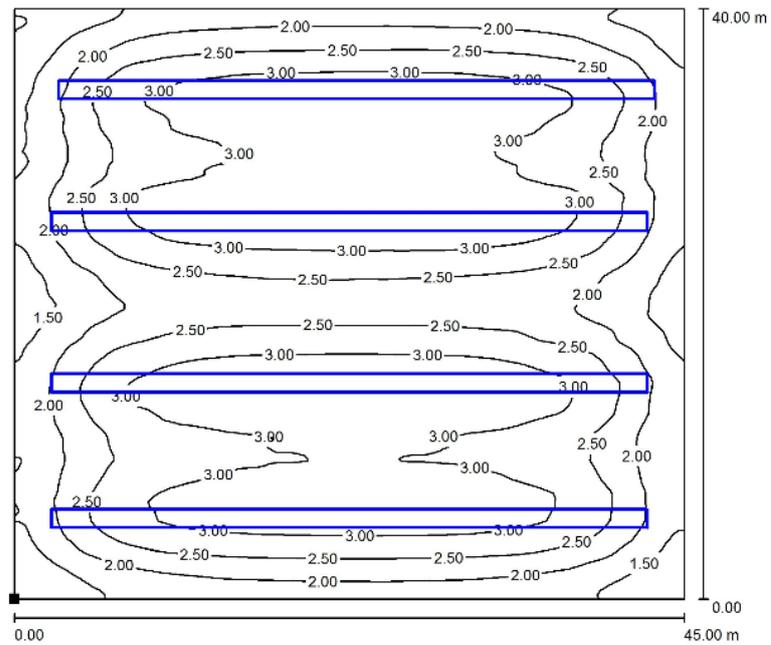
*Imagen 9: Modelo 3D propuesta 1.*

### 8.2.1.1 Análisis de resultados de la propuesta 1

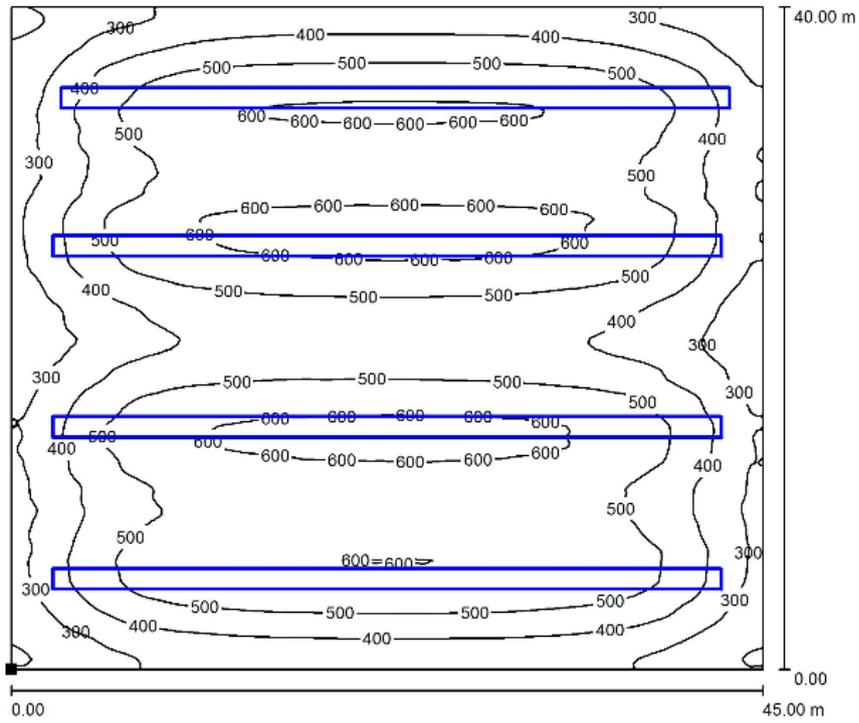
A continuación, se van a analizar los resultados de la primera propuesta mediante los valores obtenidos, así como de sus isoclinas.



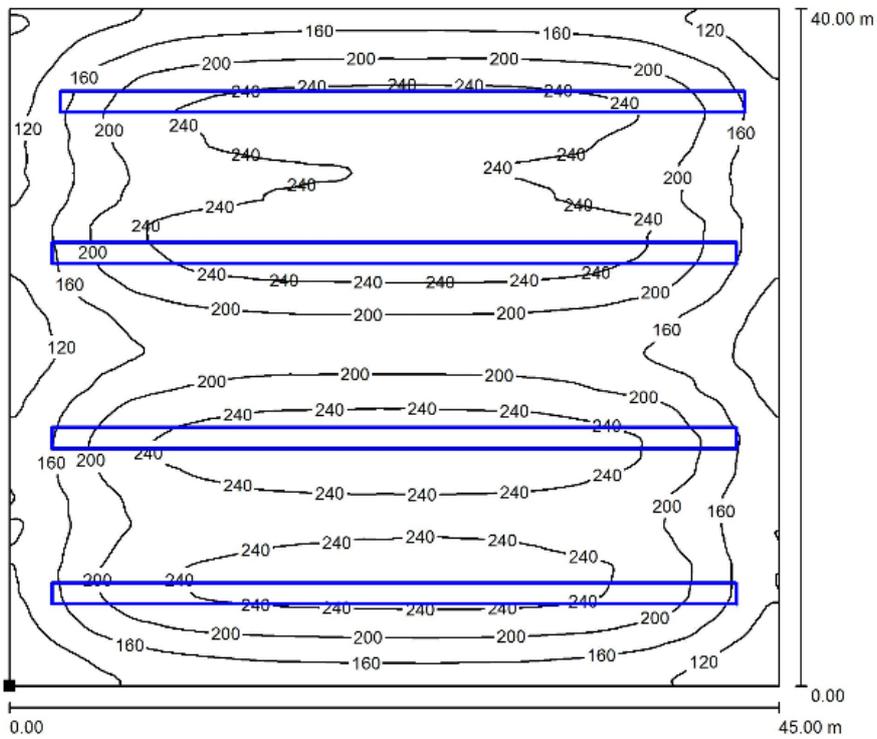
*Imagen 10: Isoclinas (E) de la propuesta 1 para el 21 de diciembre a las 9:00.*



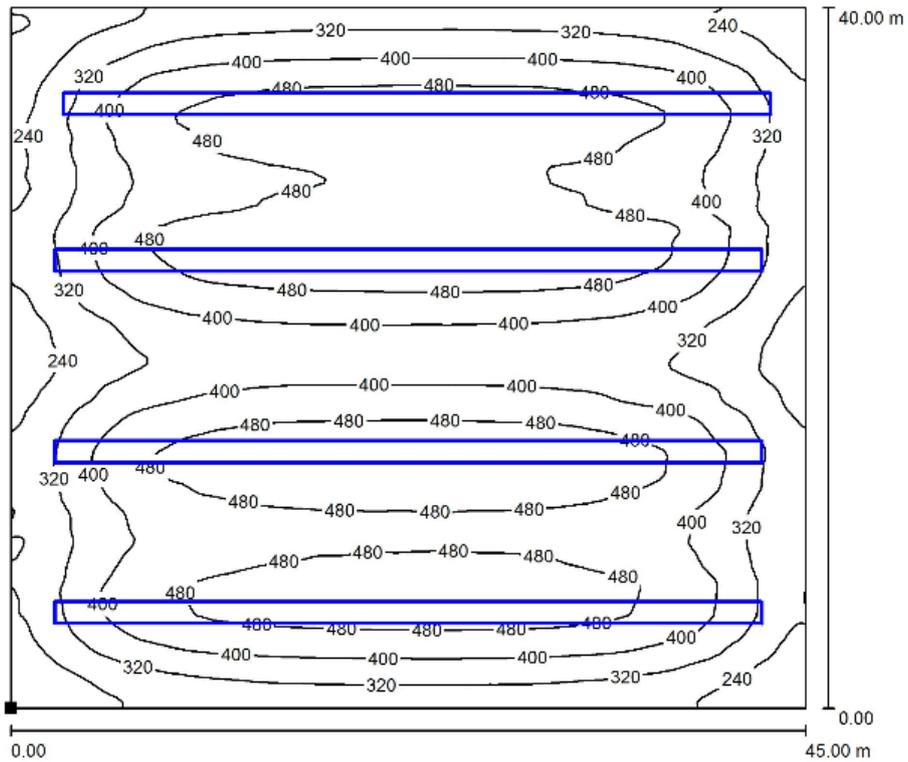
*Imagen 11: Isoclinas (D) de la propuesta 1.*



**Imagen 12: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de junio a las 12:00.**



**Imagen 13: Isolneas (E) de la propuesta 1 para el 21 de marzo a las 9:00.**



**Imagen 14: Isocuantas (E) de la propuesta 1 para el 21 de marzo a las 12:00.**

Con los resultados obtenidos se debe comprobar si se cumplen los estados límites previamente planteados.

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	63	23	85	0.374	2.55
Junio	21	12:00	469	175	637	0.374	2.55
Marzo	21	9:00	200	75	272	0.374	2.55
		12:00	403	151	547	0.374	2.55

**Tabla 9: Resultados de la propuesta 1.**

- **$E_m$**

De las cuatro situaciones planteadas tres cumplen con el requisito del nivel de iluminación media situado en 114.32 lux, solo el 21 de diciembre a las 9:00, el caso más desfavorable, se queda por niveles inferiores a los necesarios.

Se puede concluir que en condiciones normales y a falta de introducir equipos y demás instalaciones, cumple con lo necesario, pero en condiciones más adversas requiere complementarse con iluminación artificial.

- **$E_{min}$**

En esta ocasión tanto el 21 de diciembre como el 21 de marzo a las 9:00 hay zonas de la nave industrial que tienen un nivel de iluminación pequeño, por debajo de los 100 lux que es lo necesario para las zonas de tránsito que son las que requieren menor iluminación.

A horas tempranas del día normalmente se requeriría de iluminación artificial en esta propuesta en determinadas zonas para cumplir los objetivos de iluminación.

- **$E_{max}$**

En las cuatro situaciones el nivel de iluminación máximo no supera los 2000 lux por lo que en ningún caso se tendría un exceso de iluminación

- **Uniformidad**

En todos los casos la uniformidad es la misma teniendo un valor de 0.374, este valor cumple con los objetivos mínimos por lo que esta propuesta sería válida respecto de la uniformidad.

- **Factor luz de día**

De nuevo en los cuatro casos este factor es idéntico situándose en el 2.55%, si bien es algo superior del 2% deseado es un valor más que aceptable que además se vería reducido debido a la introducción de los equipos e instalaciones.

- **Deslumbramientos**

Teniendo en cuenta que la altura media a la que están situados los ojos es de 1.6 metros, que los lucernarios cenitales están a una altura de 8 metros y que el ángulo mínimo permisible de incidencia de la luz sobre los ojos de los trabajadores es de 45° se va a analizar la posibilidad de deslumbramientos.

Con estos datos la distancia a la que puede estar un trabajador de los lucernarios cenitales sin riesgo de deslumbramiento se calculará como:

$$Distancia = \frac{altura\ aberturas - altura\ de\ los\ ojos}{\tan(\alpha)} = \frac{8\ m - 1.6\ m}{\tan(45)} = 6.4\ m$$

***Ecuación 10: Cálculo de deslumbramientos de la propuesta 1.***

Por tanto, a una distancia inferior a 6.4 metros del punto más cercano a un lucernario cenital no habrá riesgos importantes de deslumbramientos. Debido a que ahora no hay equipos aun que puedan actuar como pantallas las zonas de deslumbramiento son bastantes.

### **8.2.2 Propuesta 2**

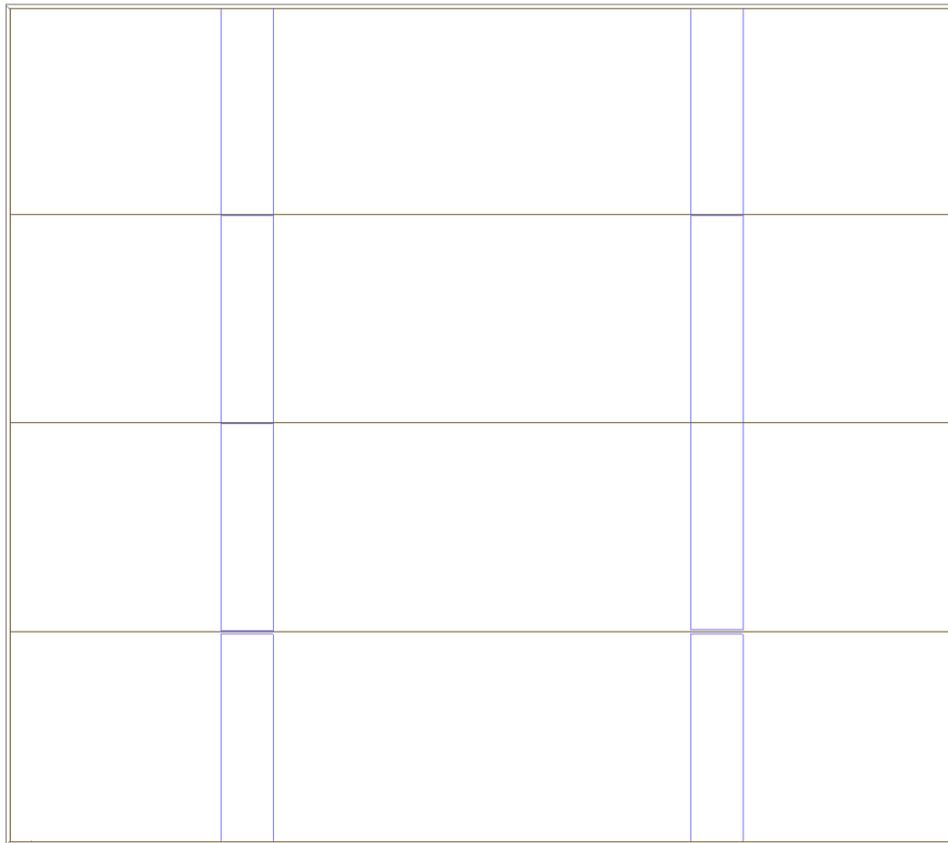
En esta segunda propuesta de nuevo solo se incluyen lucernarios cenitales como aberturas para iluminar el interior del recinto, empleando de nuevo 200 m<sup>2</sup> de aberturas con una distribución diferente para observar los resultados.

Superficie de lucernarios cenitales (m <sup>2</sup> )	200
Número de lucernarios cenitales	8
Área por lucernario cenital (m <sup>2</sup> )	25

***Tabla 10: Características de la propuesta 2.***

En esta propuesta se tienen ocho lucernarios cenitales diferentes situados en dos grupos de cuatro de manera que están dispuestos a lo largo de los 40 metros de ancho de la nave industrial.

Cada lucernario cenital tiene unas dimensiones de 10 metros por 2.5 metros con un área individual de 25 m<sup>2</sup>.

