



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **PRÓLOGO**

Mi interés por la Construcción industrial nace a principios del curso 2016/17 con el inicio de las clases de Construcción y Arquitectura industrial cursada en la mención de Diseño y Seguridad Industrial. Como estudiante del Grado en Ingeniería Química el campo relativo a la construcción era desconocido para mí por ser una asignatura completamente distinta a las cursadas en años anteriores, no obstante, durante el curso mi interés por la asignatura fue a más concluyendo con la realización del presente Trabajo.

El desarrollo del proyecto me ha permitido mejorar mis aptitudes en el trabajo con normativa y en el manejo de softwares de CAD e iluminación. También me ha permitido desarrollar conocimientos relativos a la rentabilidad de proyectos que ya despertaban interés en mí.

Para finalizar, mostrar mi más sincero agradecimiento a las personas que me han acompañado en los últimos años. En primer lugar, a M<sup>a</sup> Cristina Santamarina, por la motivación que ha supuesto para mi cursar su asignatura, a mis amigos y a Raquel. Finalmente, a mi familia, gracias padres por todo el sacrificio que hacéis por mí.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **RESUMEN**

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado es el diseño y simulación de un sistema de iluminación natural de una planta industrial dedicada al diseño y fabricación de sistemas de vapor. Dicha planta industrial se encuentra ubicada en la localidad de Torrent, provincia de Valencia.

Primero se hará una breve descripción del vapor, y sus usos en la industria. Posteriormente se analizarán los tipos de productos desarrollados en la empresa en cuestión y su implicación en el proceso productivo del cartón corrugado.

Seguidamente se describen los sistemas de iluminación existentes con la finalidad de diseñar uno.

A continuación, se realizará una modelación de la planta para luego generar varias propuestas de ubicación y tamaño de aberturas con las que se obtendrán distintas simulaciones del nivel de iluminación interior, todo ello con el software específico DIALux.

Finalmente, se seleccionará una de las propuestas diseñadas y se hará un estudio de la viabilidad y rentabilidad del proyecto en función del ahorro que generé la implementación del sistema de iluminación seleccionado.

**Palabras Clave:** sistema de iluminación natural, artificial y mixto, eficiencia energética.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **RESUM**

L'objectiu del present Treball Final de Grau és el disseny i simulació d'un sistema d'il·luminació natural d'una planta industrial dedicada al disseny i fabricació de sistemes de vapor. Aquesta planta industrial es troba situada en la localitat de Torrent, província de València.

Primer es farà una breu descripció del vapor, i el seus usos en la indústria. Posteriorment s'analitzaran el tipus de productes desenvolupats en l'empresa en qüestió y la seua implicació en el procés productiu del cartó corrugado.

Seguidament es descriuen els sistemes d'il·luminació existents amb la finalitat de dissenyar un. A continuació, es realitzarà una \*modelación de la planta per a després generar diverses propostes d'ubicació i grandària d'obertures amb les quals s'obtidran diferents simulacions del nivell d'il·luminació interior, tot açò amb el programari específic DIALux.

Finalment, se seleccionarà una de les propostes dissenyades i es farà un estudi de la viabilitat i rendibilitat del projecte en funció de l'estalvi que vaig generar la implementació del sistema d'il·luminació seleccionat

**Paraules Clau:** sistema d'il·luminació natural, artificial i mixt, eficiència energètica.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **ABSTRACT**

The aim of this final assessment is the design and simulation of a natural lighting system of an industrial plant dedicated to the design and manufacture of steam systems. This industrial plant is located in the town of Torrent, province of Valencia.

Firstly, the steam and its uses in the industry will be described. Subsequently, the types of products developed in the company in question and their involvement in the corrugated board production process will be analyzed.

To continue, the existing lighting systems are described in order to design one.

Later on, a modeling of the plant will be carried out to elaborate several proposals of location and size of openings with which different simulations of the level of interior lighting will be obtained, helped by the DIALux software.

Finally, one of the proposals will be selected and a study of the feasibility and profitability of the project will be done, based on the savings generated by the implementation of the selected lighting system.

**Key words:** natural, artificial and mixed lighting system, energy efficiency.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

# MEMORIA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **MEMORIA**

### **ÍNDICE**

1.	OBJETIVO .....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	2
2.1.	Fundamentos del Vapor .....	2
2.2.	Introducción a la recuperación de condensados .....	2
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
4.	BAVIERA STEAM SYSTEMS S.L .....	5
4.1.	Oferta de Baviera Steam Systems S.L .....	5
4.2.	Organigrama y descripción del proceso realizado en las instalaciones.....	7
5.	ILUMINACIÓN .....	10
5.1.	Tipos de iluminación .....	10
5.1.1.	Iluminación artificial.....	11
5.1.2.	Iluminación natural .....	11
5.2.	Requerimientos de la planta .....	13
5.3.	Métodos de cálculo.....	13
5.3.1.	Método analítico .....	13
5.3.2.	Situación de aberturas .....	16
5.3.3.	Eficiencia energética .....	17
6.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	18
6.1.	Establecimiento de los requerimientos de la planta .....	19
6.2.	Estimación de superficie teórica de aberturas.....	22
6.3.	Propuestas de sistemas de iluminación natural .....	23
6.3.1.	Parámetros generales a introducir en DIALux .....	24
6.3.2.	Propuesta 1 .....	25
6.3.3.	Propuesta 2 .....	26
6.3.4.	Propuesta 3 .....	27
6.3.5.	Propuesta 4 .....	28

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

---

6.4.	Resultados de las simulaciones.....	28
6.4.1.	Resultados de la propuesta 1.....	29
6.4.2.	Resultados de la propuesta 2.....	33
6.4.3.	Resultados de la propuesta 3.....	37
6.4.4.	Resultados de la propuesta 4.....	39
6.5.	Selección de la propuesta más adecuada .....	42
6.5.1.	Desarrollo de la propuesta seleccionada .....	47
6.6.	Iluminación artificial.....	51
6.7.	Eficiencia energética con iluminación natural .....	52
7.	análisis económico .....	53
7.1.	Presupuesto .....	53
7.2.	Balance económico .....	53
7.2.1.	Iluminación 100% artificial (situación actual) .....	56
7.2.1.	30% iluminación artificial y 70% iluminación natural .....	57
7.2.1.	10% iluminación artificial y 90% iluminación natural .....	58
7.3.	Rentabilidad del proyecto .....	59
8.	CONCLUSIONES .....	63
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	64

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1:	Número de puntos mínimos dependiendo del parámetro k .....	18
Tabla 2:	Requerimientos luminotécnicos en cada zona de la edificación .....	22
Tabla 3:	Valores para obtener la superficie de aberturas.....	23
Tabla 4:	Superficie mínima de aberturas .....	23
Tabla 5:	Datos del local .....	24
Tabla 6:	Factores de reflexión del local.....	24
Tabla 7:	Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 1.....	31
Tabla 8:	Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 1 .....	31
Tabla 9:	Distancia a aberturas.....	33

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Tabla 10: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 2.....	35
Tabla 11: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 2.....	35
Tabla 12: Distancia a aperturas.....	37
Tabla 13: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 3.....	39
Tabla 14: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 3.....	39
Tabla 15: Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 4.....	41
Tabla 16: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 4.....	41
Tabla 17: Valores óptimos de los parámetros de iluminación.....	42
Tabla 18: Resumen resultados Propuesta 1.....	43
Tabla 19: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 1.....	43
Tabla 20: Resumen resultados Propuesta 2.....	44
Tabla 21: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 2.....	44
Tabla 22: Resumen resultados Propuesta 3.....	45
Tabla 23: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 3.....	45
Tabla 24: Resumen resultados Propuesta 4.....	46
Tabla 25: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 4.....	46
Tabla 26: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 4.....	49
Tabla 27: Resultados DIALux light.....	51
Tabla 28: Eficiencia energética de la instalación.....	52
Tabla 29: VEEI CASO 1.....	52
Tabla 30: VEEI CASO 2.....	52
Tabla 31: VEEI CASO 3.....	53
Tabla 32: Precio y potencia del término potencia en cada periodo.....	54
Tabla 33: Precio del término energía en cada periodo.....	55
Tabla 34: Días trabajados al mes.....	55
Tabla 35: Importe factura anual electricidad para la situación actual.....	57
Tabla 36: Gasto anual de la situación actual.....	57
Tabla 37: Importe factura anual electricidad para un 30% de iluminación artificial.....	58
Tabla 38: Gasto anual para un 30% de iluminación artificial.....	58