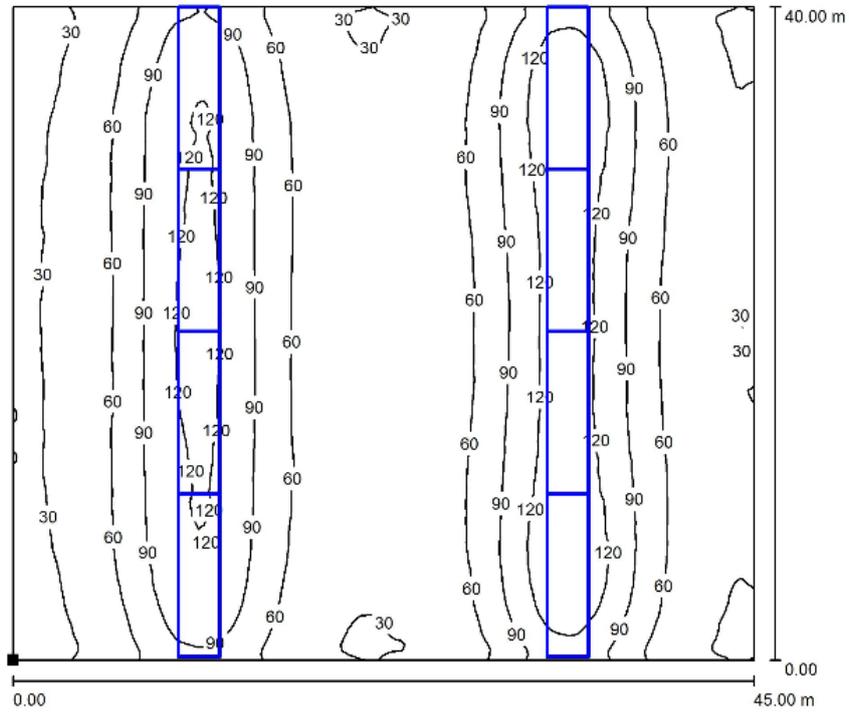


*Imagen 15: Disposición de lucernarios cenitales de la propuesta 2.*

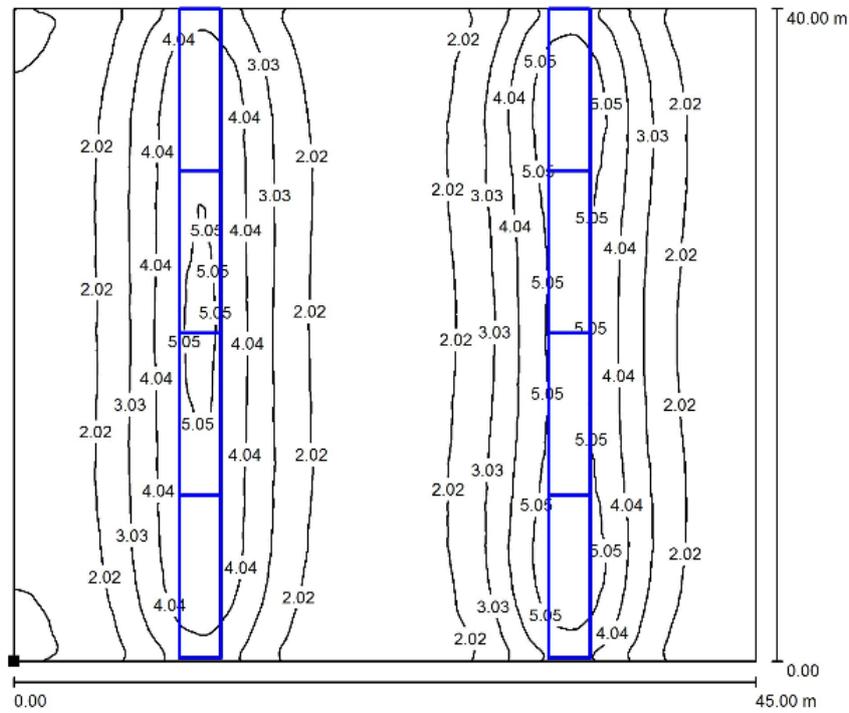


*Imagen 16: Modelo 3D de la propuesta 2.*

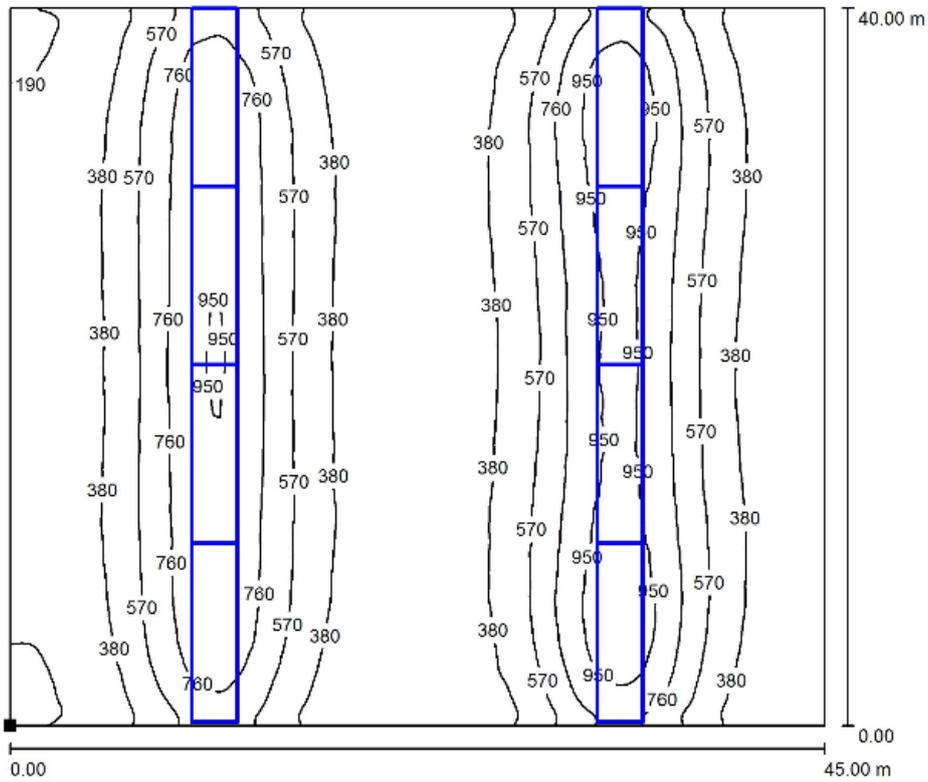
### 8.2.2.1 Análisis de resultados de la propuesta 2



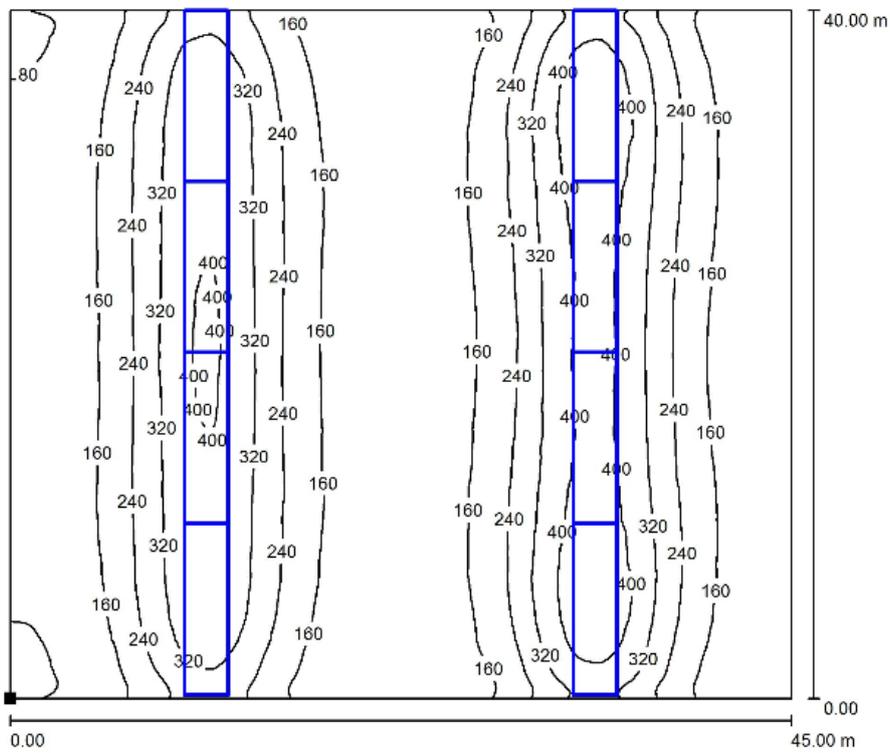
*Imagen 17: Isolineas (E) de la propuesta 2 para el 21 de diciembre a las 9:00.*



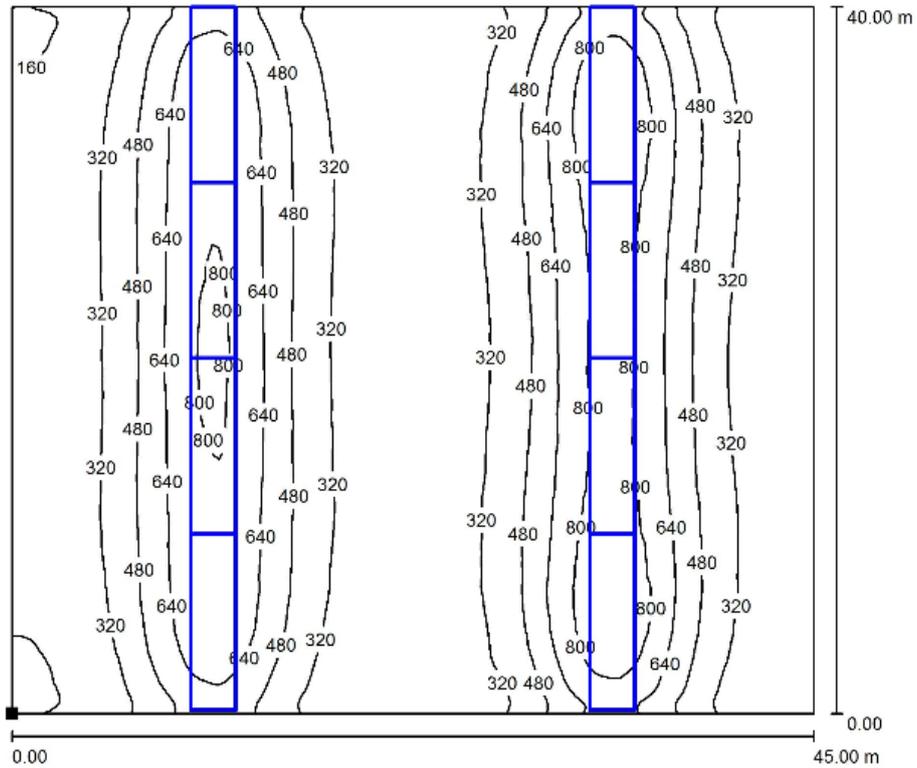
*Imagen 18: Isolineas (D) de la propuesta 2.*



**Imagen 19: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de junio a las 12:00.**



**Imagen 20: Isolneas (E) de la propuesta 2 para el 21 de marzo a las 9:00.**



**Imagen 21: Isocuantas (E) de la propuesta 2 para el 21 de marzo a las 12:00.**

De nuevo con los resultados obtenidos se debe comprobar si se cumplen los estados límites.

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	68	21	145	0.313	2.79
Junio	21	12:00	513	160	1088	0.313	2.79
Marzo	21	9:00	219	68	464	0.313	2.79
		12:00	440	138	933	0.313	2.79

**Tabla 9: Resultados de la propuesta 2.**

- **$E_m$**

Esta propuesta cumple con los requisitos de iluminación medios de la nave industrial menos en el caso más desfavorable el 21 de diciembre a las 9:00 de la mañana.

De la misma manera que la propuesta anterior, aunque con valores ligeramente superiores se puede asumir que en condiciones normales el sistema de iluminación natural cumplirá en términos generales con su función.

- **$E_{min}$**

Para esta propuesta en la situación de junio a las 12:00 de la mañana todas las zonas de la planta tendrán la iluminación requerida por las distintas actividades que se llevan a cabo en la planta. Sin embargo, en los otros casos habrá zonas cuya iluminación no será suficiente y requeriría iluminación artificial complementaria.

Respecto a la propuesta anterior se observa un empeoramiento en los niveles de iluminación mínima, sobre todo es importante para el 21 de marzo a las 12:00, ya que este caso pasa a no llegar a los 150 luxes que podrían requerir las actividades de la planta de darse en zonas de mínima iluminación.

- **$E_{max}$**

Los cuatro casos tienen unos niveles de iluminación máximos inferiores a 2000 lux por lo que los cuatro casos cumplen con los objetivos.

Hay niveles de iluminación máxima superiores que en la propuesta anterior.

- **Uniformidad**

Los niveles de uniformidad de esta propuesta son aceptables superando el objetivo mínimo de 0.3.

Este valor no mejora al del caso anterior haciendo de esta propuesta una peor alternativa respecto a la uniformidad de manera que la iluminación está peor repartida.

- **Factor luz de día**

El factor luz de día en esta ocasión sigue permaneciendo por encima del 2%, aunque de nuevo tiene un valor muy cercano al objetivo por lo que se puede dar por válido.

Es ligeramente mayor a la propuesta anterior estando más lejos del 2% deseado.

- **Deslumbramientos**

El sistema de iluminación consta únicamente de lucernarios cenitales situados a una altura de 8 metros como en el caso anterior y teniendo en cuenta la altura media donde se encuentran los ojos de un trabajador se está en la misma situación que en la propuesta anterior. De nuevo para una distancia inferior a 6.4 metros de cualquier punto de los lucernarios cenitales no hay riesgo de deslumbramiento.

Aunque la distancia de deslumbramiento es la misma que en el caso anterior al haber solo dos series de lucernarios cenitales en lugar de cuatro hay menos zonas donde es posible que se den los deslumbramientos.

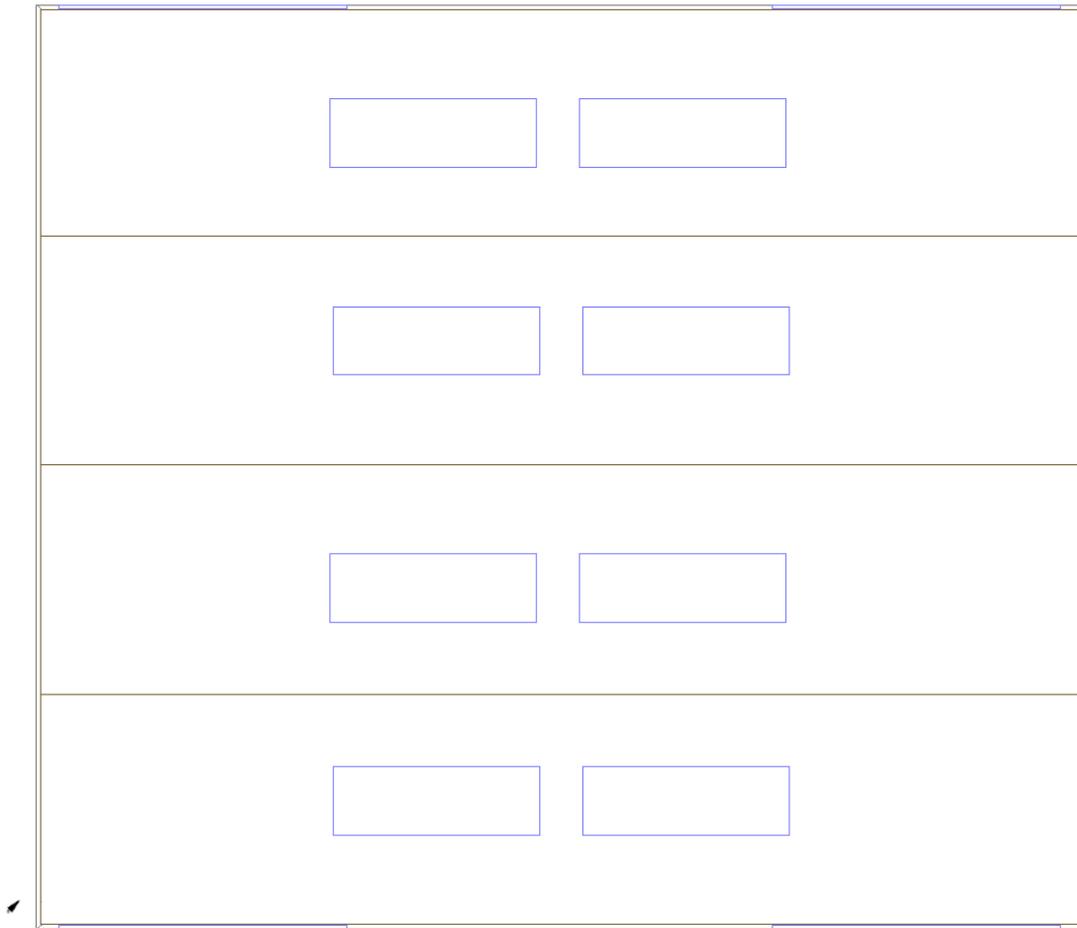
### 8.2.3 Propuesta 3

La última propuesta consta de una combinación de diferentes tipos de aberturas, lucernarios cenitales y ventanales. Se utilizarán 216 m<sup>2</sup> de lucernarios cenitales y 100 m<sup>2</sup> de ventanas para desarrollar el sistema de iluminación natural.

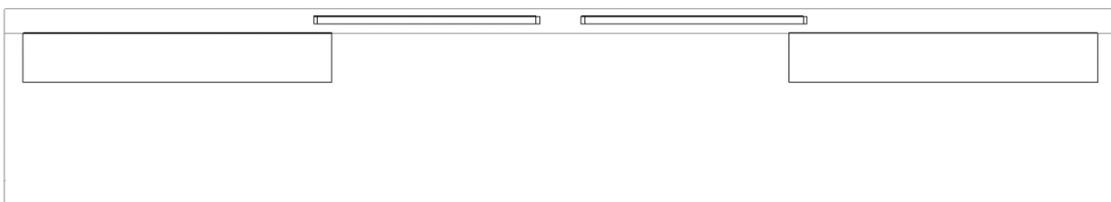
Superficie de lucernarios cenitales (m <sup>2</sup> )	216
Número de lucernarios cenitales	8
Área por lucernario cenital (m <sup>2</sup> )	27
Superficie de ventanas (m <sup>2</sup> )	100
Número de ventanas	4
Área por ventana (m <sup>2</sup> )	25

*Tabla 10: Características de la propuesta 3.*

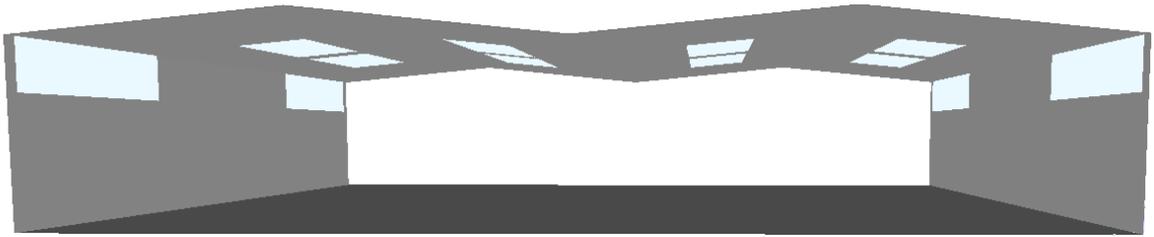
En el planteamiento de esta propuesta se tienen 8 lucernarios cenitales de 9 por 3 metros cada uno situados en la parte central de la nave complementados con 4 ventanas de 12.5 por 2 situadas a 2 metros de altura en los extremos de la nave.



***Imagen 22: Disposición de aberturas de la propuesta 3 vista en planta.***

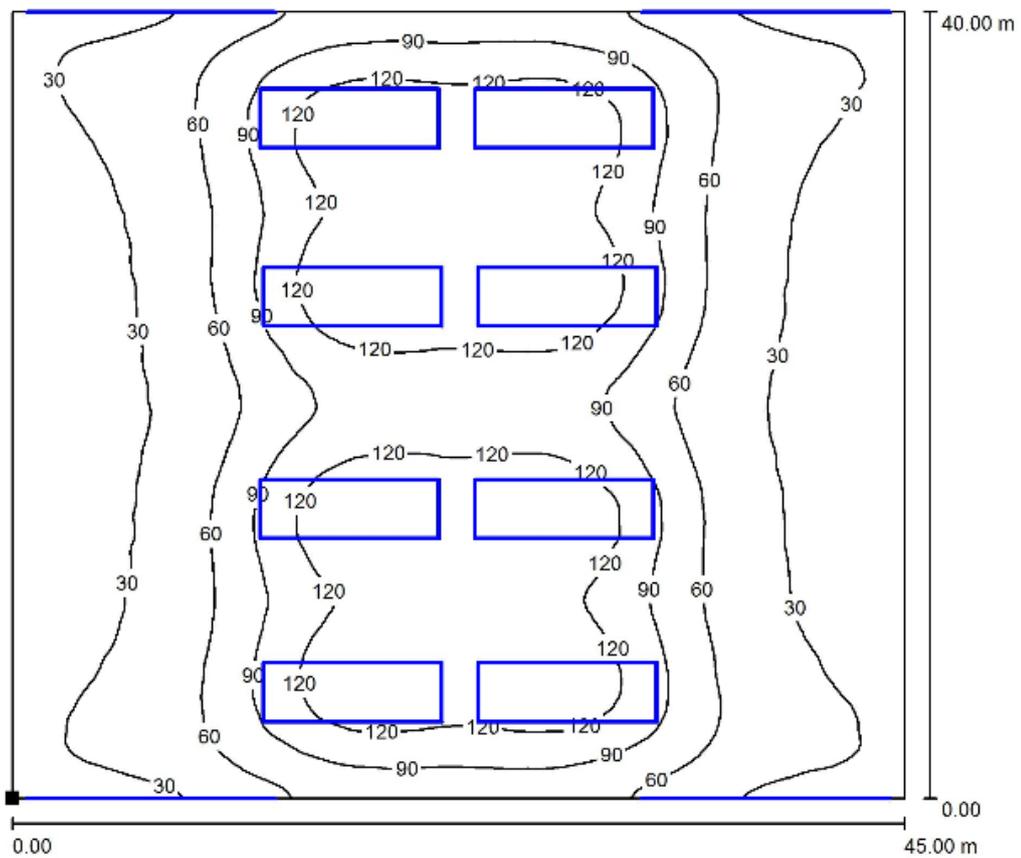


***Imagen 23: Vista lateral de aberturas de la propuesta 3.***

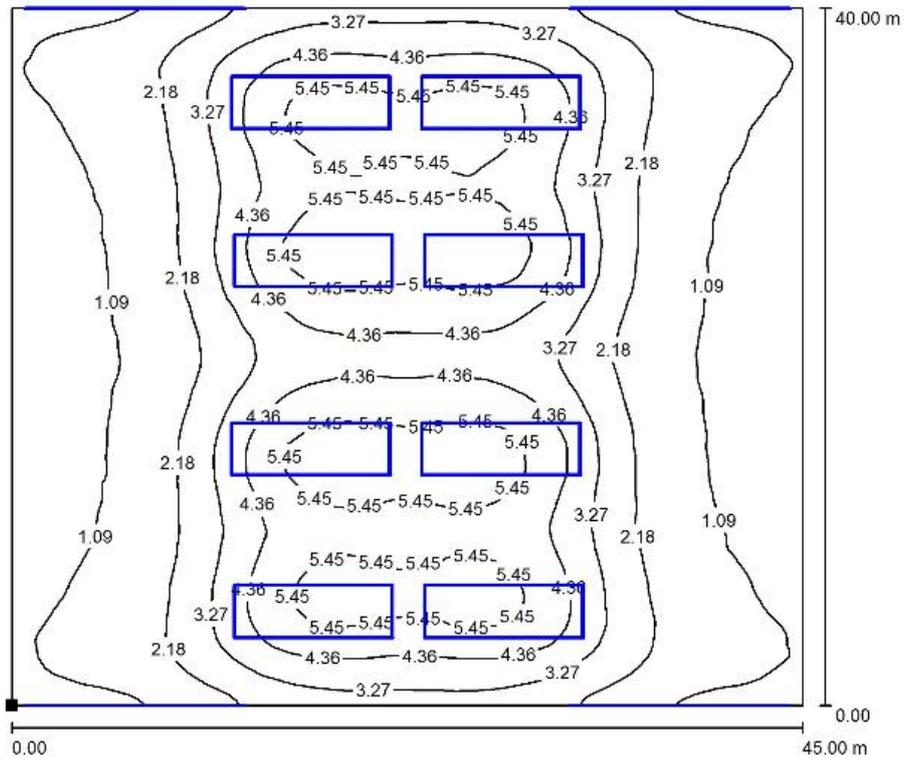


*Imagen 24: Modelo 3D de la propuesta 3.*

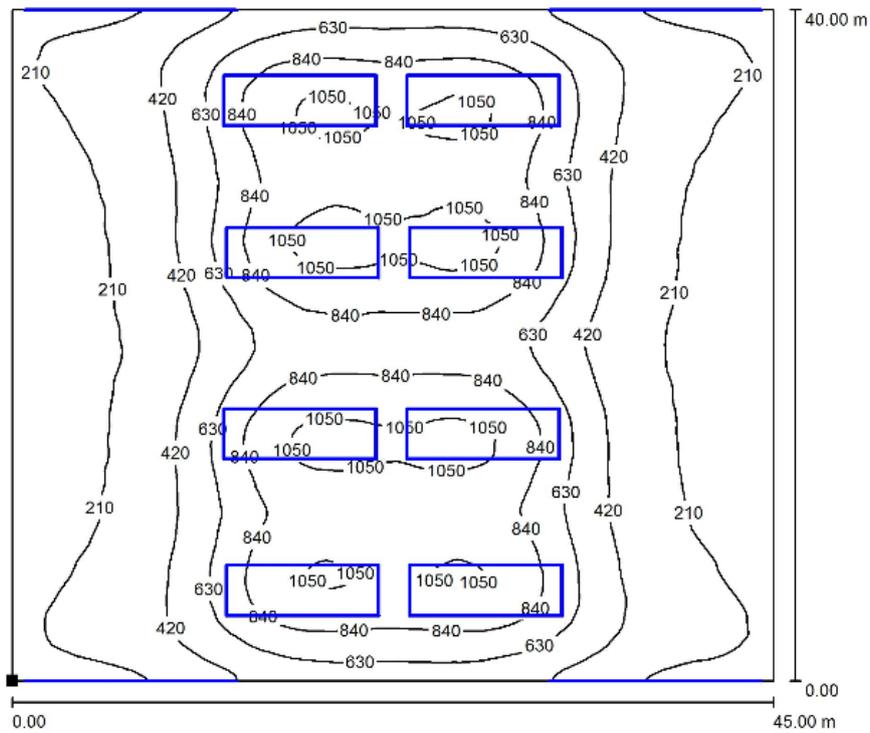
### 8.2.3.1 Análisis de resultados de la propuesta 3



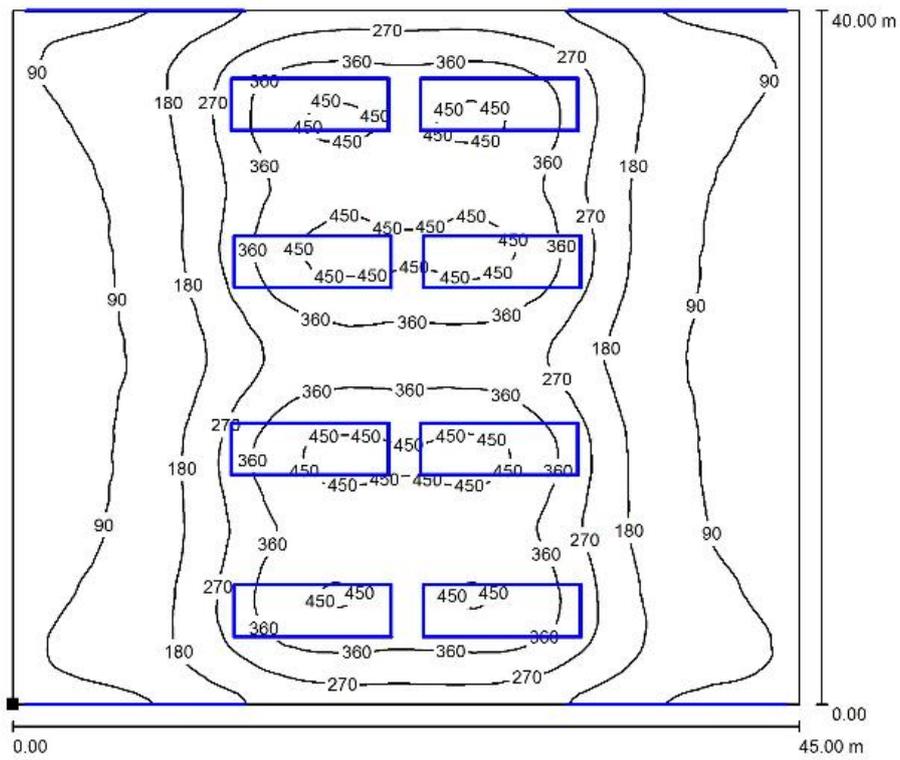
*Imagen 25: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de enero a las 9:00.*



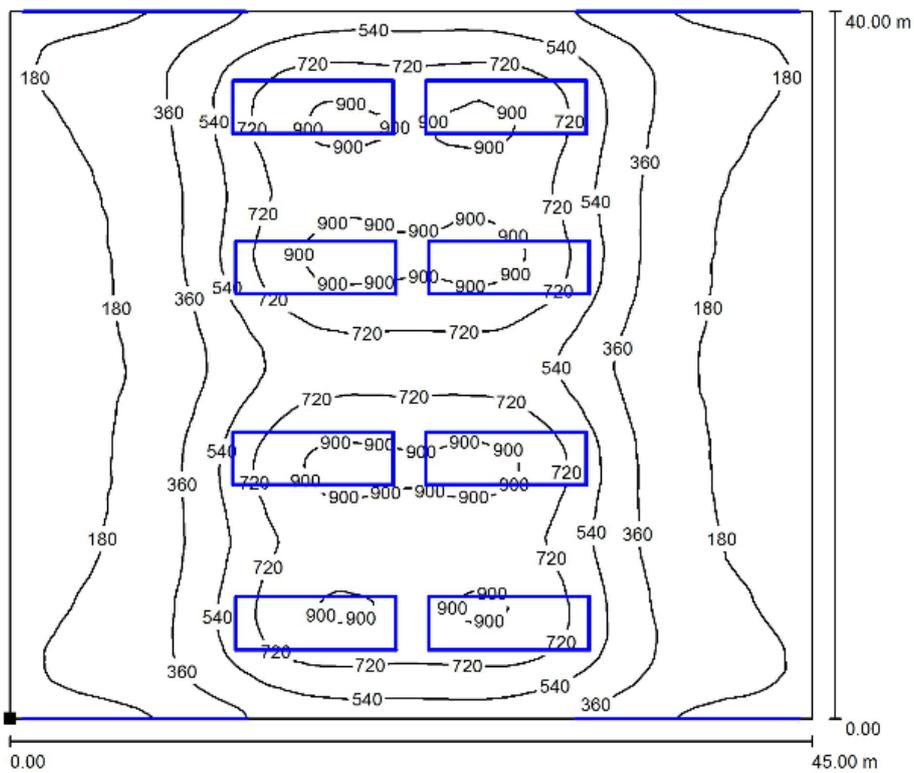
**Imagen 26: Isolneas (D) de la propuesta.**



**Imagen 27: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de junio a las 12:00.**



**Imagen 28: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de marzo a las 9:00.**



**Imagen 29: Isolneas (E) de la propuesta 3 para el 21 de marzo a las 12:00.**

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	74	16	150	0.221	3.02
Junio	21	12:00	556	123	1125	0.221	3.02
Marzo	21	9:00	237	53	480	0.221	3.02
		12:00	477	106	966	0.221	3.02

**Tabla 11: Resultados de la propuesta 3.**

- **$E_m$**

El nivel de iluminación medio de la nave industrial es mayor en esta propuesta que en el resto, aun así, sigue siendo insuficiente en el caso más desfavorable de todos por lo que sigue requiriendo complementarse con iluminación artificial.

- **$E_{min}$**

Si bien el nivel de iluminación medio de la nave industrial en esta propuesta era mayor que en las demás, las zonas de menor iluminación reciben menos luz que en las otras propuestas.

En ninguno de los cuatro casos se llega a 150 lux que son los requeridos por las actividades de la planta y solo en dos se llega a superar los 100 que de tratarse de zonas de circulación serían valores válidos.

- **$E_{max}$**

Esta propuesta tiene los valores más altos de iluminación en los cuatro supuestos planteados, en ninguno de ellos supera los 2000 lux por lo que es una propuesta válida respecto al nivel máximo de iluminación.

- **Uniformidad**

Esta propuesta tiene un coeficiente de uniformidad de 0.221, no alcanzando el mínimo de 0.3, la diferencia entre el nivel de iluminación media de la nave y el mínimo es demasiado grande como para tolerarse.

Como se ha analizado antes si bien el nivel de iluminación media crecía, el nivel mínimo se hacía más pequeño teniendo efecto sobre la uniformidad.

- **Factor luz de día**

Este factor sigue siendo superior al 2% deseado si bien no se aleja mucho de él pudiendo ser aceptable es el valor más alto de las tres propuestas planteadas.

- **Deslumbramientos**

Para los tragaluces la distancias donde se producen los deslumbramientos no variaran respecto a los casos anteriores, a menos de 6.4 metros de cualquier punto de los lucernarios cenitales no habrá riesgo de deslumbramiento.

Para los ventanales esta distancia es diferente, el punto más cercano a los ojos de los trabajadores se encuentra a una altura de cinco metros, por lo que siguiendo los cálculos realizados anteriormente habrá que calcular la distancia de deslumbramiento por los ventanales.

La distancia máxima a la que se puede estar de un ventanal sin riesgo de sufrir un deslumbramiento será:

$$\text{Distancia} = \frac{\text{altura aberturas} - \text{altura de los ojos}}{\tan(\alpha)} = \frac{5 \text{ m} - 1.6 \text{ m}}{\tan(45)} = 3.4 \text{ m}$$

*Ecuación 11: Cálculo de deslumbramientos de ventanales de la propuesta 3.*

Por tanto, no habrá riesgo de deslumbramientos en la nave industrial si se está en un punto de la misma en el que se esté mirando en una dirección con los lucernarios cenitales a menos de 6.4 metros de distancia y los ventanales a menos de 3.4 metros.

## **9. ELECCIÓN Y DESARROLLO DE PROPUESTA.**

### **9.1 Comparación y elección de la propuesta.**

Cada una de las propuestas tienen puntos a favor y en contra por lo que es necesario compararlas y en base a los estados límite planteados como objetivos elegir la propuesta más adecuada.

En lo referente al nivel de iluminación media de la planta, las tres propuestas coinciden en cuanto a que de los cuatro supuestos cumplen tres, siendo el caso más desfavorable el

que no cumple los requisitos mínimos. En este sentido la propuesta que mayor nivel de iluminación consigue es la tercera, sin embargo, esto es a costa del resto de parámetros pues tiene también zonas con la menor iluminación de las tres que la convierten en la propuesta con peor uniformidad no llegando al objetivo marcado de 0.3 sobre 1.

Ninguna propuesta supera el nivel máximo de iluminación permitido de 2000 lux, siendo el 21 de junio a las 12:00 el que mayor nivel de iluminación registra.

Por otro lado, las tres propuestas superan ligeramente el valor deseado del factor luz de día, pero tienen valores aceptables que además se verán reducidos cuando se introduzcan en el modelo los equipos e instalaciones de la planta. La propuesta 1 tiene el mejor factor de luz de día de las tres propuestas.

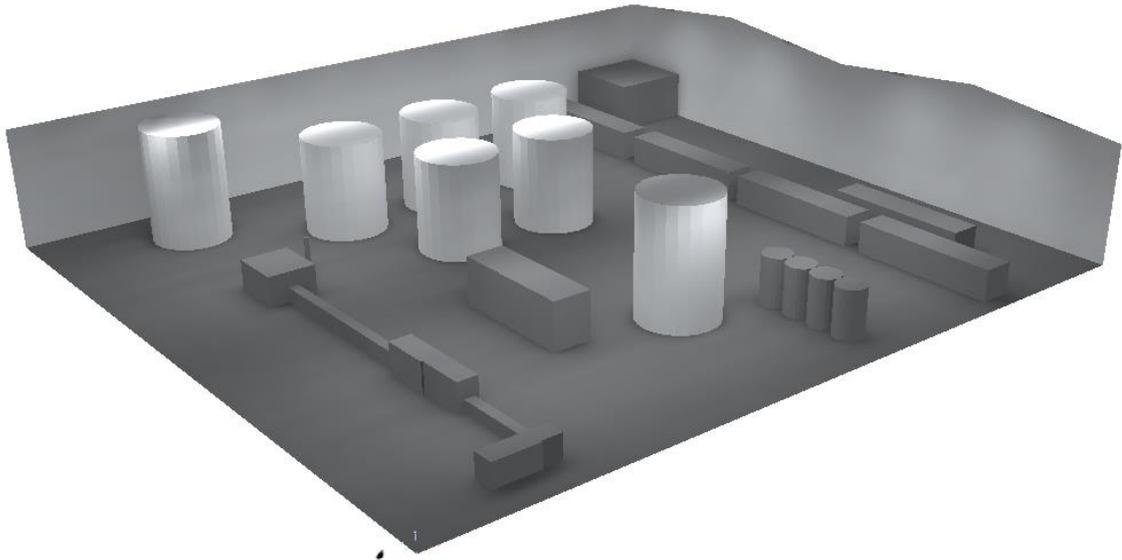
Por último, en cuanto a los deslumbramientos las dos primeras propuestas tienen distancias idénticas para evitar zonas de deslumbramiento, aunque la segunda al estar los tragaluces concentrados en una zona las zonas de deslumbramiento son menores. La tercera propuesta es la que más zonas de deslumbramiento presenta al estar compuesta por una mezcla de lucernarios cenitales y ventanales.