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

---

Tabla 39: Importe factura anual electricidad para un 10% de iluminación artificial .....	59
Tabla 40: Gasto anual para un 10% de iluminación artificial.....	59
Tabla 41: Comparativa del gasto y flujo de caja para cada caso.....	60
Tabla 42: VAN y TIR para un sistema de iluminación 100% natural .....	61
Tabla 43: VAN y TIR para los sistemas de iluminación.....	61
Tabla 44: Cuadro de precios descompuestos de la instalación de lucernarios .....	67
Tabla 45: Cuadro de mediciones de la instalación de lucernarios.....	68
Tabla 46: Cuadro de precios parciales de la instalación de lucernarios .....	68
Tabla 47: Presupuesto de la instalación de lucernarios.....	69
Tabla 48: Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de lucernarios .....	69
Tabla 49: Cuadro de mediciones del mantenimiento de lucernarios .....	70
Tabla 50: Cuadro de precios parciales del mantenimiento de lucernarios .....	70
Tabla 51: Presupuesto del mantenimiento de lucernarios.....	70
Tabla 52: Presupuesto total del mantenimiento de lucernarios .....	70
Tabla 53: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 100% de las luminarias.....	71
Tabla 54: Cuadro de mediciones de la colocación del 100% de las luminarias .....	71
Tabla 55: Cuadro de precios parciales de la colocación del 100% de las luminarias.....	72
Tabla 56: Presupuesto de la colocación del 100% de las luminarias .....	72
Tabla 57: Presupuesto total de la colocación del 100% de las luminarias.....	72
Tabla 58: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 30% de las luminarias.....	73
Tabla 59: Cuadro de mediciones de la colocación del 30% de las luminarias .....	73
Tabla 60: Cuadro de precios parciales de la colocación del 30% de las luminarias.....	73
Tabla 61: Presupuesto de la colocación del 30% de las luminarias .....	73
Tabla 62: Presupuesto total de la colocación del 30% de las luminarias.....	74
Tabla 63: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 10% de las luminarias.....	74
Tabla 64: Cuadro de mediciones de la colocación del 30% de las luminarias .....	74
Tabla 65: Cuadro de precios parciales de la colocación del 10% de las luminarias.....	75
Tabla 66: Presupuesto de la colocación del 10% de las luminarias .....	75
Tabla 67: Presupuesto total de la colocación del 10% de las luminarias.....	75

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: BAVIERA CRU.....	6
Ilustración 2: Bomba de Vapor BAVIERA.....	6
Ilustración 3: Steam Assist BAVIERA .....	7
Ilustración 4: Diagrama de Bloques del proceso seguido en las instalaciones .....	8
Ilustración 5: Tipos de iluminación, según la distribución y colocación de las luminarias .....	11
Ilustración 6: Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas.....	12
Ilustración 7: Definición factor de ventanas .....	15
Ilustración 8: Definición factor de reducción ventana-muro.....	15
Ilustración 9: Reflexiones en un recinto.....	16
Ilustración 10: Índices medios según la norma 12464.1.....	19
Ilustración 11: Índices medios según la norma UNE 12464.1.....	19
Ilustración 12: Índices medios según la norma UNE 12464.1.....	20
Ilustración 13: Índices medios según la norma UNE 12464.1.....	20
Ilustración 14: Índices mínimos según la norma UNE 12464.1.....	21
Ilustración 15: Modelado de la zona a iluminar en 3D .....	25
Ilustración 16: Ubicación de las aberturas Propuesta 1.....	26
Ilustración 17: Ubicación de las aberturas Propuesta 2.....	27
Ilustración 18: Ubicación de las aberturas Propuesta 3.....	27
Ilustración 19: Ubicación de las aberturas Propuesta 4.....	28
Ilustración 20: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 10:00h del día 21 de diciembre .....	29
Ilustración 21: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de junio .....	30
Ilustración 22: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 21 de diciembre .....	30
Ilustración 23: Ubicación niveles de iluminación mínimos .....	32
Ilustración 24: Estudio de deslumbramientos a aperturas laterales y cenitales PROPUESTA 1 .....	32

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Ilustración 25: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 21 de diciembre .....	34
Ilustración 26: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 10:00h del día 21 de diciembre .....	34
Ilustración 27: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de junio .....	35
Ilustración 28: Estudio de deslumbramientos a aperturas laterales y cenitales PROPUESTA 2 .....	36
Ilustración 29: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 10:00h del día 21 de diciembre .....	37
Ilustración 30: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 21 de diciembre .....	38
Ilustración 31: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de junio .....	38
Ilustración 32: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 10:00h del día 21 de diciembre .....	40
Ilustración 33: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de diciembre .....	40
Ilustración 34: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de junio .....	41
Ilustración 35: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 10:00h del día 21 de diciembre .....	48
Ilustración 36: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de diciembre .....	48
Ilustración 37: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 12:00h del día 23 de junio .....	49
Ilustración 38: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 9:00h del día 21 de diciembre .....	50
Ilustración 39: Resultado en gama de grises para la propuesta 4 a las 9:00h del día 23 de junio .....	50
Ilustración 40: Simulación DIALux light.....	51
Ilustración 41: Discriminación horaria tarifa 3.0A .....	54

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 1. **OBJETIVO**

Los objetivos perseguidos con el presente Trabajo Final de Grado son:

- Diseñar un sistema de iluminación natural de una planta dedicada al diseño y fabricación de sistemas de vapor.
- Hacer uso del método analítico para la obtención de diferentes propuestas de sistemas de iluminación para posteriormente seleccionar la que mejor cumpla con las especificaciones de la planta.
- Comparar la eficiencia energética de un sistema de iluminación artificial con diferentes sistemas de iluminación mixtos.
- Utilizar la normativa vigente en relación a iluminación de interiores y eficiencia energética.
- Utilizar el software específico DIALux para la simulación de niveles de iluminación.
- Realizar un presupuesto de la instalación del sistema de iluminación natural, mantenimiento de dicho sistema y de la renovación y mantenimiento de luminarias utilizadas.
- Hacer un cálculo estimativo sobre el coste derivado del consumo eléctrico de la planta para un posterior análisis económico y rentable del proyecto.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Fundamentos del Vapor

El vapor es un gas formado cuando el agua pasa de estado líquido a gaseoso. Esto se debe a la ruptura de los enlaces que mantienen unidas las moléculas de H<sub>2</sub>O.

En el agua líquida, las moléculas de H<sub>2</sub>O están siendo unidas y separadas constantemente, sin embargo, ante un aporte de calor las uniones entre moléculas empiezan a romperse más rápido de lo que pueden formarse. Cuando el calor suministrado es suficiente, algunas moléculas se romperán libremente formando el gas transparente que conocemos como vapor.

Durante la revolución industrial el vapor jugo un papel muy importante. La modernización de la máquina de vapor llevo a invenciones tales como la locomotora o el barco de vapor durante el siglo XVII.

En la actualidad, los motores de combustión interna y la electricidad han remplazado al vapor como fuente de energía, no obstante, el vapor es utilizado como fuente de calor directo e indirecto.

El método de calentamiento directo es en el cual el vapor está en contacto directo con el producto que se va a calentar. En la industria este método generalmente es usado para cocinar y en procesos de esterilización y vulcanización.

El calentamiento indirecto de vapor está presente en procesos en los que el vapor no entra en contacto directo con el producto a calentar. En la industria es altamente utilizado ya que proporciona un calentamiento rápido y constante y su principal ventaja es que las gotas formadas durante el calentamiento no entran en contacto con el producto. Este método es utilizado en procesos como la preparación de alimentos y bebidas, papel, **cartón** y medicina entre otros.

### 2.2. Introducción a la recuperación de condensados

Cuando el vapor pasa de estado gaseoso a líquido, el líquido resultante es conocido como condensado. En procesos de calentamiento, el condesando surge como resultado de la perdida de energía a costa del calentamiento de otra superficie.

En las industrias donde se utiliza el vapor, se entiende como calor latente a la energía requerida para transformar agua en vapor. Al dejar de aplicar esta energía el vapor en el proceso se revierte dando lugar a agua a alta temperatura conocida como condensado. Por su parte, el calor sensible es la energía necesaria para hacer que el agua aumente su temperatura.

Cuando el vapor se condensa, en ese momento del cambio de fase, la temperatura del condensado es la misma que la del vapor debido a que solo se ha perdido la energía latente,

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

esta condición es conocida como agua saturada. En procesos de calentamiento, la misma cantidad de vapor que es suministrada al equipo necesita ser descargada posteriormente. La recuperación del calor sensible restante y su uso es una de las principales razones detrás de la recuperación del condensado.

Los beneficios que se obtienen de la recuperación del condensado caliente pueden ser económicos, en términos de ahorro de energía y agua además de la mejora de las condiciones de trabajo y del mantenimiento de las instalaciones.

En el ámbito industrial, el vapor es generado por calderas. El condensado contiene entre el 10% y 30% de la cantidad inicial de energía del vapor. Alimentar las calderas con condensado a alta temperatura reduce la cantidad de energía necesaria para volver a convertir el agua en vapor y esto puede significar un ahorro en el combustible de la caldera de hasta el 20%

La recuperación de condensados también tiene un efecto positivo en el medio ambiente. Directamente, la menor utilización de combustibles da lugar a una menor emisión de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> a la atmosfera.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El presente Trabajo Fin de Grado se centra en el diseño de un sistema de iluminación energéticamente eficiente de una planta industrial. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la realización del mismo.

#### **Estudio de la planta industrial**

En primer lugar, para llevar a cabo un estudio de iluminación es imprescindible conocer la ubicación y orientación de la planta.

Para un correcto diseño del sistema es necesario conocer al detalle las actividades que se llevan a cabo en la planta industrial. En función de estas y de la posición y recorrido de los trabajadores se establecen los requerimientos luminotécnicos de la zona a iluminar, todo ello en base a normativa vigente.

En esta primera fase también se establecen los parámetros a cumplir por el sistema de iluminación que se vaya a diseñar.

#### **Generación de propuestas**

Conocidos los requerimientos de iluminación en cada zona de trabajo, lo siguiente es estimar la superficie mínima de aberturas con las que se pretende alcanzar los niveles de iluminación necesarios.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Seguidamente se llevan a cabo las distintas propuestas con las que se pretende obtener el sistema de iluminación energéticamente eficiente. Para ello se estudiarán propuestas en las que las entradas de luz variarán en ubicación y orientación en la planta.

## **Modelado y simulación**

El siguiente paso corresponde a la modelación de la planta industrial mediante el software específico DIALux. La modelación se pretende que sea simple, pero al mismo tiempo representativa de la planta para más adelante poder llevar a cabo un análisis lo más preciso posible de los resultados.

Con el mismo software, se simulan las propuestas. Las simulaciones se llevan a cabo para varias escenas de luz con el fin de estudiar en distintas épocas del año y horas del día y evaluar si los requerimientos de iluminación se cumplen.

## **Análisis de resultados y selección de la propuesta adecuada**

Una vez simuladas las propuestas, el propio software proporciona algunos de los parámetros a cumplir, en esta parte del proyecto se evaluarán si los parámetros establecidos anteriormente se cumplen en las distintas zonas de la planta concluyendo con la selección de la mejor propuesta.

## **Análisis económico y rentabilidad**

Finalmente, se procede a la realización de un estudio económico con él se pretende evaluar si la implantación del sistema de iluminación seleccionado se traducirá en un ahorro energético. Para ello, se hará un análisis del gasto asociado al consumo eléctrico antes y después de la puesta en marcha del sistema de iluminación.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **4. BAVIERA STEAM SYSTEMS S.L**

Baviera Steam Systems S.L, es una empresa Valenciana dedicada desde hace más de 30 años al desarrollo y fabricación de sistemas de vapor. Desde sus instalaciones situadas en el polígono industrial “Mas del Judge” en la localidad de torrente diseñan, fabrican y distribuyen sus productos y servicios por los cinco continentes.

Más allá de ser ingenieros en vapor, en Baviera Steam Systems S.L, se consideran ingenieros del vapor en el corrugado, pues, aunque sus sistemas presentan beneficios que se han manifestado universalmente se centran en empresas cartoneras y en el vapor utilizado en ellas.

### **4.1. Oferta de Baviera Steam Systems S.L**

Con la intención de aclarar qué tipo de empresa es Baviera Steam Systems S.L y que actividades se llevan a cabo en sus instalaciones a continuación se describen algunos de los productos que en ella se fabrican.

#### **EQUIPO DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS (CRU)**

Los condensados procedentes de todos los cilindros y planchas de una corrugadora son purgados a altas temperaturas, la recuperación a presión de los condensados evitando su despresurización y su correspondiente enfriamiento es la mejor opción para optimizar el rendimiento energético y maximizar el ahorro de combustible.

Este equipo a presión en circuito cerrado logra optimizar el rendimiento energético, además de optimizar la transferencia térmica en la corrugadora. Otra de las ventajas que presente el equipo es que los componentes que lo constituyen son todos robustos y libres de mantenimiento.

El equipo de recuperación de condensados Baviera está situado en la sala de calderas y consta de un tanque vertical timbrado a 18 bar donde los condensados se recuperan a una presión de 8 bar. Por la parte inferior del tanque, una bomba alimenta a caldera los condensados a una temperatura aproximada de 175°C.

El sistema también dispone de los siguientes controles:

- Control de nivel
- Control de presión diferencial
- Control de temperatura de condensados
- Reciclaje del vapor de baja presión

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 1: BAVIERA CRU



(Fuente: Baviera Steam Systems S.L)

## **BOMBA DE VAPOR**

El empleo de bombas de vapor para la recuperación de condensados en las maquinas corrugadoras compatibiliza la recuperación de condensados a presión en circuito cerrado y permite la libre regulación de presión en los cuerpos onduladores.

La bomba de vapor consta de dos tanques, uno de aspiración y otro de inyección. Cuando el tanque de inyección se encuentra lleno, el condensado es empujado con vapor hacia la salida que lo conduce a la línea de retorno de condensado de alta presión. El equipo además está dotado de válvulas antirretorno, válvulas para descompresión, transmisores de presión diferencial, espirales. Todos ellos de materiales de gran calidad y bajo mantenimiento.

Ilustración 2: Bomba de Vapor BAVIERA



(Fuente: Baviera Steam Systems S.L)

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

## **STEAM ASSIST**

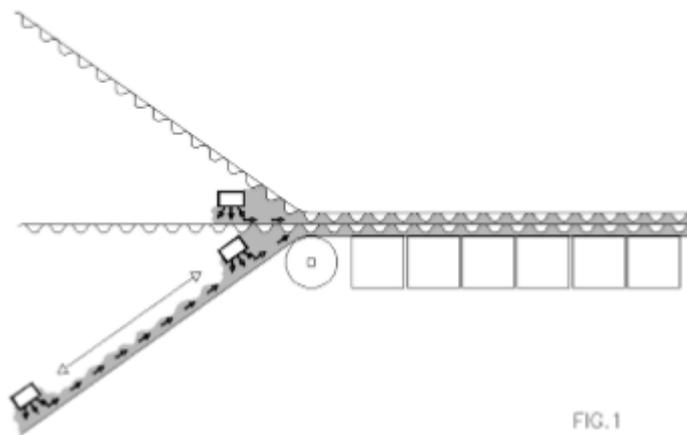
El steam assist, es un equipo con dos barras vaporizadoras que aplican vapor entre dos simples caras de un cartón doble. Con esto se intenta favorecer el pegado de las caras debido a la ausencia de transferencia térmica de una de las caras.