También se puede destacar que para unos resultados similares e incluso mejores las dos primeras propuestas únicamente utilizan 200 m<sup>2</sup> de aberturas mientras que la tercera utiliza 316 m<sup>2</sup>, demostrando así que los lucernarios cenitales son mucho más eficaces que los ventanales pues con una superficie mayor la tercera propuesta solo ha conseguido mejorar ligeramente el valor del nivel de iluminación media de la nave.

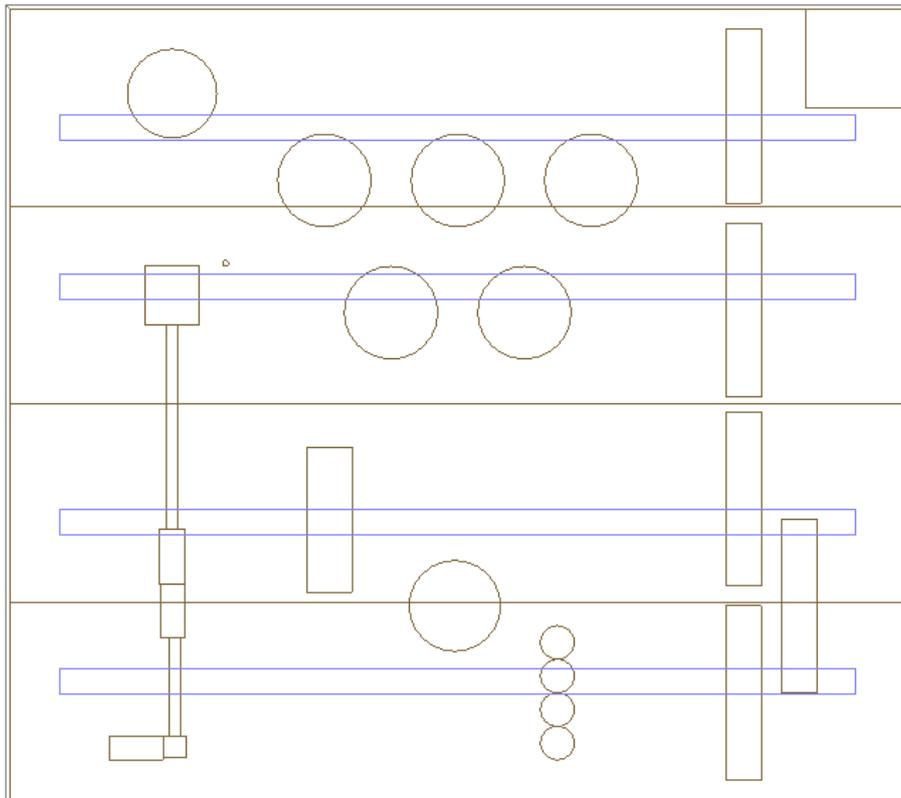
Es por todo esto que se va a escoger la propuesta 1 para su desarrollo, es la propuesta con la mejor uniformidad y mejor factor de luz de día. Si bien tiene menores valores del nivel de iluminación media de la planta, es por tan poco margen que comparado con el resto de parámetros compensa elegir esta propuesta.

## **9.2 Desarrollo de la propuesta.**

El primer paso que hay que dar una vez se ha seleccionado la propuesta que se va a emplear es introducir en el modelo 3D para realizar las simulaciones los diferentes equipos e instalaciones contenidos en la nave industrial.



*Imagen 30: Modelado 3D de la propuesta elegida.*

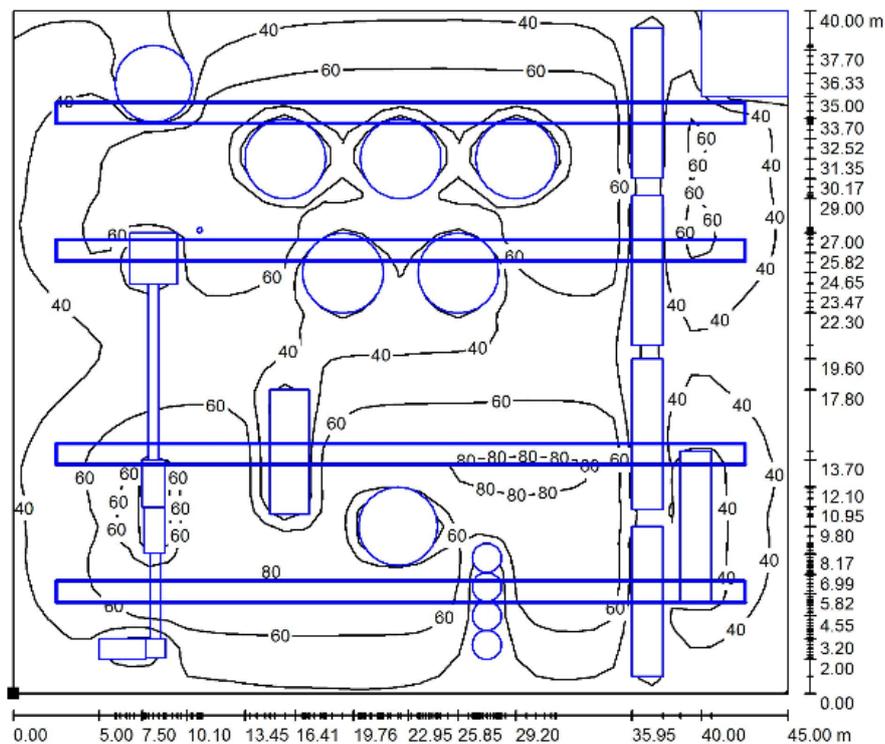


*Imagen 31: Distribución aberturas de la propuesta modelada.*

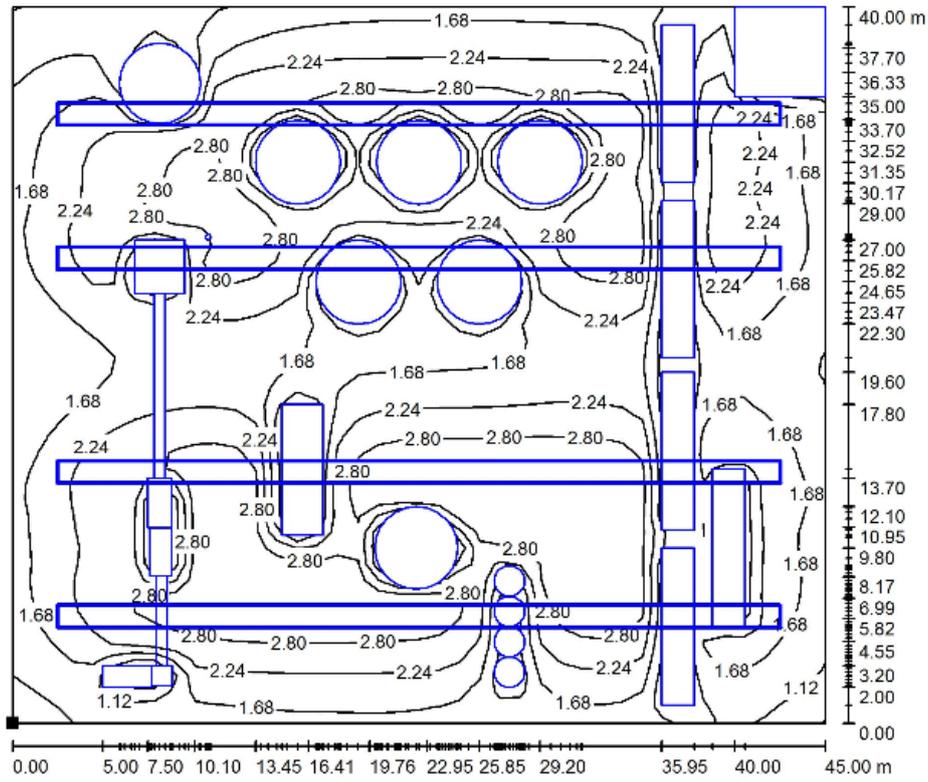
Ahora se va a analizar cómo se comporta el sistema de iluminación natural con la nave industrial ya completa con todo lo necesario para que realice sus funciones modelado en el programa.

Es de esperar que el comportamiento de este sistema empeore debido a la introducción de estos objetos que actúan como irregularidades, afectando a la uniformidad de la nave o que actúan como pantalla impidiendo la incidencia de la luz natural en determinados espacios de la nave.

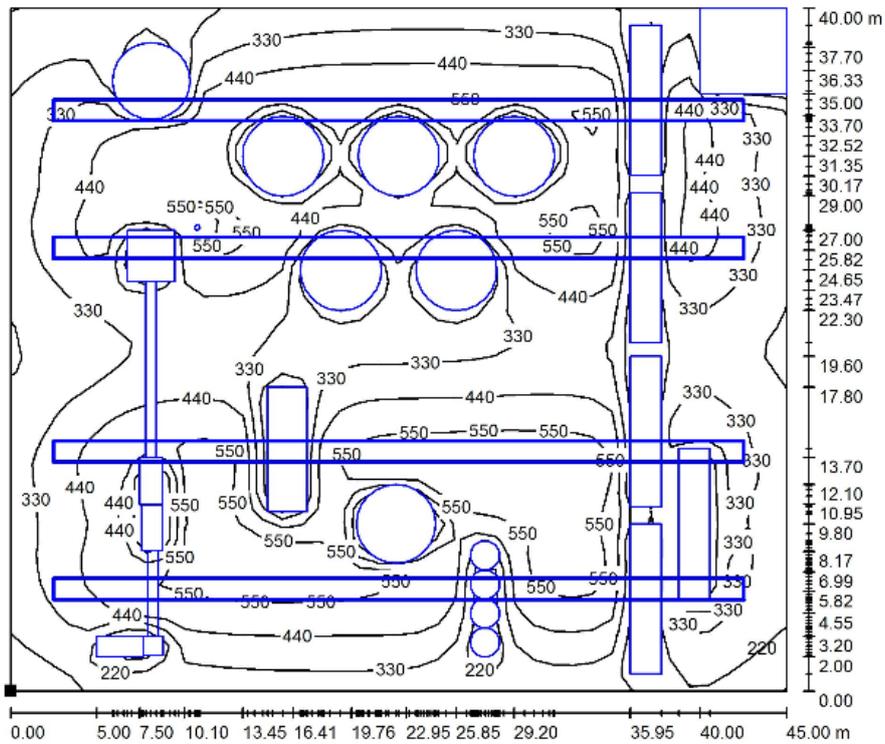
A diferencia de las propuestas anteriores también se evaluará la iluminación por zonas para que según la actividad se determine si la iluminación es suficiente



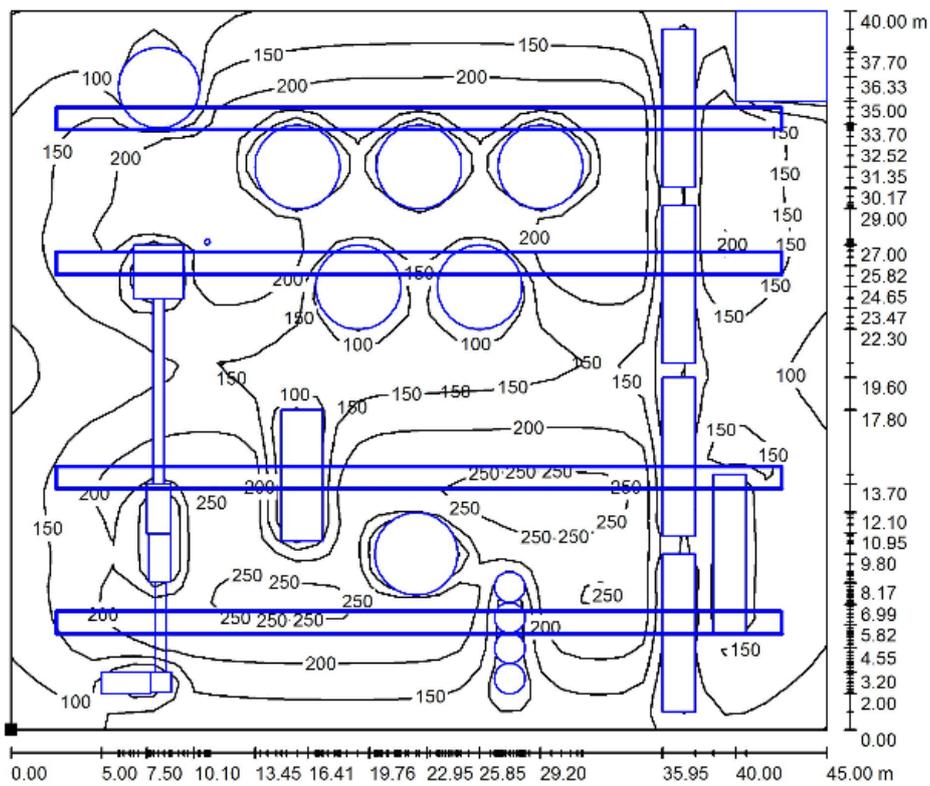
***Imagen 32: Isocías (E) de la propuesta modelada para el 21 de diciembre a las 9:00.***



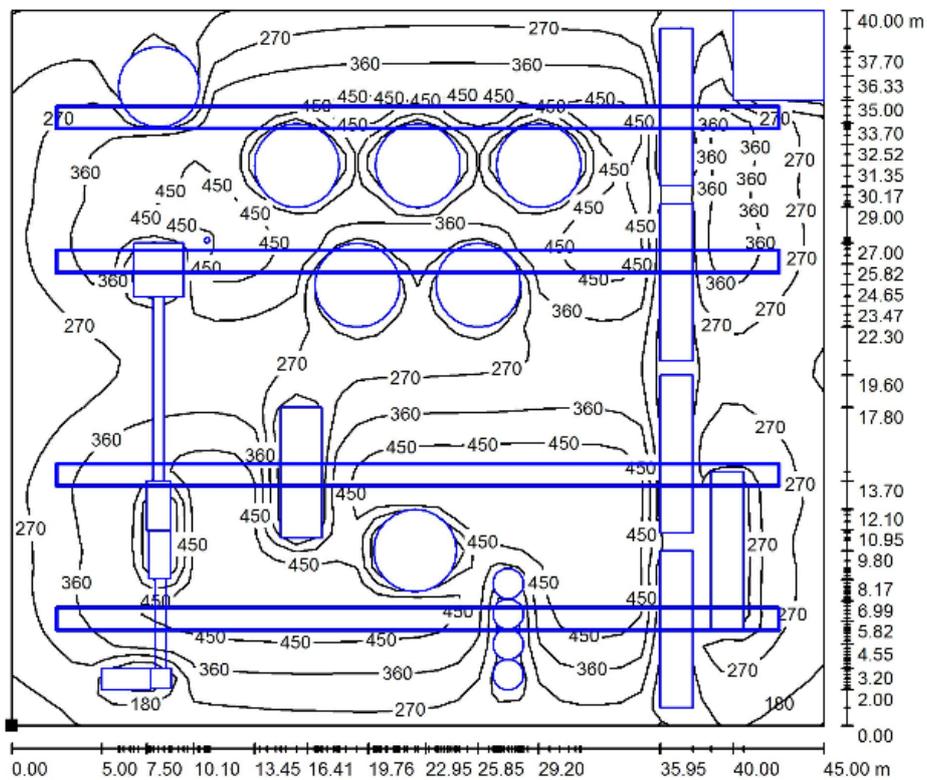
**Imagen 33: Isolneas (D) de la propuesta modelada.**



**Imagen 34: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de junio a las 12:00.**



**Imagen 35: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de marzo a las 9:00.**



**Imagen 36: Isolneas (E) de la propuesta modelada para el 21 de marzo a las 12:00.**

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	54	14	82	0.252	2.2
Junio	21	12:00	405	102	617	0.252	2.2
Marzo	21	9:00	173	44	263	0.252	2.2
		12:00	348	88	529	0.252	2.2

**Tabla 12: Resultados de la propuesta desarrollada**

- $E_m$

Con respecto a la propuesta original con la nave vacía el nivel de iluminación medio de la nave industrial se ve lógicamente reducido debido a la introducción de objetos que actúan como pantallas.

A pesar de la reducción de la iluminación media, se mantiene que solo el 21 de diciembre a las 9:00, el caso más desfavorable no se alcanza el objetivo de iluminación. Se puede concluir que a niveles generales solo en situaciones extremas o casos puntuales será necesario el uso de iluminación artificial.

- $E_{min}$

De nuevo, el nivel de iluminación mínima de la nave se ve reducido debido a la introducción de los equipos e instalaciones. En todos los casos supuestos no se llegan a los 150 luxes de las actividades que se realizan en la nave, solo el 21 de junio se superan los 100 lux y dependiendo de en qué zona se de esta iluminación mínima puede que sea válida.

En cualquier caso, es necesario hacer un análisis en profundidad de la iluminación por zonas y ver donde se necesitaría utilizar iluminación artificial.