Este equipo introduce hasta 5 kg/h de vapor en los canales de una de las simples caras del papel, en algunas plantas mejora hasta un 10% la velocidad de producción de ciertos cartones, pues aplica calor donde las plantas de las mesas no pueden llegar.

Además de las barras vaporizadoras el sistema incluye:

- Válvula manual
- Filtro
- Calderín
- 2 válvulas ON/OFF
- Cuadro eléctrico con PLC

*Ilustración 3: Steam Assist BAVIERA*



(Fuente: Baviera Steam Systems S.L.)

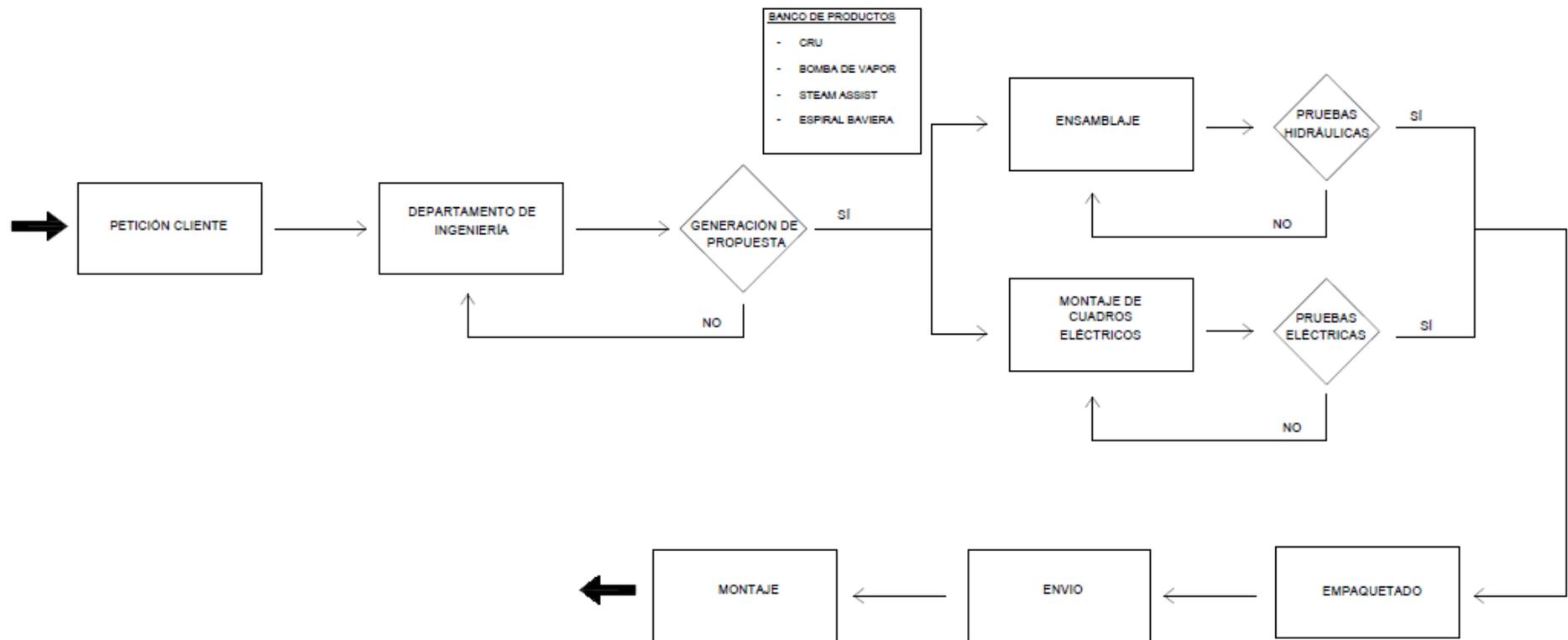
## **4.2. Organigrama y descripción del proceso realizado en las instalaciones**

El proceso productivo de la planta de estudio no está estandarizado debido al tipo de servicio que la empresa da a sus clientes. A pesar de que se desarrollan los productos explicados en el apartado anterior el montaje de los mismos se ajusta a las instalaciones donde vayan a ser incorporados.

La empresa en cuestión trabaja por proyectos y las etapas que se siguen en cada uno son las siguientes.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 4: Diagrama de Bloques del proceso seguido en las instalaciones



## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Tras la puesta en contacto del cliente con Baviera Steam Systems S.L el departamento de ingeniería genera una propuesta a través de diagramas PI&D donde se detallan los cambios a realizar y la incorporación de los productos demandados por el cliente.

Una vez la propuesta es aprobada por el cliente el departamento de ingeniería coordina el montaje de los productos en función de las especificaciones de la planta en la que vayan a ser incorporados. Al mismo tiempo, se montan los cuadros eléctricos. En ellos se implementan los PLC necesarios para el control remoto de los sistemas de vapor.

El montaje finaliza con sus correspondientes pruebas hidráulicas. En ellas, los productos son testados en las condiciones de operación. Los cuadros eléctricos también pasan un control para comprobar su correcto funcionamiento.

Una vez se certifica que el sistema funciona como debe los productos son embalados en grandes cajas de madera de forma que no vayan a sufrir daños durante el traslado a la planta donde se van a implementar.

El proceso termina con el envío y montaje por parte de los trabajadores de Baviera Steam Systems S.L en las instalaciones del cliente.

La planta está dividida en secciones de acuerdo con las actividades que en ellas se desarrollan. En el Plano 2 del Anexo 3 se pueden observar las distintas áreas y sus dimensiones

En el Plano 3 del mismo Anexo se detalla el flujo de materiales y las etapas que sigue cada producto.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 5. ILUMINACIÓN

El diseño de sistemas de iluminación eficientes en plantas industriales conlleva importantes ventajas económicas y físicas. Los niveles de iluminación en los lugares de trabajo deben permitir a los operarios una buena visibilidad para que desarrollen su actividad no suponga un riesgo para su salud y seguridad.

Las características luminosas del ambiente afectan tanto a las funciones visuales como a las psicológicas. Una buena visión y distinción de objetos acerca al trabajador a la seguridad, confort y satisfacción visual con la mínima fatiga visual.

Los niveles de iluminación dependen de la dificultad para la percepción visual. Cada tipo de actividad precisa unos niveles medios de iluminación que dependen de factores como la distancia del ojo a los objetos observados, el tamaño y el tiempo. Además del nivel de iluminación se deben analizar factores como la uniformidad y la posibilidad de deslumbramientos, pues pueden resultar perjudiciales.

Un gran número de países europeos aceptan cuatro niveles de iluminación en función de cuatro categorías de actividades. En la ya derogada OGSHT o el RD 486/1997 también se establecen disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud. Sin embargo, los valores de recomendados para actividades industriales se especifican en la norma UNE 12464.1.

### 5.1. Tipos de iluminación

Es posible diferenciar entre dos tipos principales de iluminación que depende del origen de la luz:

- **Iluminación natural:** es la suministrada por la luz diurna que proviene del sol y presenta enormes ventajas sobre la artificial. Se aprovecha mediante aberturas maximizando el confort visual, permite distinguir colores sin variaciones, produce la menor fatiga visual y es la más económica.
- **Iluminación artificial:** es la suministrada por fuentes luminosas artificiales, útil en zonas de poca iluminación natural y esencial en periodos nocturnos.

La combinación de ambas es la denominada **Iluminación mixta**, donde la iluminación artificial se utiliza como aporte cuando con natural no se alcanzan los niveles mínimos recomendables.