- $E_{max}$

Los niveles de iluminación máxima siguen dentro del límite establecido de 2000 lux siendo menores que en la propuesta 1 con la nave industrial vacía.

- **Uniformidad**

Como se ha mencionado, debido a la introducción de diferentes objetos, la uniformidad de la iluminación se ha visto afectada reduciéndose considerablemente con respecto a la propuesta 1 situándose por debajo del valor de 0.3 establecido como límite. Por esta razón es posible que sea necesario realizar alguna modificación para intentar ajustar este valor de uniformidad y mejorar la propuesta.

- **Factor luz de día**

El factor luz de día en este caso tiene el mejor valor de todos los vistos hasta ahora, se sitúa en un 2.2% muy cercano al 2% deseado por lo que es un valor más que válido.

Esta mejora de nuevo se debe a la introducción de equipos en la planta que afectan a la iluminación de la misma.

- **Deslumbramientos**

De nuevo, suponiendo una altura de 1.6 metros para la altura media a la que se sitúan los ojos de los trabajadores, con unos lucernarios cenitales situados a 8 metros de altura se tendría una distancia máxima de 6.4 metros desde cualquier punto de un lucernario cenital en el eje horizontal en la cual no habría riesgo de deslumbramiento.

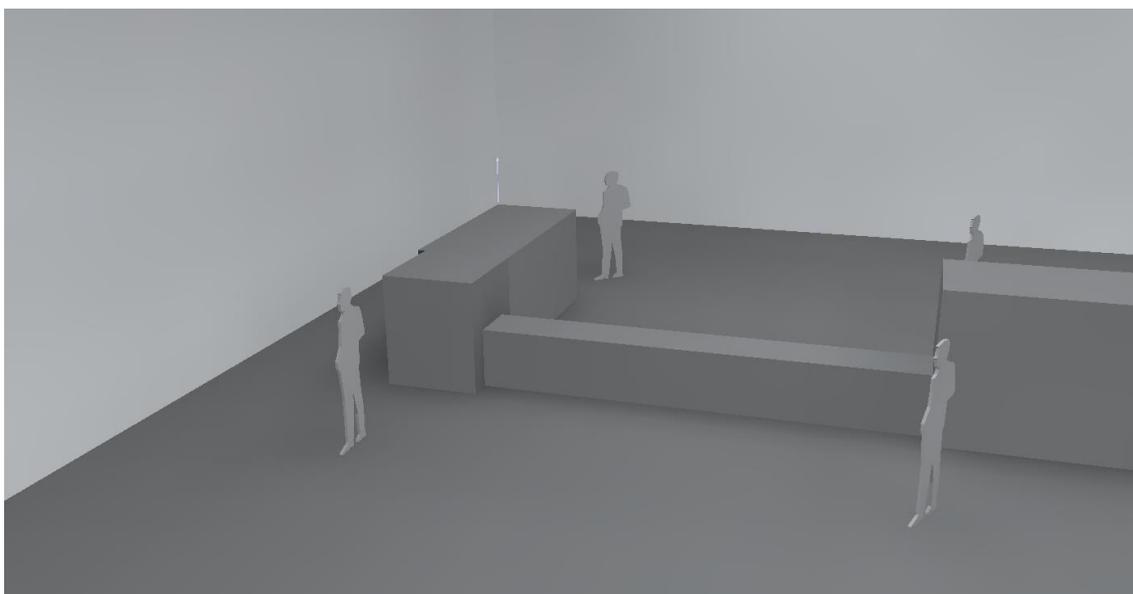
Sin embargo, en este caso también entra en juego la introducción de los diferentes equipos, pues partiendo de que cuando se trabaja en una determinada zona el trabajador está mirando hacia el equipo que está usando si este tiene una altura superior a 1.6 metros el propio equipo actuará de pantalla.

<b>Equipo</b>	<b>Altura (m)</b>
Tamices	1.39
Trituradora primaria	1.39
Trituradora secundaria	1.7
Molino de bolas	1.7
Hidrociclón	1.9
Tanque sumidero	6.7
Tanques de lixiviación	5.68
Filtro prensa	2.75
Tanque de almacenamiento de recicló	6.94
Celdas de flotación iónica	2.79
Celdas de electrolisis	1.81

*Tabla 13: Alturas de los equipos.*

Con estos datos de las alturas se llega a la conclusión de que solo las zonas de tamizado y de la trituración primaria tienen riesgo de deslumbramiento ya que sus alturas no son lo suficientemente elevadas.

Dependiendo de donde se sitúe el trabajador en esas zonas de trabajo, habrá riesgo de deslumbramiento o no.



***Imagen 37: Posición de los trabajadores en el tamizado y trituración primaria.***

En la imagen se muestran posibles posiciones que tomarían los trabajadores para desarrollar su labor en el tamizado y en la trituración primaria. Si se sitúan en la zona inferior de la imagen, es decir mirando hacia la pared más cercana por donde comienza el tamizado por un pequeño margen se encuentran en una zona de no deslumbramiento, mientras que si se sitúan en las zonas de arriba de la imagen los trabajadores están mirando hacia el lado más alejado de la nave con casi 40 metros de lucernarios cenitales por delante, por lo que están en una zona de deslumbramiento.

Estos posibles deslumbramientos se podrían solucionar con la colocación de pantallas en la trayectoria de la luz para evitar que incidiera en los ojos de los trabajadores.

### 9.2.1 Mejora de la propuesta

Antes de entrar a analizar en profundidad la iluminación de las diferentes zonas de la nave industrial se van a realizar unas modificaciones en la propuesta elegida con el fin de intentar mejorar la uniformidad de la iluminación.

Se va a intentar inicialmente mantener los metros cuadrados de lucernario cenital y el número de lucernarios cenitales modificando únicamente la posición de los mismos para mejorar la iluminación. También se comprobará que la propuesta modificada mejora a la no modificada para la nave industrial vacía de manera que cumpla el objetivo de flexibilidad.

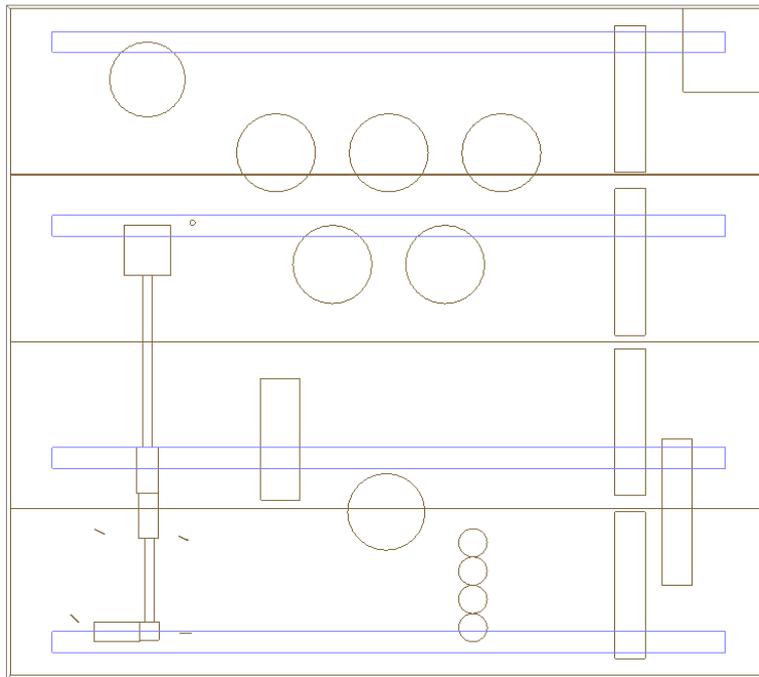
Superficie de lucernarios cenitales (m <sup>2</sup> )	200
Número de lucernarios cenitales	4
Área por lucernario cenital (m <sup>2</sup> )	50

*Tabla 14: Características de la propuesta 1 modificada.*

La modificación realizada consiste en un desplazamiento de los lucernarios cenitales de la nave hacia los lados quedando estos en una posición menos centrada.

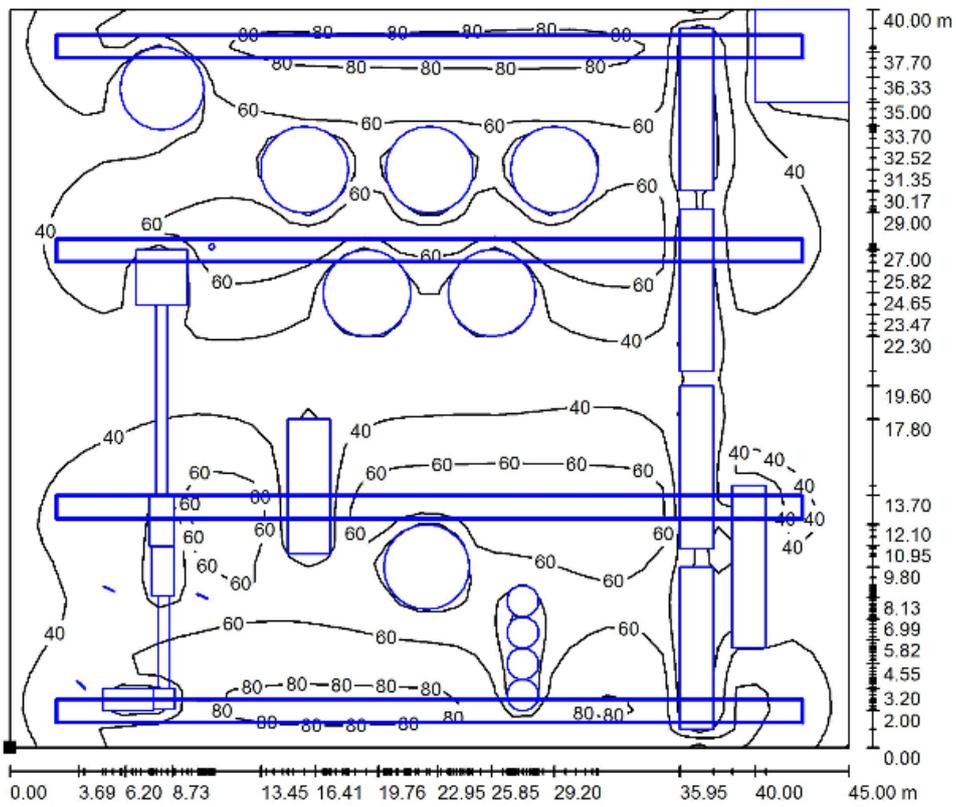


*Imagen 38: Modelo 3D de la propuesta modificada.*

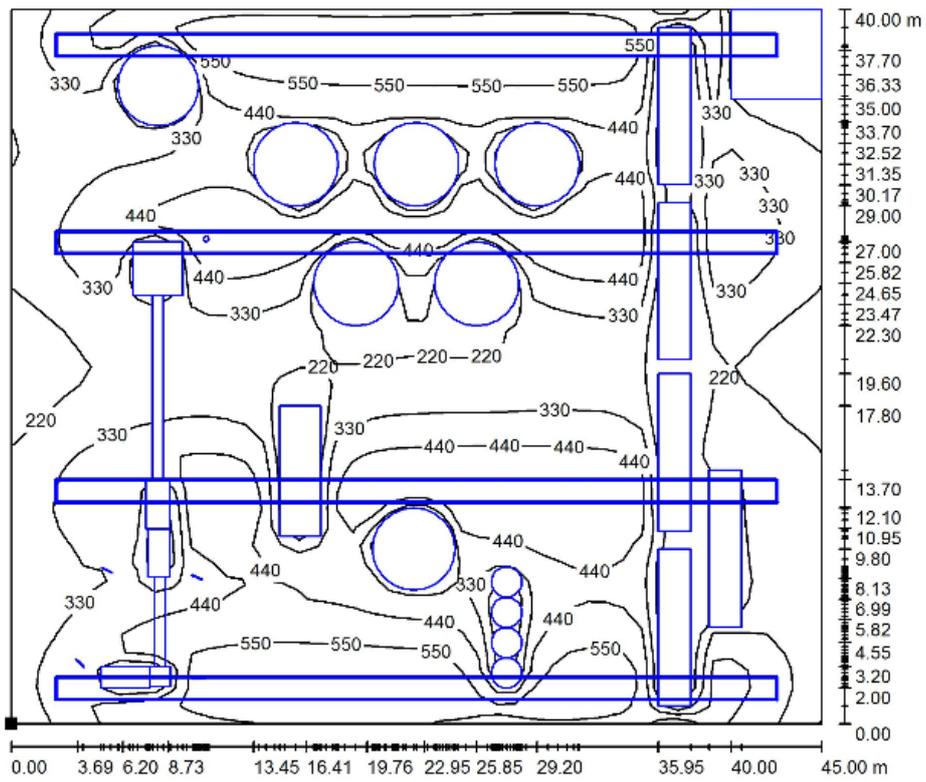


**Imagen 39: Distribución de los lucernarios en la propuesta modificada.**

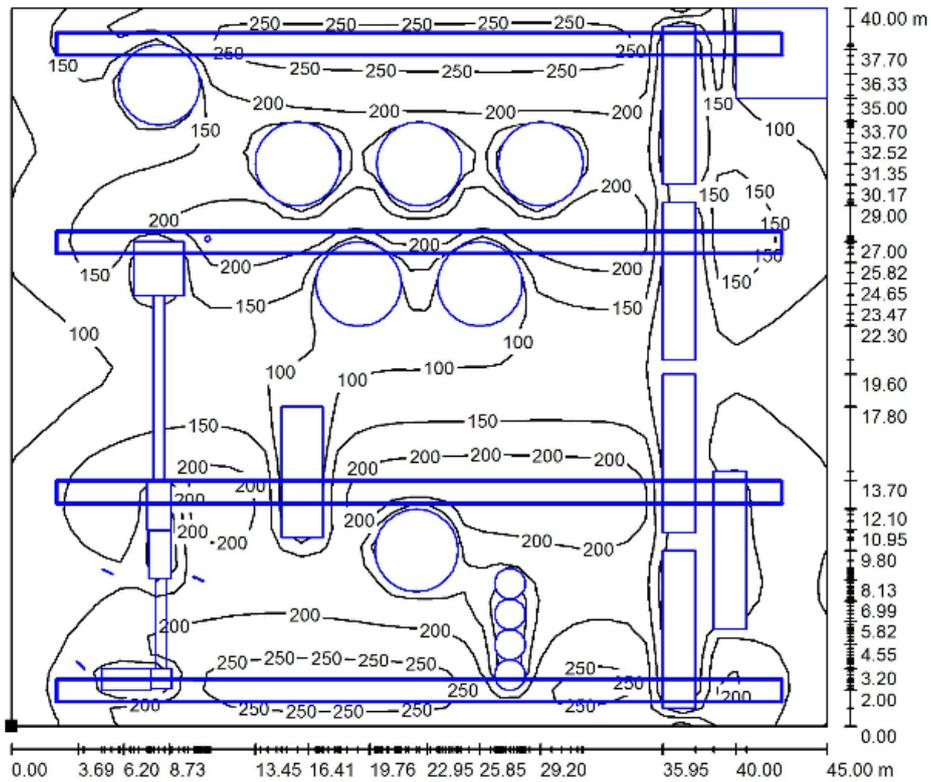
**9.2.1.1 Isolneas de la propuesta modificada y resultados.**



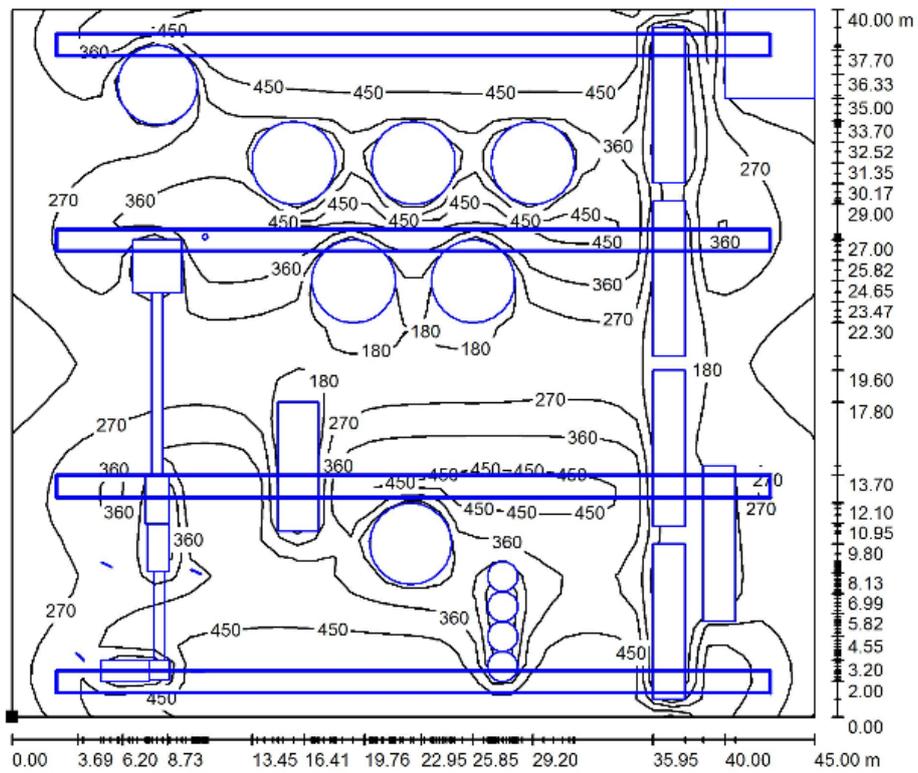
**Imagen 40: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de diciembre a las 9:00.**



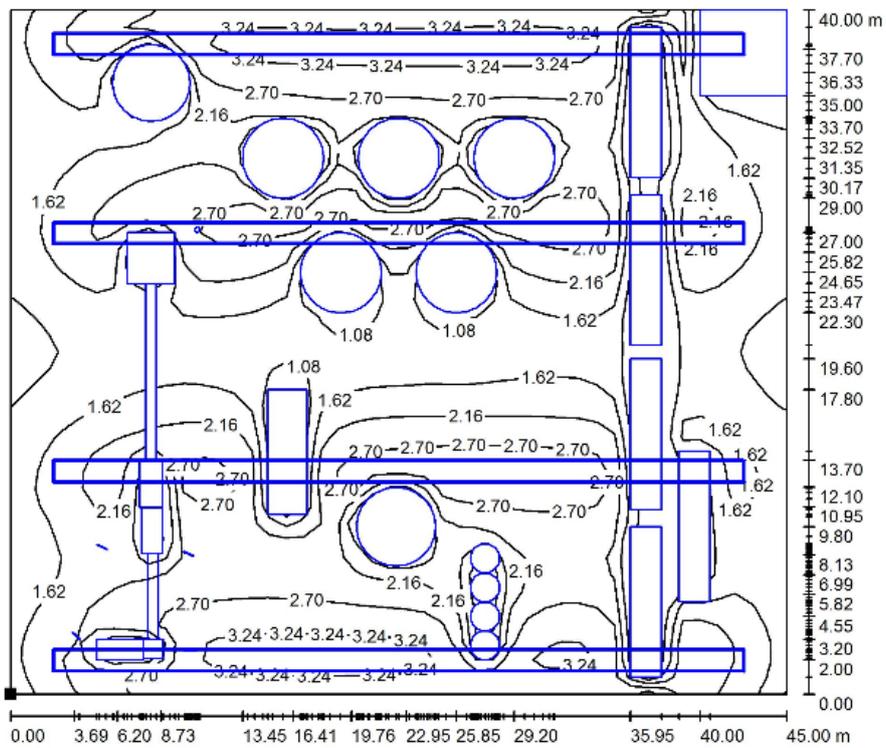
**Imagen 41: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de junio a las 12:00.**



**Imagen 42: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de marzo a las 9:00.**



**Imagen 43: Isolneas (E) de la propuesta modificada el 21 de marzo a las 12:00.**



**Imagen 44: Isolneas (D) de la propuesta modificada.**

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	53	17	84	0.328	2.16
Junio	21	12:00	397	130	630	0.328	2.16
Marzo	21	9:00	169	56	269	0.328	2.16
		12:00	340	112	541	0.328	2.16

**Tabla 15: Resultados de la propuesta mejorada.**

Como se puede observar en los resultados obtenidos, esta nueva propuesta tiene un nivel de iluminación media un poco por debajo de la propuesta original, aunque sigue cumpliendo igual que en esa propuesta tres de los cuatro supuestos. A cambio de esta bajada despreciable del nivel de iluminación medio todos los demás valores mejoran haciendo de esta una mejor propuesta.

La uniformidad de la iluminación mejora considerablemente situándose ahora por encima de los 0.3 puntos requeridos y cumpliendo de nuevo ese estado límite.

El nivel de iluminación mínima mejora en todos los casos y notablemente, por ejemplo, el 21 de marzo a las 12:00 pasa de 88 lux a 112 superando la barrera de los 100 y aumentando las probabilidades de que la iluminación sea suficiente.

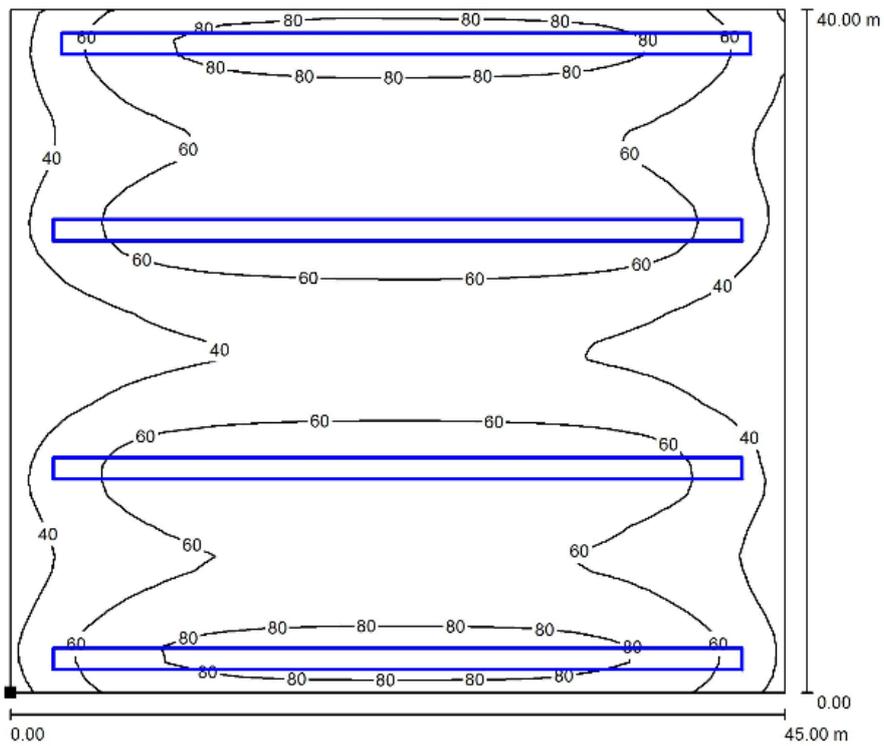
El nivel de iluminación máximo también sube, pero sin pasarse de los 2000 lux, lo que lo mantiene dentro de los límites en los cuatro casos.

Por último, el factor luz de día se acerca todavía más al 2% buscado mejorando ligeramente el de la propuesta original.

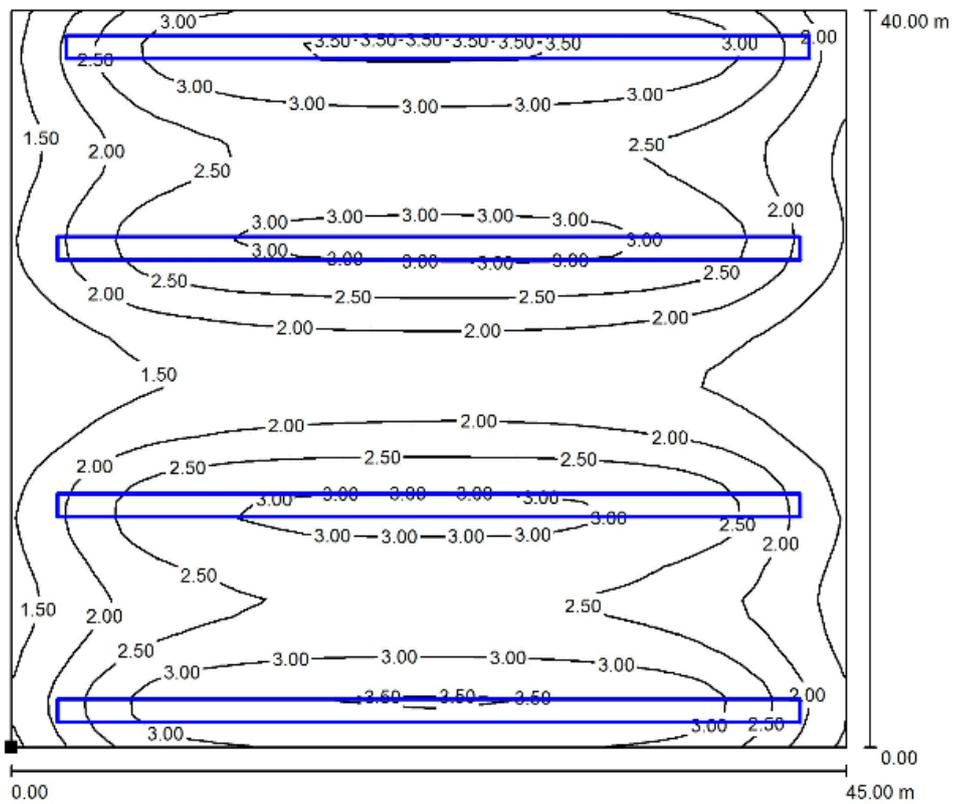
En conclusión, está simple mejora mediante la cual no ha sido necesario ampliar los metros cuadrados de lucernarios cenitales si no simplemente desplazarlos se mejora a nivel general casi la totalidad de los parámetros haciendo más viable esta propuesta.

También se busca que el sistema de iluminación sea lo más flexible posible, es decir, que para otro tipo de distribución este sistema también sea funcional con los mejores resultados que se puedan obtener, para ello se debe comprobar que esta nueva distribución mejora a la anterior cuando la nave industrial está vacía.

Estos resultados se comprobarán mediante el análisis de resultados para ese caso.



**Imagen 45: Isolineas (E) de la propuesta modificada vacía para el 21 de diciembre a las 9:00.**



**Imagen 46: Isolineas (D) de la propuesta modificada vacía.**

Como se aprecia en estas isocintas, en comparación con la propuesta original sucede lo mismo que en el caso anterior, el nivel de iluminación medio disminuye ligeramente pero el resto de parámetros mejoran.

Estos resultados son extrapolables para el resto de los casos supuestos para las diferentes horas y días del año, obteniéndose los siguientes resultados:

Mes	Día	Hora	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad	Factor luz de día (%)
Diciembre	21	9:00	60	26	87	0.43	2.44
Junio	21	12:00	450	193	655	0.43	2.44
Marzo	21	9:00	192	83	280	0.43	2.44
		12:00	386	166	562	0.43	2.44

*Tabla 15: Resultados de la propuesta mejorada vacía.*

En el caso del nivel de iluminación media a pesar de la bajada se siguen cumpliendo con los requisitos mínimos en tres de los cuatro casos igual que en la propuesta original.

Para el nivel de iluminación máxima también se registra un aumento pero que se mantiene dentro de los niveles aceptables.

Con estos resultados se puede concluir que estas modificaciones mejoran la propuesta original, con lo que no es solo una solución adaptada a este caso en concreto, si no que en principio para cualquier variación del proceso productivo será una mejor alternativa que la anterior.

### **9.3 Estudio de la iluminación por zonas.**

Con la propuesta ya completamente definida se procede a analizar los niveles de iluminación que se dan en las diferentes zonas de la nave para observar si se alcanzan los requerimientos en los distintos casos analizados.

Para realizar este análisis se utilizarán los datos reflejados en DIALux donde se muestra el nivel de iluminación en cada punto de la nave industrial.

- 21 de diciembre a las 9:00.

<b>Zonas</b>	<b>E<sub>requerida</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>m</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>min</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>max</sub> (lux)</b>	<b>Uniformidad</b>
Trituración primaria	150	66.71	56	77	0.84
Trituración secundaria	150	53.25	33	68	0.62
Molienda	150	49.94	30	66	0.6
Hidrociclón	150	65	62	68	0.95
Tanque sumidero	150	53.85	32	80	0.59
Lixiviación	150	57.27	24	74	0.42
Filtro prensa	150	41.2	20	55	0.485
Tanque de almacenamiento	150	56.54	43	72	0.76
Celdas de flotación iónica	150	52.35	32	79	0.61
Celdas de electrodeposición	150	59.6	26	69	0.436

*Tabla 16: Iluminación por zonas el 21 de diciembre a las 9:00.*

Los resultados muestran que no se llega a los requisitos de iluminación en ninguna de las zonas en este horario, sin embargo, la uniformidad dentro de cada una de las zonas se mantiene con valores altos.

En situaciones adversas es necesario que haya un sistema de iluminación artificial repartido por toda la nave para suplir las carencias del sistema de luz natural y, así, permitir a los trabajadores operar en condiciones aceptables.

Se tienen valores de iluminación bajos por lo que en ninguna de las diferentes zonas se excede el límite de 2000 lux.

- **21 de diciembre a las 10:00.**

En este caso se va a analizar una situación horaria adicional en invierno a las 10:00 para comprobar cómo se comporta el sistema de iluminación natural con el paso de las horas, y verificar si solo durante la hora de menos luz el sistema no es suficiente.

<b>Zonas</b>	<b>E<sub>requerida</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>m</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>min</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>max</sub> (lux)</b>	<b>Uniformidad</b>
Trituración primaria	150	150.43	126	174	0.84
Trituración secundaria	150	120.2	75	153	0.62
Molienda	150	112.5	67	149	0.6
Hidrociclón	150	146	139	154	0.95
Tanque sumidero	150	121.7	71	179	0.58
Lixiviación	150	123.2	63	165	0.511
Filtro prensa	150	92.96	46	125	0.495
Tanque de almacenamiento	150	127.09	97	161	0.76
Celdas de flotación iónica	150	117.85	72	177	0.61
Celdas de electrodeposición	150	134.6	62	162	0.46

***Tabla 17: Iluminación por zonas el 21 de diciembre a las 10:00.***

En este análisis se observa que, a pesar de no llegar a la iluminación media requerida por cada zona, con la excepción de la trituración primaria, los valores mejoran sustancialmente en el paso de una hora respecto a las 9:00. La uniformidad se mantiene dentro de buenos valores en todos los casos.

La iluminación media general de la nave en esta situación tiene un valor de 119 lux superando el nivel general requerido de 114.32 lux y tiene una uniformidad de 0.328, por lo que a nivel general el sistema de iluminación ya cumple los parámetros requeridos.

La iluminación máxima está por debajo del límite de 2000 lux.

Como conclusión del análisis de esta situación horaria se concluye, que se puede asumir que los días de menos luz del año, a partir de las 11:00 horas de la mañana el sistema de iluminación natural ya será suficiente para iluminar la planta y las diferentes zonas para las actividades desarrolladas en la misma.

- 21 de junio a las 12:00.

<b>Zonas</b>	<b>E<sub>requerida</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>m</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>min</sub> (lux)</b>	<b>E<sub>max</sub> (lux)</b>	<b>Uniformidad</b>
Trituración primaria	150	500.5	418	580	0.835
Trituración secundaria	150	399.7	248	509	0.62
Molienda	150	374.19	223	496	0.596
Hidrociclón	150	487	464	501	0.952
Tanque sumidero	150	405	238	597	0.587
Lixiviación	150	424.13	211	547	0.5
Filtro prensa	150	293	152	415	0.52
Tanque de almacenamiento	150	423.14	324	537	0.766
Celdas de flotación iónica	150	392.35	240	591	0.61
Celdas de electrodeposición	150	441.37	192	515	0.435

*Tabla 18: Iluminación por zonas el 21 de junio a las 12:00.*

Para este supuesto la iluminación media de todas las zonas es superior a los 150 lux requeridos, por lo que en horas de máxima luz el sistema de iluminación natural funciona a la perfección bastando únicamente este sistema para iluminar la nave.

La uniformidad en todos los casos es muy alta y superior a 0.3 por lo que está dentro de los parámetros establecidos y es válida.

La iluminación máxima también tiene valores significativamente altos pero que en ningún caso excede los 2000 lux por lo que de nuevo se tratan de valores válidos.

- 21 de marzo a las 9:00.

Zonas	$E_{requerida}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad
Trituración primaria	150	213.5	178	247	0.834
Trituración secundaria	150	170.55	111	217	0.65
Molienda	150	159.7	95	212	0.595
Hidrociclón	150	207.5	198	219	0.954
Tanque sumidero	150	172.75	101	249	0.585
Lixiviación	150	174.9	81	232	0.614
Filtro prensa	150	131.92	65	177	0.493
Tanque de almacenamiento	150	180.59	138	229	0.764
Celdas de flotación iónica	150	167.45	103	252	0.615
Celdas de electrodeposición	150	191.16	80	228	0.42

*Tabla 19: Iluminación por zonas el 21 de marzo a las 9:00.*

En condiciones similares a lo que sería un día normal en horas tempranas la iluminación media de las diferentes zonas de las actividades a desarrollar en la nave industrial es siempre superior al valor requerido de 150, con la excepción de la zona correspondiente al filtro prensa.

El valor mínimo de iluminación solo supera los 150 lux en el hidrociclón y en la trituración primaria, siendo recomendable iluminar parte de esas zonas con iluminación artificial.

El filtro prensa es la única zona que necesita de iluminación artificial para alcanzar los niveles requeridos, no será necesario un alto nivel de iluminación artificial pues el valor medio es de 131.92 y está bastante cerca de los 150 lux necesarios.

La uniformidad de todas las áreas se encuentra por encima de los 0.3 puntos establecidos siendo bastante superior en la mayoría de los casos por lo que son resultados más que válidos.

Por último, en todo momento la iluminación máxima se encuentra por debajo de 2000 lux, por lo que no se incumple este límite.

- 21 de marzo a las 12:00.

Zonas	$E_{requerida}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	Uniformidad
Trituración primaria	150	429.36	359	497	0.836
Trituración secundaria	150	342.95	213	436	0.621
Molienda	150	321.125	192	426	0.598
Hidrociclón	150	417.5	398	441	0.953
Tanque sumidero	150	347.4	204	512	0.587
Lixiviación	150	342.03	163	470	0.477
Filtro prensa	150	265.25	130	356	0.49
Tanque de almacenamiento	150	362.954	278	460	0.766
Celdas de flotación iónica	150	336.45	206	507	0.612
Celdas de electrodeposición	150	384.3	165	462	0.43

*Tabla 20: Iluminación por zonas el 21 de marzo a las 12:00.*

Para este supuesto, asimilable a condiciones de trabajo en días normales con horas del día donde ya hay más iluminación, todas las diferentes zonas de trabajo de la instalación tienen un nivel de iluminación que supera en gran medida el nivel requerido de 150 lux.