La iluminación también se puede clasificar en función de la zona a iluminar en:

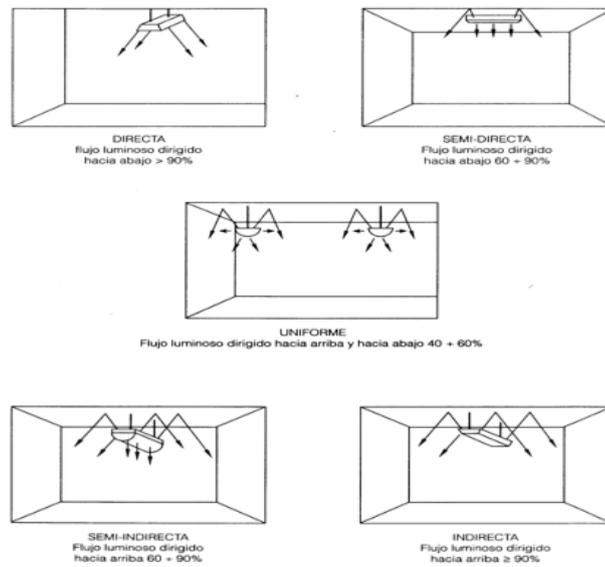
- **General:** la luz es repetida sobre toda la zona de trabajo uniformemente.
- **Localizada:** la luz incide específicamente en alguna zona de trabajo no suficientemente iluminada con iluminación general.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

## 5.1.1. Iluminación artificial

La iluminación artificial varía según el porcentaje de luz reflejada de acuerdo con la distribución y colocación de las luminarias que puede ser: directa, uniforme, semidirecta e indirecta, además de la potencia eléctrica contratada.

*Ilustración 5: Tipos de iluminación, según la distribución y colocación de las luminarias*



(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

## 5.1.2. Iluminación natural

Todas las actividades realizadas por el ser humano en el lugar de trabajo deben efectuarse con la luz procedente del sol, siempre que sea posible. Únicamente cuando este alumbrado resulta insuficiente o no pueda utilizarse debido a las exigencias de la actividad debe recurrirse al alumbrado artificial.

La iluminación natural, además del ahorro energético presenta incuestionables ventajas para la salud desde un punto de vista fisiológico y psicológico.

La forma, volumen, cerramiento y cubierta en un edificio industrial se deben realizar intentando aprovechar al máximo las ventajas que ofrece la iluminación natural, ya que se verán influidos por la distribución de las aberturas.

La luz en un recinto puede ser directa si tiene como origen la bóveda celeste o difusa por la reflexión de la directa en obstáculos, edificios o pavimentos. Esta luz debe llegar a los

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

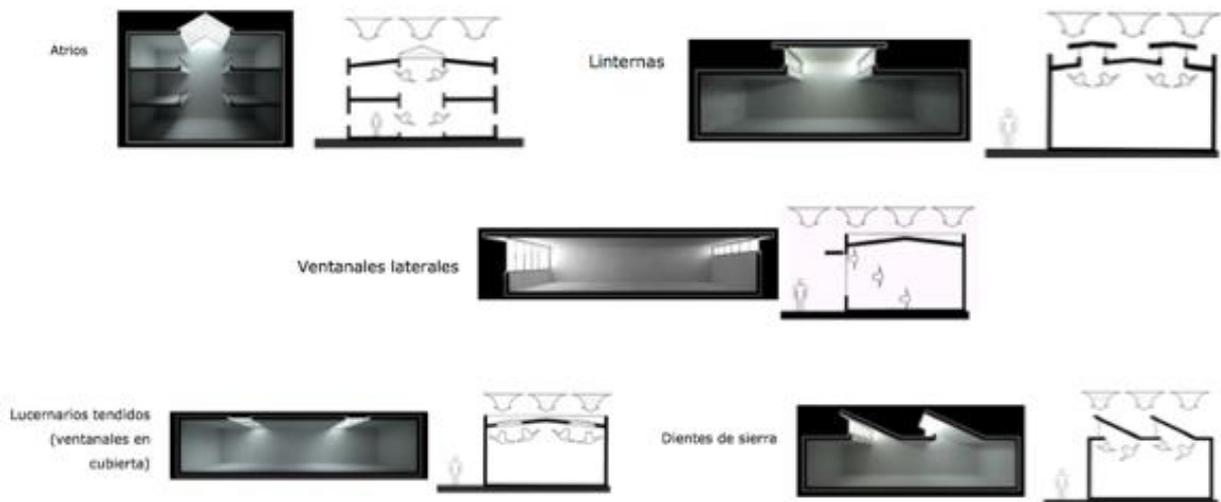
puestos de trabajo con un ángulo superior a 30° con respecto a la horizontal situada a la altura del ojo del trabajador con el fin de evitar deslumbramientos.

Los sistemas de iluminación natural se clasifican según la disposición de las entradas de luz:

- **Lateral:** las aberturas se encuentran ubicadas en fachadas laterales. De esta forma los puntos cercanos a la ventana reciben mayor radiación directa. A mayor distancia la proporción de radiación directa disminuye y aumenta la radiación difusa.
- **Cenital:** las aberturas se localizan en cubierta, si se encuentran ubicadas correctamente se consigue una distribución más generalizada de la luz en el plano de trabajo y la existencia de deslumbramiento es muy difícil.
- **Mixta:** combina aberturas en fachada y en cubierta.

Todos estos sistemas de iluminación natural pueden ser clasificados en cinco tipos principales que se muestran a continuación.

*Ilustración 6: Tipos de iluminación natural según la colocación de las aberturas*



(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

También es posible iluminar mediante claraboyas siempre que la cubierta no tenga pendientes superiores al 10%.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 5.2. Requerimientos de la planta

Para el diseño del sistema de iluminación natural primero se deben determinar los parámetros que se pretenden alcanzar, recurriendo a la normativa y legislación vigente donde se especifican los requisitos luminotécnicos a cumplir en los espacios de trabajo. Los parámetros a estudiar son: valor medio de iluminación en el plano de trabajo, uniformidad de la iluminación y deslumbramientos.

- **Valor medio de iluminación en el plano de trabajo:** es el nivel de iluminación medio en luxes (lúmenes/m<sup>2</sup>) que se pretende alcanzar en las zonas de trabajo. Los valores se encuentran en la norma UNE 12464.1.  
El nivel de iluminación en cada punto de una superficie situada en el plano horizontal a 0,85 metros del suelo (plano de trabajo) se denomina “iluminación interior en un punto ( $E_i$ )”, a partir de los cuales se obtiene la “iluminación media horizontal interior ( $E_m$ )”.
- **Uniformidad de la iluminación ( $E_{min}/E_{max}$ ):** es la relación entre las iluminaciones horizontales mínimas y máximas de los puntos situados en el plano de trabajo y determina si existirán contrastes de luz. Cuando este valor se acerque a cero significa que los valores están muy alejados y por lo tanto no existe uniformidad, por lo tanto, cuando tienda a uno la uniformidad será óptima.
- **Deslumbramientos:** Existirán deslumbramientos cuando los haces de luz inciden sobre el plano horizontal teórico a la altura del ojo del trabajador con un ángulo inferior a 30°.

## 5.3. Métodos de cálculo

### 5.3.1. Método analítico

Una vez se han establecidos los parámetros que se quieren alcanzar, lo siguiente es determinar la superficie de aberturas necesaria para ello.

El método que se va a llevar a cabo se basa en el método de rendimiento del Dr. Fruhling, que se fundamenta la norma alemana DIN 5034, de iluminación natural de recintos que se modifica ligeramente para adaptarlo a las características propias de las edificaciones industriales y se conoce como el método analítico.

La superficie de aberturas se obtiene de la expresión principal del método:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

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

Donde:

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

**Nivel de iluminación horizontal exterior ( $E_a$ ):** En el diseño de sistemas de iluminación en edificaciones se asume un nivel de iluminación difusa sobre superficie horizontal situada al aire libre de 3000 luxes. Es importante resaltar que este es un valor conservador de iluminación ya que en Valencia (lugar de ubicación de la planta), el día más oscuro del año: 10 de diciembre a las 10:00 am, con cielo cubierto se alcanzan valores de 8553.7 luxes.

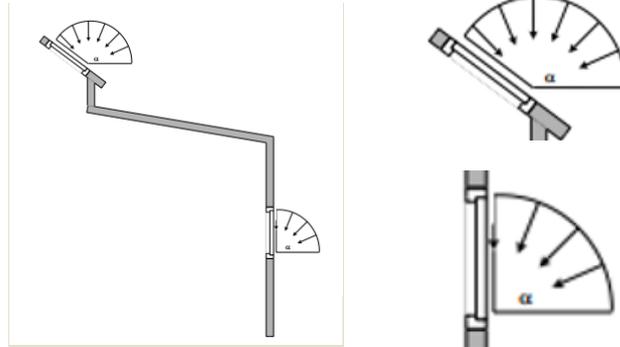
**Nivel de iluminación horizontal interior ( $E_m$ ):** Valor obtenido de la *ecuación (1)*.

**Factor de ventanas ( $f$ ):** Tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana en función de su disposición en la edificación. Puede tomar valores desde 1, en el caso de lucernarios horizontales a 0,5, cuando se trata de ventanas en cualquier fachada, y se obtiene según la *expresión (2)*:

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

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

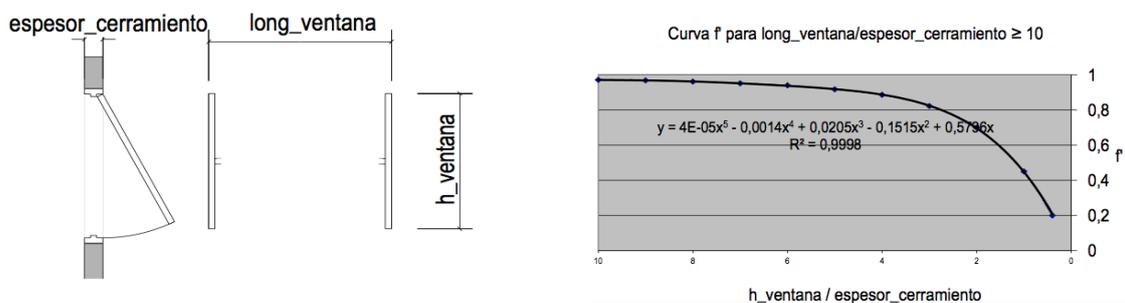
Ilustración 7: Definición factor de ventanas



(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

**Factor característico de reducción ventana-muro ( $f'$ ):** Este factor tiene en cuenta la posible reducción de la radiación solar por el grosor del cerramiento de fachada. Esta disminución es mayor cuanto menor es la relación entre la altura y la longitud de la ventana y el espesor del cerramiento respectivamente. Para edificaciones industriales se utilizan valores cercanos a uno.

Ilustración 8: Definición factor de reducción ventana-muro

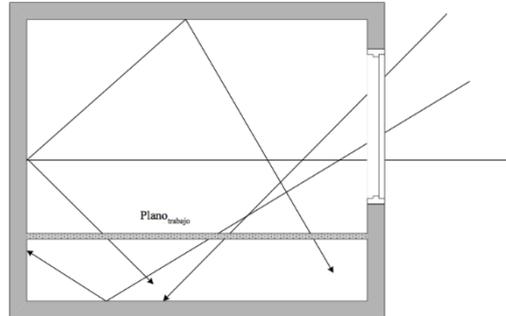


(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

**Rendimiento de recinto ( $\eta$ ):** El rendimiento del recinto está directamente relacionado con el factor de reflexión de la planta. Tiene en cuenta que solamente una parte del flujo luminoso que entra por las aperturas incidirá sobre el plano de trabajo como radiación directa, el resto incidirá sobre otras superficies que a su vez reflejarán parte sobre el plano de trabajo. Para recintos rectangulares se toman valores comprendidos entre el 40 y 50%.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 9: Reflexiones en un recinto



(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

**Superficie de suelo del recinto ( $S_s$ ):** Superficie total a iluminar.

**Superficie de ventanas ( $S_v$ ):** Se trata de la superficie de aperturas, ya sean lucernarios en cubierta o ventanas laterales, para alcanzar los niveles requeridos de iluminación. Para obtener este valor se debe despejar la *ecuación (1)* obteniéndose:

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

Es importante resaltar que la superficie calculada puede no garantizar los niveles de iluminación requeridos debido a que el tipo de vidrio a utilizar no es totalmente transparente como considera la ecuación del método analítico.

### 5.3.2. Situación de aberturas

Es de vital importancia tener en cuenta la colocación de ventanas y lucernarios además de su superficie pues esto ayudara a obtener los requerimientos de iluminación, así como una buena uniformidad.

La iluminación y su uniformidad serán máximas cuando las ventanas estén centradas en la pared en que se ubica y mínimas cuando se colocan adyacente a una de las paredes del recinto.

En el caso de existir machones anchos entre ventanas perjudicaran la uniformidad de la iluminación. Se recomienda que la distancia del borde del cristal a la pared sea como mínimo de 1,5 metros, así como la anchura de machón entre los bordes de los cristales de las ventanas.

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

La altura de las ventanas también tiene su influencia pues cuanto más altas se dispongan menor será la iluminación, sin embargo, la uniformidad es mayor además de iluminar mejor los edificios profundos. La colocación de ventanas altas también reduce la posibilidad de deslumbramientos.

Finalmente, las aberturas deben de seguir una cierta simetría siempre que sea posible, pues la planta podría cambiar de distribución y/o actividad.

### 5.3.3. Eficiencia energética

Tras realizar una simulación del ambiente lumínico en la planta se lleva a cabo el cálculo de eficiencia energética. El procedimiento de verificación se realiza según el Código Técnico de la Edificación CTE, que obliga el aprovechamiento de la luz natural siempre que su aportación se lo permita.

Dicho procedimiento comienza con el cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI en cada zona y asegurarse que no se superan los valores límite impuestos. A continuación, se comprueba la existencia de un sistema de control y regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural. Por último, se verifica la existencia de un plan de mantenimiento.

La siguiente expresión proporciona el valor de la eficiencia energética de la instalación por cada 100 lux:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (3)$$

Donde:

- **P**: Potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W]
- **S**: Superficie iluminada [m<sup>2</sup>]
- **E<sub>m</sub>**: Iluminancia media mantenida [lux]

El número de puntos que como mínimo se deben considerar en el cálculo de la iluminancia media (E<sub>m</sub>), será:

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Tabla 1: Número de puntos mínimos dependiendo del parámetro k

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

(Fuente: Apuntes Poliformat asignatura Construcción y Arquitectura Industrial)

$$K = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)} \quad (1)$$

Donde:

- **K**: Longitud del local
- **A**: Anchura del local
- **H**: Distancia del plano de trabajo a las luminarias

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

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

La luz que proviene de la bóveda celeste es variable a lo largo del año debido a la posición del sol con respecto a un punto considerado, como consecuencia de la variación de esta se podrá aprovechar la luz procedente del sol dependiendo de la ubicación de la planta.

El edificio industrial en el que se va a basar el estudio está ubicado en la localidad de Torrent, Valencia, con latitud 30° N y longitud 0° O. En la zona geográfica de Valencia, 4930 son las horas de luz durante un año, de estas 3416 cuentan con un nivel de iluminación difusa superior o igual a 3000 luxes. Por lo tanto, un sistema de iluminación natural podrá utilizarse durante un periodo similar al 69,23% del total de horas de luz.