Respecto a los niveles mínimos de iluminación casi todas las zonas tienen niveles de iluminación superiores a 150 lux en toda su zona de trabajo, siendo de nuevo la zona del filtro prensa la que tiene algún punto con una iluminación por debajo de este valor, valor que no está muy por debajo del deseado por lo que se puede despreciar sobre todo debido a que solo se da en un punto en concreto en un lateral de la máquina.

Todos los niveles de iluminación máximos no superan el umbral de los 2000 lux siendo de nuevo valores válidos.

La uniformidad de las diferentes zonas tiene buenos valores cumpliendo así el estado límite correspondiente situado en 0.3.

En conclusión, en días normales en horas donde el sol empieza a iluminar con intensidad no será necesario tener un sistema de iluminación artificial complementario.

## **9.4 Conclusiones de los resultados**

A raíz de los resultados observados en el análisis de la propuesta se puede concluir que el sistema de iluminación natural de la nave industrial funcionará sin problemas en las horas de más luz del día haciendo de la iluminación artificial solo un complemento que, en las primeras horas del día para determinadas zonas de la nave o para la totalidad de la nave en los días de menos luz o condiciones meteorológicas más adversas, será necesario para que se desarrollen con total normalidad las diferentes actividades del proceso productivo proporcionando a los trabajadores unas condiciones mínimas de seguridad y bienestar.

En ningún momento a lo largo del año se superan los límites máximos de iluminación permaneciendo por debajo de los 2000 lux por un margen importante en todas las zonas de la nave industrial.

La uniformidad a lo largo de la planta se mantiene tanto a nivel general como en las diferentes zonas donde se desarrollan las actividades por encima del límite buscado de 0.3 por lo que de nuevo el sistema de iluminación natural es funcional en este aspecto.

El factor luz de día medio alcanzado en la planta es un buen valor acercándose al valor ideal del 2%, aunque no se alcanza este valor los resultados son más que válidos.

En cuanto a los deslumbramientos si bien hay bastantes puntos de la nave donde existe riesgo de deslumbramiento, este riesgo no será tal debido a que, en la práctica totalidad de las zonas de trabajo, los propios equipos actúan como pantalla debido a su gran altura protegiendo a los trabajadores que los están utilizando. Para el resto de zonas como podrían ser las zonas de circulación dependiendo de donde estén situadas y hacia donde se orienten los trabajadores, los equipos también pueden actuar como pantalla, además el material del que están hechos los lucernarios, el policarbonato, es un material que reduce en gran medida el riesgo de deslumbramiento por ello es que los deslumbramientos no se conciben como un problema que invalide el sistema de iluminación natural propuesto.

## **10. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL**

Para demostrar la validez del sistema de iluminación natural no basta solo con analizar su comportamiento y comprobar que cumple los objetivos que se buscan, además se debe demostrar que supone una mejora respecto de la utilización de un sistema de iluminación artificial.

A continuación, se realizará un análisis sobre el sistema de iluminación artificial utilizado en la planta de manera previa al sistema desarrollado para confirmar si existe una mejora respecto del nuevo sistema planteado.

En base a determinados parámetros vistos anteriormente se determinará el número de luminarias necesarias para llegar a los objetivos de iluminación. Aquellos parámetros a tener en cuenta son:

- Iluminación media requerida.
- Superficie de la nave a iluminar.
- El factor de contaminación de la nave.
- Los diferentes grados de reflexión de las superficies de la nave.

Teniendo en cuenta estos parámetros se estima que sean necesarias unas 20 luminarias del modelo SDK 102-400 GESCHLOSSEN, la potencia individual de cada una de estas luminarias empleadas para iluminar la nave es de 420 W.

### **10.1 Eficiencia energética**

Se van a estudiar tres casos diferentes para la eficiencia energética en función del porcentaje de la iluminación que se consigue mediante luz artificial. Estos casos son los siguientes:

- Iluminación artificial al 100%
- Iluminación artificial al 30%
- Iluminación artificial al 10%

Para ello es necesario calcular el valor de eficiencia energética de la instalación o VEEI cuya ecuación correspondiente es la siguiente:

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

*Ecuación 12: Cálculo del VEEI.*

El significado de los términos es el definido a continuación:

- P: Potencia de la lámpara y del equipo auxiliar (W).
- $E_m$ : Iluminación media de la planta (lux).
- S: Superficie de la nave industrial ( $m^2$ ).

Este procedimiento está establecido en el código técnico de edificación donde también se estipulan los valores límite del VEEI en función de la zona estudiada y su actividad.

El VEEI también se define como la potencia que se requiere para iluminar con una intensidad de 100 lux una zona correspondiente a un metro cuadrado. Cuanto menor sea el valor del VEEI más eficiente energéticamente será el sistema.

Para el cálculo del VEEI no solo se ha de tener en cuenta los parámetros establecidos anteriormente, sino que además debe de tenerse en cuenta el número de luminarias existentes, 20 de 420 W en el caso de que la iluminación sea totalmente artificial.

#### 10.1.1 Iluminación artificial al 100%

Mediante la ecuación 12, utilizando los valores del nivel de iluminación medio, la superficie a iluminar, la potencia de las luminarias, así como su número total (20) se obtiene el valor del VEEI:

Superficie ( $m^2$ )	Potencia (W)	Número de luminarias	$E_m$ (lux)	VEEI ( $\frac{W/m^2}{100 \text{ lux}}$ )
1800	420	20	114.32	4.082

*Tabla 21: VEEI para iluminación artificial al 100%.*

#### 10.1.2 Iluminación artificial al 30%

Para realizar este cálculo se emplea la misma fórmula que en el apartado anterior manteniendo iguales todos los valores con la excepción de la potencia total (Potencia por número de luminarias), cuyo valor será el 30% del caso anterior.

El valor obtenido es el siguiente:

Superficie (m <sup>2</sup> )	Potencia (W)	Número de luminarias	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI ( $\frac{W/m^2}{100 lux}$ )
1800	420	6	114.32	1.224

*Tabla 22: VEEI para iluminación artificial al 30%.*

### 10.1.3 Iluminación artificial al 10%

Para este último caso se repite el procedimiento anterior, simplemente cambiando el número de luminarias por el correspondiente a un 10% de iluminación artificial.

El valor del VEEI correspondiente a este caso es el siguiente:

Superficie (m <sup>2</sup> )	Potencia (W)	Número de luminarias	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI ( $\frac{W/m^2}{100 lux}$ )
1800	420	2	114.32	0.408

*Tabla 23: VEEI para iluminación artificial al 10%.*

Al reducirse el número de luminarias necesarias y, por tanto, la potencia necesaria en la nave el valor del VEEI se va haciendo cada vez menor, lo que resulta en una mejora de la eficiencia energética en la planta.

Se demuestra así que la implementación de un sistema de iluminación natural, complementado con uno artificial como alternativa a uno puramente artificial, es un sistema eficiente y que proporciona un ahorro del gasto energético. Si se comparan los casos se observa que el sistema únicamente artificial tiene un VEEI cuatro veces mayor que el supuesto siguiente con mayor VEEI, demostrando así la gran eficiencia del sistema alternativo.

## 11. CONUSMO ENERGÉTICO EN LA NAVE INDUSTRIAL

Para realizar un análisis económico es necesario conocer los elementos de la planta que requieren de electricidad, así como la potencia que requieren. En función de la potencia necesaria se necesitará una tarifa contratada diferente y, por lo tanto, variaran los precios.

### 11.1 Elementos de la nave con gasto energético

- **Tamices**

Equipos utilizados para clasificar el mineral que llega como materia prima en función del tamaño que tienen. En esta nave hay dos tamices funcionando previamente de sus respectivas trituradoras.

- **Trituradora de mandíbulas**

Es un equipo empleado para reducir el tamaño de los minerales que llegan para ajustarlos a los requerimientos del proceso, solo hay una trituradora de este tipo.

- **Trituradora de cono**

Realiza la misma función que la trituradora anterior, pero en una etapa diferente del proceso, también hay una sola trituradora de cono.

- **Molino de bolas**

Maquina empleada para reducir el tamaño de las partículas en gran medida tras la trituración. Solo hay un molino.

- **Tanque de lixiviación**

Tanque donde se produce el lixiviado de la pulpa que circula por el sistema productivo, en toda la nave industrial hay cinco de este tipo.

- **Filtro prensa**

Empleado para deshidratar la pulpa tras el lixiviado, la nave industrial consta de un filtro prensa.

- **Celda de flotación**

Se carga en la celda la solución a flotar, se añaden los reactivos de flotación y se abre el suministro de aire. La espuma de concentrado que se ha formado en la superficie del líquido se retira una vez ha finalizado el proceso, el resto se reutiliza para el lixiviado. Hay cuatro celdas de flotación en la nave industrial.

- **Celda de electrodeposición**

El concentrado de la flotación llega a estas celdas donde mediante la aplicación de una corriente el oro metálico se deposita sobre la superficie de los cátodos de acero inoxidable. Este proceso tiene lugar en las 5 celdas que hay en la planta.

- **Horno de fundición**

El último equipo con consumo energético de la nave, se encarga de fundir el oro junto con el crisol a 1200°C para la obtención de los lingotes. Hay un único horno en la nave.

- **Cintas transportadoras**

Conectan los tamices y trituradoras para transportar el mineral entre los equipos siendo dos cintas transportadoras las que hay en la nave.

### 11.2 Potencia consumida

A continuación, se va a indicar la potencia consumida por cada uno de los equipos listados anteriormente.

<b>Equipos</b>	<b>Potencia por unidad (kW)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (kW)</b>
Tamices	6.71	2	13.42
Trituradora de mandíbulas	15	1	15
Trituradora de cono	30	1	30
Molino de bolas	320	1	320
Tanque de lixiviación	3.66	5	18.3
Filtro prensa	22	1	22
Celda de flotación	11	4	44
Celda de electrodeposición	1.99	5	9.95
Horno de fundición	4.5	1	4.5
Luminarias	0.42	20	8.4
Cinta transportadora	15	2	30

*Tabla 24: Potencias de los equipos.*

<b>Potencia total (kW)</b>	515.57
----------------------------	--------

*Tabla 25: Potencia total consumida.*

## 12. ANÁLISIS ECONÓMICO

Finalmente, y con el análisis del consumo energético realizado se procede a hacer un estudio de la rentabilidad económica del proyecto. Para ello se estudiarán las diferentes facturas dependiendo del sistema de iluminación y del porcentaje del mismo que corresponde a iluminación artificial o natural, así como los gastos de instalación del sistema de iluminación natural o el de mantenimiento de las luminarias.

### 12.1 Gasto energético

Con los datos del apartado anterior se tiene que la nave necesita una potencia contratada de 515.57 kW, esto junto a las características del proceso hace que la tarifa que se puede contratar sea la 6.1 TD. Esta tarifa consta de seis periodos diferentes repartidos en diferentes meses, días y horas del año en función de las temporadas establecidas, estos periodos se corresponden a P1, P2, P3, P4, P5 y P6. P1 es el equivalente al período de potencia punta cuando la electricidad es más cara, P6 es el período valle cuando es más barato y el resto se corresponden con el periodo de potencia llano.

Existen dos términos principales, el término de potencia (Tp) el cual está referido a los kilovatios contratados, y el término de energía (Te) el cual tiene que ver con los kilovatios por hora que se consumen.

A continuación, se muestran las tarifas y distribución de los períodos a lo largo del año:

PEAJES CNCM (BOE 4565 nº70 2021)	Grupo tarifario	Término de potencia (€/kW año)						Término de energía (€/kWh)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	2.0 TD	23,469833						0,961130	0,027378	0,020624	0,000714			
	3.0 TD	10,646876	9,302956	3,751315	2,852114	1,145308	1,145308	0,018489	0,015664	0,008523	0,005624	0,000340	0,000340	
	6.1 TD	21,245192	21,245192	11,530748	8,716048	0,560259	0,560259	0,018838	0,015479	0,009110	0,005782	0,000328	0,000328	
	6.2 TD	15,272489	15,272489	7,484607	6,676931	0,459003	0,459003	0,010365	0,008432	0,004925	0,003143	0,000180	0,000180	
	6.3 TD	11,548232	11,548232	6,320362	3,694683	0,708338	0,708338	0,009646	0,008076	0,004937	0,002290	0,000264	0,000264	
	6.4 TD	12,051156	9,236539	4,442575	3,369751	0,628452	0,628452	0,008775	0,006983	0,004031	0,002996	0,000175	0,000175	

CARGOS MINISTERIO (TED 371/2021)	Grupo tarifario	Término de potencia (€/kW año)						Término de energía (€/kWh)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
	2.0 TD	7,202827						0,463229	0,105740	0,021148	0,005287			
	3.0 TD	8,950109	4,478963	3,254069	3,254069	3,254069	1,491685	0,058947	0,043646	0,023579	0,011789	0,007557	0,004716	
	6.1 TD	9,290603	4,649513	3,378401	3,378401	3,378401	1,548434	0,032053	0,023743	0,012821	0,006411	0,004109	0,002564	
	6.2 TD	5,455758	2,730784	1,983912	1,983912	1,983912	0,909293	0,015039	0,011139	0,006016	0,003008	0,001928	0,001203	
	6.3 TD	4,368324	2,186024	1,588236	1,588236	1,588236	0,728054	0,012328	0,009132	0,004931	0,002466	0,001581	0,000986	
	6.4 TD	2,136839	1,069310	0,777032	0,777032	0,777032	0,356140	0,004683	0,003469	0,001873	0,000937	0,000600	0,000375	

Imagen 47: Precios de las tarifas el 1 de junio de 2021 (Iberdrola, 2020).

PENINSULA - 3.0TD y 6.xTD			Horas																							
			0-8h							8-9h	9-14h					14-18h				18-22h				22-24h		
Dias	Meses	Temporada	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Laborables	Enero		P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2
	Febrero	Alta	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2
	Marzo	Media alta	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P3	P3
	Abril	Baja	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5
	Mayo		P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5
	Junio	Media	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4
	Julio	Alta	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2
	Agosto	Media	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4
	Septiembre		P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P4	P4
	Octubre	Baja	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P4	P5	P5	P5	P5	P4	P4	P4	P4	P5	P5
	Noviembre	Media alta	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P3	P2	P2	P2	P2	P2	P3	P3	P3	P3	P2	P2	P2	P2	P3	P3
	Diciembre	Alta	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2
Fines de semana y festivos			P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6

**Imagen 48: Calendario de tarifas, distribución de períodos (Iberdrola, 2020).**

Con los datos de las tarifas, sumando ambos conceptos de peajes y cargos se tienen los siguientes precios:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Término de potencia (€/kW año)	30.535795	25.894705	14.909149	12.094449	3.93866	2.108693
Término de energía (€/kWh)	0.050891	0.039222	0.021931	0.012193	0.004437	0.002892

**Tabla 26: Precios totales de las tarifas.**

En cuanto a los periodos de actividad, teniendo en cuenta que la planta está funcionando todos los meses del año, todos los días a excepción de los fines de semana de 9:00 de la mañana hasta las 24:00, estas serán las horas de cada período:

Mes	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Enero	176	110	0	0	0	0
Febrero	160	100	0	0	0	0
Marzo	0	176	110	0	0	0
Abril	0	0	0	176	110	0
Mayo	0	0	0	176	110	0
Junio	0	0	176	110	0	0
Julio	176	110	0	0	0	0
Agosto	0	0	176	110	0	0
Septiembre	0	0	176	110	0	0
Octubre	0	0	0	176	110	0
Noviembre	0	176	110	0	0	0
Diciembre	176	110	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>688</b>	<b>782</b>	<b>748</b>	<b>698</b>	<b>330</b>	<b>0</b>

**Tabla 27: Horas al año de actividad por periodo.**

La factura correspondiente al gasto energético se calcula teniendo en cuenta los dos términos de potencia y energía, así como el impuesto sobre la electricidad y el IVA. La ecuación sería la siguiente:

$$Factura = Tp + Te + I + IVA$$

**Ecuación 13: Cálculo de la factura.**

Los distintos términos de esta ecuación se detallan a continuación:

- Término de potencia (Tp)

$$Tp = \sum_i Pt(kW) * Pi\left(\frac{\text{€}}{kW * \text{año}}\right) (\text{€})$$

**Ecuación 14: Cálculo del término de potencia.**

**Pt:** Potencia total necesaria para la instalación.

**Pi:** Precio relativo a cada periodo por kilovatio contratado.

**i:** Número de período.

- Término de energía (Te)

$$Te = \sum_i Pt(kW) * Pi\left(\frac{\text{€}}{kWh}\right) * h (\text{€})$$

**Ecuación 15: Cálculo del término de energía.**

**Pt:** Potencia total utilizada en cada período.

**Pi:** Precio del kilovatio hora.

**h:** Horas de uso de la energía.

**i:** Número de período.

- Impuesto sobre la electricidad (I)

$$I = (Tp + Te) * a (\text{€})$$

**Ecuación 16: Cálculo del impuesto sobre la luz.**

**Tp:** Término de potencia.

**Te:** Término de energía.

**a:** Valor del impuesto a aplicar, este impuesto tiene un valor de 5.1127% o 0.051127.

- IVA

$$IVA = (Tp + Te + I) * 0.21 (\text{€})$$

*Ecuación 17: Cálculo del IVA.*

**Tp:** Término de potencia

**Te:** Término de energía

**I:** Impuesto sobre la electricidad.

### 12.2 Iluminación 100% artificial

Número de luminarias	20
Consumo por luminaria (kW)	0.42
Consumo total de luminarias (kW)	8.4
Consumo de los equipos (kW)	507.17
Consumo total (kW)	515.57

*Tabla 28: Consumo de la nave con iluminación 100% artificial.*

Aplicando las ecuaciones anteriores:

Factores	Coste (€)
Término de potencia (€)	46133.95
Término de energía (€)	47465.39
Impuesto sobre la electricidad (€)	4785.45
IVA (€)	20660.8
Total (€)	119045.59

*Tabla 29: Factura energética para sistema de iluminación 100% artificial.*

Para realizar estos cálculos se ha supuesto que en todo momento la planta está a pleno rendimiento utilizando todas las instalaciones.