El diseño del sistema de iluminación natural se llevará a cabo para la zona de obrador, excluyendo la zona de oficinas, comedor y talleres.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

## 6.1. Establecimiento de los requerimientos de la planta

El nivel de iluminación medio requerido en el interior ( $E_m$ ), se obtiene a partir de la ecuación (4) que se muestra a continuación:

$$E_m = \frac{\sum E_{m\_zona} \cdot S_{zona}}{S_s} \quad (4)$$

Donde:

- $E_m$ : nivel de iluminación horizontal media requerido en el interior.
- $E_{m\_zona}$ : nivel de iluminación medio requerido en cada zona de actividad.
- $S_{zona}$ : superficie ocupada por cada zona de actividad.
- $S_s$ : superficie a iluminar.

Los valores de iluminación media requerida en cada zona de actividad se obtienen de la norma UNE 12464.1. Debido a la gran variedad de tareas realizadas en la zona de la edificación donde se centra el estudio se consultaron varios apartados de la mencionada norma obteniéndose los siguientes requerimientos de iluminación.

Para las áreas destinadas al almacenamiento y zonas de paso en la norma se encuentran las siguientes especificaciones:

*Ilustración 10: Índices medios según la norma 12464.1*

**Tabla 5.5 – Áreas generales dentro de edificios – Áreas de almacenamiento con estanterías**

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_s$ –	Requisitos específicos
5.5.1	Pasillos: sin guarnecer	20	–	0,40	40	Iluminancia al nivel del suelo
5.5.2	Pasillos: guarnecidos	150	22	0,40	60	Iluminancia al nivel del suelo
5.5.3	Estaciones de control	150	22	0,60	80	
5.5.4	Cara de la estantería de almacenamiento	200	–	0,40	60	Iluminancia vertical, puede utilizarse iluminación móvil

*Ilustración 11: Índices medios según la norma UNE 12464.1*

**Tabla 5.3 – Áreas generales dentro de edificios – Salas de control**

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_s$ –	Requisitos específicos
5.3.1	Salas de material, salas de máquinas	200	25	0,40	60	
5.3.2	Sala de fax, correos, cuadro de contadores	500	19	0,60	80	

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Ilustración 13: Índices medios según la norma UNE 12464.1*

**Tabla 5.1 – Zonas de tráfico dentro de edificios**

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.1.1	Áreas de circulación y pasillos	100	28	0,40	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminancia al nivel del suelo</li> <li>• <math>R_a</math> y <math>UGR</math> similares a áreas adyacentes</li> <li>• 150 lx si hay vehículos en el recorrido</li> <li>• El alumbrado de salidas y entradas debe proporcionar una zona de transición para evitar cambios repentinos en iluminancia entre el interior y el exterior de día o de noche</li> <li>• Debería tenerse cuidado para evitar el deslumbramiento del conductor y los peatones</li> </ul>
5.1.2	Escaleras, escaleras automáticas, cintas transportadoras	100	25	0,40	40	Requiere contraste mejorado sobre los escalones
5.1.3	Ascensores, montacargas	100	25	0,40	40	El nivel de iluminación en frente del montacargas debería ser al menos $\bar{E}_m = 200$ lx
5.1.4	Rampas/tramos de carga	150	25	0,40	40	

*Ilustración 12: Índices medios según la norma UNE 12464.1*

**Tabla 5.25 – Actividades industriales y artesanales – Trabajo y tratamiento de la madera**

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.25.1	Tratamiento automático, por ejemplo, secado, fabricación de tablero	50	28	0,40	40	
5.25.2	Tratamientos con vapor	150	28	0,40	40	
5.25.3	Bastidor de aserrado	300	25	0,60	60	Prevenir efectos estroboscópicos
5.25.4	Trabajo en banco de uniones, encolado, montaje	300	25	0,60	80	
5.25.5	Pulido, pintura, ensambles finos	750	22	0,70	80	
5.25.6	Trabajo en máquinas para trabajar madera, por ejemplo, torneado, estriado, enderezado, rebatido, ranurado, corte, aserrado, perforado	500	19	0,60	80	Prevenir efectos estroboscópicos
5.25.7	Selección de placas de maderas	750	22	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.25.8	Marquetería, incrustación en madera	750	22	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$
5.25.9	Control de calidad, inspección	1 000	19	0,70	90	$4\ 000\ K \leq T_{CP} \leq 6\ 500\ K$

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

Las *ilustraciones 10, 11, 12 y 13* corresponden a las zonas donde se requiere menor iluminación y que abarca el 74% de la superficie total del área de estudio.

*Ilustración 14: Índices mínimos según la norma UNE 12464.1*

**Tabla 5.18 – Actividades industriales y artesanales – Trabajo y tratamiento de metales**

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_s$ –	Requisitos específicos
5.18.1	Forja en troquel abierto	200	25	0,60	80	
5.18.2	Estampación en caliente	300	25	0,60	80	
5.18.3	Soldadura	300	25	0,60	80	
5.18.4	Mecanización basta y media: tolerancias $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80	
5.18.5	Mecanización de precisión; pulido: tolerancias $< 0,1$ mm	500	19	0,70	80	
5.18.6	Trazado; inspección	750	19	0,70	80	
5.18.7	Talleres de estirado de hilos y tubos; conformado en frío	300	25	0,60	80	
5.18.8	Mecanización de chapas: espesor $\geq 5$ mm	200	25	0,60	80	
5.18.9	Chapistería: espesor $< 5$ mm	300	22	0,60	80	
5.18.10	Fabricación de herramientas; fabricación de equipo de corte	750	19	0,70	80	
5.18.11	Montaje: – basto – medio – fino – precisión	200 300 500 750	25 25 22 19	0,60 0,60 0,60 0,70	80 80 80 80	
5.18.12	Galvanización	300	25	0,60	80	
5.18.13	Preparación de superficies y pintado	750	25	0,70	80	
5.18.14	Fabricación de herramientas, patrones, mecánica de precisión, micromecánica	1 000	19	0,70	80	

Por último, en la *ilustración 14* se indican los requerimientos de otras 3 áreas de actividad. La que requiere un nivel intermedio ocupa un entorno al 16% y la que mayor iluminación requiere un 10% de la superficie total.

A partir de los valores anteriores se decide dividir la superficie total a iluminar en 3 zonas en función de sus requerimientos luminotécnicos.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Tabla 2: Requerimientos luminotécnicos en cada zona de la edificación

Zona	Em (lux)
Zona A	200
Zona B	300
Zona C	500

- **Zona A:** Almacenamiento, pasillos, carpintería, producto terminado, pruebas hidráulicas, zona de entrada y salida de material.
- **Zona B:** Mecanizado, soldadura.
- **Zona C:** Ensamblaje, Pruebas eléctricas.

El nivel de iluminación medio requerido, obtenido a partir de la *ecuación (4)* es 245 lux que es importante garantizar en las 3 zonas con el fin de obtener un sistema eficiente. La zona C es la que más iluminación requiere por las tareas que en ella se llevan a cabo, además estas tareas son fundamentales para que el producto final se obtenga con totales garantías. Por lo tanto, conseguir 500 lux en la zona C es un requerimiento fundamental durante las máximas horas posibles en invierno.

En las escenas de luz de mayor iluminación es importante que no se superen 2000 lux pues puede ser perjudicial para los trabajadores.

En el Anexo 3, el Plano 4 detalla de forma gráfica la división de la instalación según las zonas A, B y C.

## 6.2. Estimación de superficie teórica de aberturas

Para la obtención de la superficie teórica de aberturas se hace uso de la *ecuación (1)* despejando el término  $S_v$ . Como consecuencia de combinar ventanas en fachadas laterales y lucernarios en cubierta se modifica la *ecuación (1)* obteniéndose la siguiente expresión:

$$E_m = E_a \cdot f' \cdot \eta \cdot \left( f_{lat} \cdot \frac{S_{v_{lat}}}{S_s} + f_{cen} \cdot \frac{S_{v_{cen}}}{S_s} \right) \quad (5)$$

Debido a las grandes dimensiones de la zona a iluminar y su diafanidad se opta por considerar que la superficie de aberturas en cubierta ( $S_{v_{cen}}$ ) será el doble que las ventanas en fachadas laterales ( $S_{v_{lat}}$ ). Con esto se reducirá la posibilidad de deslumbramientos y se consigue aprovechar mejor la luz en las horas centrales del día donde el sol se encuentra en sus puntos más altos.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Teniendo en cuenta lo comentado anteriormente se proponen las siguientes propuestas:

- **Propuesta 1:** Combinación de aberturas laterales y cenitales.
- **Propuesta 2:** Combinación de aberturas laterales y cenitales.
- **Propuesta 3:** Exclusivamente aberturas cenitales.
- **Propuesta 4:** Exclusivamente aberturas cenitales.