### 12.3 Iluminación 30% artificial

Número de luminarias	6
Consumo por luminaria (kW)	0.42
Consumo total de luminarias (kW)	2.52
Consumo de los equipos (kW)	507.17
Consumo total (kW)	509.69

*Tabla 30: Consumo de la nave con iluminación 30% artificial.*

Factores	Coste (€)
Término de potencia (€)	45607.8
Término de energía (€)	46924.06
Impuesto sobre la electricidad (€)	4730.88
IVA (€)	20425.17
Total (€)	117687.91

**Tabla 31: Factura energética para sistema de iluminación 30% artificial.**

#### 12.4 Iluminación 10% artificial

Número de luminarias	2
Consumo por luminaria (kW)	0.42
Consumo total de luminarias (kW)	0.84
Consumo de los equipos (kW)	507.17
Consumo total (kW)	508.01

**Tabla 32: Consumo de la nave con iluminación 10% artificial.**

Factores	Coste (€)
Término de potencia (€)	45457.47
Término de energía (€)	46769.39
Impuesto sobre la electricidad (€)	4715.28
IVA (€)	20357.85
Total (€)	117299.99

**Tabla 33: Factura energética para sistema de iluminación 10% artificial.**

## 12.5 Balance económico

Utilizando los presupuestos del anexo 1 así como los costes energéticos vistos anteriormente se va a obtener la diferencia de costes en función del tipo de sistema de iluminación empleado.

Tipo de iluminación	Gasto eléctrico anual (€)	Gasto en mantenimiento de luminarias anual (€)	Gasto en mantenimiento de lucernarios anual (€)	Total (€)	Ahorro (€)
100% artificial	119045.59	560.71	0	119606.3	-
30% artificial	117687.91	168.21	213.68	118069.8	1536.5
10% artificial	117299.99	56.07	213.68	117569.74	2036.56

*Tabla 34: Balance económico.*

Se observa que cuanto menos se depende de la luz artificial mayor es el ahorro que se obtiene ya que el gasto en el mantenimiento de los lucernarios es menor que el ahorro en el gasto eléctrico y de mantenimiento de las luminarias.

## 12.6 Rentabilidad

Para conocer la rentabilidad del proyecto, es necesario estudiar el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad) asociados a dicho proyecto teniendo en cuenta la inversión que se debe realizar, así como la vida útil que se espera del proyecto.

El VAN hace referencia al rendimiento actualizado de los flujos originados por la inversión en función de una determinada tasa de interés.

La vida útil se considera de unos 25 años con una inversión inicial de 23994.49 €, con estos datos el proyecto será rentable si para determinados intereses el valor del VAN es positivo. Por otro lado, el TIR indica a partir de qué porcentaje de interés el proyecto sería rentable.

Las formulas asociadas a él VAN y el TIR son las siguientes:

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

*Ecuación 18: Cálculo del VAN.*

- **I<sub>0</sub>**: Inversión inicial.
- **t**: Horizonte temporal.
- **F**: Flujo de caja (ahorro anual).
- **i**: Interés.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=0}^t \frac{F}{(1 + TIR)^t}$$

**Ecuación 19: Cálculo del TIR.**

- **I<sub>0</sub>**: Inversión inicial.
- **t**: Horizonte temporal.
- **F**: Flujo de caja (ahorro anual).
- **TIR**: Tasa Interna de Rentabilidad.

Sistema de iluminación	VAN interés al 1%	VAN interés al 2%	VAN interés al 3%	VAN interés al 4%	VAN interés al 5%	VAN interés al 6%
30% de iluminación artificial	11380.59	7539.8	4297.31	1545.34	-802.64	-2816.36
10% de iluminación artificial	22893.55	17802.76	13504.99	9857.37	6745.23	4076.14

**Tabla 35: Valores del VAN para los sistemas de iluminación.**

Sistema de iluminación	TIR
30% de iluminación artificial	4.64%
10% de iluminación artificial	7.88%

**Tabla 36: Valores del TIR para los sistemas de iluminación.**

A raíz de los resultados obtenidos en las tablas anteriores se observa que el sistema mixto del 10% de iluminación artificial es más rentable que el de 30%. Mientras que para que el primero sea rentable se necesitan unos intereses inferiores a 4.64%, el segundo sistema se puede permitir valores de intereses cercanos al doble. En definitiva, ambos sistemas son viables económicamente siempre que se mantengan los intereses dentro del valor establecido por el TIR, el sistema de 30% de iluminación natural tardaría 15.61 años en recuperar la inversión realizada mientras que el del 10% tardaría solo 11.78.

### 13. CONCLUSIONES

- Se ha demostrado la eficiencia de un sistema de iluminación natural frente a un sistema de iluminación puramente artificial. Este sistema es suficiente para iluminar por sí mismo la nave industrial alcanzando los niveles de iluminación media necesarios excepto en los casos más adversos.
- Debido a que en los momentos de menor luz el sistema de iluminación natural no ilumina lo suficiente es necesario combinarlo con un sistema de iluminación artificial, menor que el original pero que pueda complementar al sistema de iluminación natural y alcanzar así los valores de iluminación necesarios.
- De entre las propuestas se ha elegido una compuesta únicamente por lucernarios cenitales, y se ha demostrado así que este tipo de aberturas es más eficiente que los ventanales requiriendo menos metros cuadrados. Este tipo de aberturas también es mejor en lo relativo a los deslumbramientos, hay menos zonas posibles y el material de los lucernarios cenitales minimiza el riesgo de deslumbramiento.
- En ningún momento está previsto que se superen los 2000 lux en algún punto de la nave industrial, por lo que no supone un problema para la integridad de los trabajadores.
- Los valores de uniformidad y del factor luz de día están dentro de rangos más que aceptables, cumpliendo así estos estados límite y haciendo que la propuesta escogida destaque más.
- Este proyecto, teniendo en cuenta el valor de los intereses, es un proyecto rentable tanto en el caso del sistema con 10% de luz artificial como en el de 30% de luz artificial.
- Cuanto menor porcentaje de luz artificial se tiene, el sistema es más eficiente energéticamente, se obtiene un mayor ahorro anual debido a la reducción de costes, se permiten intereses mayores y se recupera la inversión antes.
- Si bien un sistema de iluminación con menor porcentaje de luz artificial tiene muchas ventajas, se ha de asegurar que la luz artificial que se tenga sea suficiente para complementar al sistema de iluminación natural cuando este lo requiera.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Santamarina Siurana, María Cristina (2021). Apuntes de Construcción y Arquitectura Industrial, Poliformat UPV.
- Normativa europea de iluminación interior UNE 12464.1 (2002). Poliformat UPV, asignatura de Construcción y Arquitectura Industrial.
- *IBERDROLA* (2020). Nueva estructura de tarifas de acceso y su facturación.
- Instituto Valenciano de la Edificación (2020). Bases de precios 2020.
- Gámez Rivera, Sebastián Antonio (2015). Diseño de una planta para recuperación de oro a partir de minerales sulfurados con tiosulfato de sodio como agente lixivante.

# **Documento: Presupuesto**

## 1.1 Presupuesto de instalación de los lucernarios

Para poder hacer un presupuesto teniendo en cuenta la mano de obra y equipos necesarios para instalar el sistema de iluminación natural se ha buscado la información de los precios en la base de datos del IVE a fecha de 2020.

La propuesta elegida consta de cuatro tragaluces con un área individual de 50 m<sup>2</sup> para sumar un total de 200 m<sup>2</sup> de tragaluces a instalar.

Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Subtotal (€)	Total (€)
<b>1.01</b>	<b>m2</b>	<b>Preparación de los huecos en la cubierta para la instalación de los lucernarios</b>				
MMAR.2babb	d	Plataforma elevadora articulada	0.01	164.8	1.65	
MOOM.8a	h	Oficial 1ª metal	0.25	18.83	4.71	
MOOM12a	h	Peón metal	0.25	14.99	3.75	
CD	%	Costes complementarios directos	0.02	10.11	0.20	
						<b>10.31</b>

*Tabla 37: Unidad de obra 1.01 para la instalación de lucernarios.*

Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Subtotal (€)	Total (€)
<b>1.02</b>	<b>m2</b>	<b>Instalación de los perfiles metálicos</b>				
MMAR.2babb	d	Plataforma elevadora articulada	0.01	164.8	1.65	
MOOM.8a	h	Oficial 1ª metal	0.25	18.83	4.71	
MOOM12a	h	Peón metal	0.25	14.99	3.75	
PQLW.1a	m	Perfil al universal c/goma-trap	1.05	8.37	8.79	
CD	%	Costes complementarios directos	0.02	18.9	0.38	
						<b>19.28</b>

*Tabla 38: Unidad de obra 1.02 para la instalación de los perfiles metálicos de los lucernarios.*

Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Subtotal (€)	Total (€)
<b>1.03</b>	<b>m2</b>	<b>Instalación del policarbonato celular</b>				
MMAR.2babb	d	Plataforma elevadora articulada	0.029	164.8	4.78	
MOOV.8a	h	Oficial 1ª vidrio	0.7	15.27	10.69	
PFPL.2aah	m2	PI PC celular inc 6mm	1.05	33.76	35.45	
PBUT12b	u	Tornillo autr6.5x70 acero inoxidable c/aran	4	0.44	1.76	
CD	%	Costes complementarios directos	0.02	52.68	1.05	
						<b>53.73</b>

*Tabla 39: Unidad de obra 1.03 para la instalación del policarbonato celular.*

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Ancho	Largo	Subtotal	Total
<b>1.01</b>	<b>m2</b>	<b>Preparación de los huecos en la cubierta para la instalación de los lucernarios</b>					
	m2	Lucernarios	4	1.25	40	<b>200</b>	<b>200</b>
<b>1.02</b>	<b>m2</b>	<b>Instalación de los perfiles metálicos</b>					
	m2	Lucernarios	4	1.25	40	<b>200</b>	<b>200</b>
<b>1.03</b>	<b>m2</b>	<b>Instalación del policarbonato celular</b>					
	m2	Lucernarios	4	1.25	40	<b>200</b>	<b>200</b>

*Tabla 40: Mediciones para la instalación de lucernarios.*

Conociendo el precio de las unidades de obra por metro cuadrado de tragaluz, así como los metros cuadrados necesarios de implementar para los tragaluces en cada una de las unidades de obra ya se puede calcular el presupuesto de instalación.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Subtotal (€)</b>	<b>Total (€)</b>
<b>1.01</b>	<b>Preparación de los huecos en la cubierta para la instalación de los lucernarios</b>	2062	
<b>1.02</b>	<b>Instalación de los perfiles metálicos</b>	3856	
<b>1.03</b>	<b>Instalación del policarbonato celular</b>	10746	
<b>Presupuesto de ejecución material</b>			<b>16664</b>

*Tabla 41: Presupuesto de ejecución material de instalación de lucernarios.*

A este valor del presupuesto de ejecución material también será necesario añadirle un 13% en concepto de gastos generales, así como un 6% en referencia a los beneficios industriales obteniendo así el PEC o Presupuesto de Ejecución de Contrata.

Por último, al PEC se le debe añadir un 21% de IVA para obtener finalmente el Presupuesto Base de Licitación.

<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>	16664
<b>Gastos generales (€)</b>	2166.32
<b>Beneficio industrial (€)</b>	999.84
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (€)</b>	19830.16
<b>IVA (€)</b>	4164.33
<b>Presupuesto base de licitación (€)</b>	23994.49

*Tabla 42: Presupuesto de instalación de lucernarios.*

## 1.2 Presupuesto de mantenimiento de los lucernarios

Debido al desgaste que sufren los lucernarios por el paso del tiempo y la actividad de la planta industrial es necesario que periódicamente se revisen y reparen o limpien para mantener su integridad y eficacia.

El presupuesto de mantenimiento se hará en base a que el mantenimiento de los lucernarios se realiza en ciclos de cinco años.

Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Subtotal (€)	Total (€)
<b>1.04</b>	<b>m2</b>	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>				
MMAR.1bbaa	d	Plataforma elevadora de tijera	0.05	57.68	2.88	
MOOV.8a	h	Oficial 1ª vidrio	0.05	15.27	0.76	
CD	%	Costes complementarios directos	0.02	3.64	0.073	
					<b>3.71</b>	

*Tabla 43: Unidad de obra para el mantenimiento de lucernarios.*

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Ancho	Largo	Subtotal	Total	
<b>1.04</b>	<b>m2</b>	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>						
	m2	Lucernarios	4	1.25	40	<b>200</b>	<b>200</b>	

*Tabla 44: Mediciones para el mantenimiento de lucernarios.*

<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>	742
<b>Gastos generales (€)</b>	96.46
<b>Beneficio industrial (€)</b>	44.52
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (€)</b>	882.98
<b>IVA (€)</b>	185.43
<b>Presupuesto base de licitación (€)</b>	1068.41

*Tabla 45: Presupuesto de mantenimiento de lucernarios.*

<b>Presupuesto de mantenimiento total</b>	1068.41
<b>Presupuesto de mantenimiento anual</b>	213.68

*Tabla 46: Presupuesto anual de mantenimiento de lucernarios.*

### 1.3 Presupuesto de mantenimiento de luminarias

Las luminarias necesarias tanto en el sistema de iluminación mixto como en el de iluminación artificial tienen un determinado tiempo de vida útil, pasado este tiempo (o antes) dejarán de funcionar y se tendrán que renovar.

Para iluminar la nave en un sistema de iluminación exclusivamente artificial son necesarias 20 luminarias, estas luminarias tienen una vida útil de 12000 horas, las correspondientes u na lámpara de sodio de alta presión de buena calidad. Al año se trabajan 3246 horas, lo que resulta en una vida útil de 3.7 años.

Código	Ud	Descripción	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Subtotal (€)	Total (€)
<b>1.05</b>	<b>ud</b>	<b>Sustitución de luminarias</b>				
MMAR.1bbaa	d	Plataforma elevadora de tijera	0.021	57.68	1.21	
	Ud	Luminaria	1	60	60	
MOOE.8a	h	Oficial 1ª electricidad	0.5	18.83	9.42	
CD	%	Costes complementarios directos	0.02	70.63	1.41	
						<b>72.04</b>

*Tabla 47: Unidad de obra para el mantenimiento de luminarias.*

#### 1.3.1 Presupuesto de mantenimiento para el 100% de luminarias

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Ancho	Largo	Subtotal	Total	
<b>1.05</b>	<b>ud</b>	<b>Mantenimiento de 100% de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	20			<b>20</b>	<b>20</b>	

*Tabla 48: Mediciones para el mantenimiento de 100% de luminarias.*

<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>	1440.8
<b>Gastos generales (€)</b>	187.30
<b>Beneficio industrial (€)</b>	86.45
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (€)</b>	1714.55
<b>IVA (€)</b>	360.06
<b>Presupuesto base de licitación (€)</b>	2074.61

*Tabla 49: Presupuesto de mantenimiento de 100% de luminarias.*

<b>Presupuesto de mantenimiento total (3.7 años)</b>	2074.61
<b>Presupuesto de mantenimiento anual</b>	560.71

*Tabla 50: Presupuesto anual de mantenimiento del 100% de luminarias.*

### 1.3.2 Presupuesto de mantenimiento para el 30% de luminarias

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Ancho	Largo	Subtotal	Total	
<b>1.05</b>	ud	<b>Mantenimiento de 30% de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	6			<b>6</b>	<b>6</b>	

*Tabla 51: Mediciones para el mantenimiento de 30% de luminarias.*

<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>	432.24
<b>Gastos generales (€)</b>	56.19
<b>Beneficio industrial (€)</b>	25.93
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (€)</b>	514.36
<b>IVA (€)</b>	108.02
<b>Presupuesto base de licitación (€)</b>	622.38

*Tabla 52: Presupuesto de mantenimiento de 30% de luminarias.*

<b>Presupuesto de mantenimiento total (3.7 años)</b>	622.38
<b>Presupuesto de mantenimiento anual</b>	168.21

*Tabla 53: Presupuesto anual de mantenimiento del 30% de luminarias.*

### 1.3.3 Presupuesto de mantenimiento para el 10% de luminarias

Código	Ud	Descripción	Cantidad	Ancho	Largo	Subtotal	Total	
<b>1.05</b>	ud	<b>Mantenimiento de 10% de luminarias</b>						
	ud	Luminarias	2			<b>2</b>	<b>2</b>	

*Tabla 54: Mediciones para el mantenimiento de 10% de luminarias.*

<b>Presupuesto de ejecución material (€)</b>	144.08
<b>Gastos generales (€)</b>	18.73
<b>Beneficio industrial (€)</b>	8.64
<b>Presupuesto de ejecución por contrata (€)</b>	171.45
<b>IVA (€)</b>	36
<b>Presupuesto base de licitación (€)</b>	207.45

*Tabla 55: Presupuesto de mantenimiento de 10% de luminarias.*

<b>Presupuesto de mantenimiento total (3.7 años)</b>	207.45
<b>Presupuesto de mantenimiento anual</b>	56.07

*Tabla 56: Presupuesto anual de mantenimiento del 10% de luminarias.*