Los parámetros a introducir en la ecuación (5) para cada propuesta son los siguientes:

*Tabla 3: Valores para obtener la superficie de aberturas*

Propuesta	$E_m$ (lux)	$E_a$ (lux)	$f_{lat}$	$f_{cen}$	$f'$	$\eta$	$S_s$ (m <sup>2</sup> )
1	245	3000	0,5	0,95	1	0,5	2886
2	245	3000	0,5	0,95	1	0,5	2886
3	245	3000	0	0,95	1	0,5	2886
4	245	3000	0	0,95	1	0,5	2886

Tras realizar los cálculos la superficie mínima de aberturas es:

*Tabla 4: Superficie mínima de aberturas*

Propuesta	$S_{v,lat}$ (m <sup>2</sup> )	$S_{v,cen}$ (m <sup>2</sup> )	$S_v$ (m <sup>2</sup> )
1	196,4	392,6	589
2	196,4	392,6	589
3	0	496	496
4	0	496	496

### 6.3. Propuestas de sistemas de iluminación natural

El presente estudio de iluminación se va a realizar mediante el programa DIALux desde el modelado en 3D hasta la simulación de las propuestas. Para obtener una simulación real se introducirán parámetros que definan las características de la planta y se situarán los objetos y maquinaria presentes en la planta real.

También es absolutamente necesario introducir la fecha y hora de las escenas de luz que se vayan a estudiar. Con el fin de obtener un sistema de iluminación natural lo más

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

energéticamente eficiente posible se van a estudiar las siguientes fechas del año; 21 de diciembre (fecha de menos horas de luz) a las 10:00 h y 12:00 h y 23 junio a las 12:00 h. Si se consiguen alcanzar los niveles mínimos de iluminación el día de menos horas del año se podrá prescindir de la luz artificial durante todo el año en días de condiciones climatológicas favorables. Por otro lado, si el día de más horas de luz del año no se alcanza los 2000 lux el nivel de iluminación no será excesivo en ningún periodo del año.

## 6.3.1. Parámetros generales a introducir en DIALux

Las características de la zona a estudio son las siguientes:

*Tabla 5: Datos del local*

<b>Longitud (m)</b>	94
<b>Anchura (m)</b>	39
<b>Altura (m)</b>	12,7

Los factores de reflexión utilizados son:

*Tabla 6: Factores de reflexión del local*

<b>Paredes</b>	78%
<b>Cubierta</b>	78%
<b>Suelo</b>	27%

Se considera un factor de degradación de 0,5 por ser un local interior con alta contaminación. Por último, la planta está ubicada al norte como se aprecia en el Plano 1 del Anexo 1. La presencia del edificio de oficinas situado al norte de la zona de estudio imposibilita la opción de colocar aberturas en la fachada norte de la zona de obrador.

Entre los objetos utilizados en el modelado de la edificación, cabe resaltar que el factor de reflexión de estanterías y maquinaria metálica es de 65% y las cajas de madera de las estanterías y con las que se embala el producto acabado tienen un grado de reflexión de 50%.

También cabe destacar los parámetros impuestos a las aberturas para el aprovechamiento de luz natural. El grado de transmisión de la radiación se ha fijado en 40%.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Por último, el factor de división escogido es de 0.9 el cual corresponde a ventanal de metal (fija).

El plano de trabajo es el que define el programa por defecto y se sitúa a 0,85 metros sobre el suelo como ya se ha comentado anteriormente.

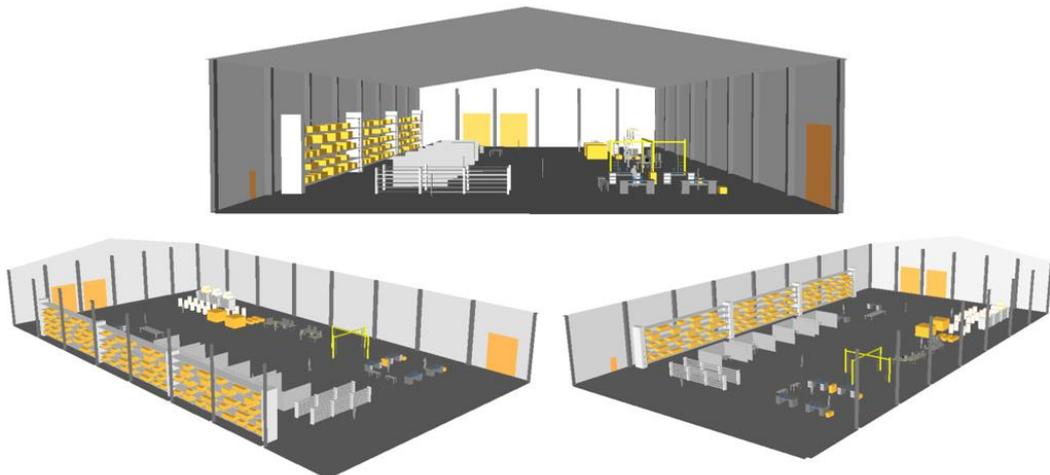
Las escenas de luz son:

21/12/17 a las 10:00 am

21/12/17 a las 12:00 am

23/06/17 a las 12:00 am

*Ilustración 15: Modelado de la zona a iluminar en 3D*



## 6.3.2. Propuesta 1

La primera propuesta consiste en un sistema de iluminación mixto pues combina aberturas en las tres fachadas laterales que dan al exterior con aberturas cenitales. Se ha optado por colocar mayor superficie de la necesaria con el fin de alcanzar los niveles requeridos de iluminación en las zonas más comprometidas.

Esta primera propuesta cuenta con:

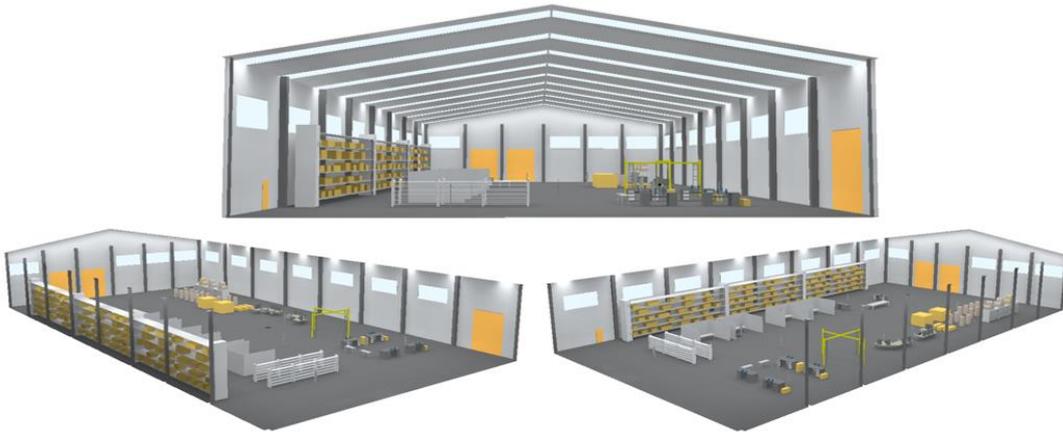
- 4 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al sur.
- 8 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al este.

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

- 9 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al oeste.
- 10 lucernarios de 39,4 x 2 metros, centrados entre pórticos a lo largo de toda la cubierta.

*Ilustración 16: Ubicación de las aberturas Propuesta 1*



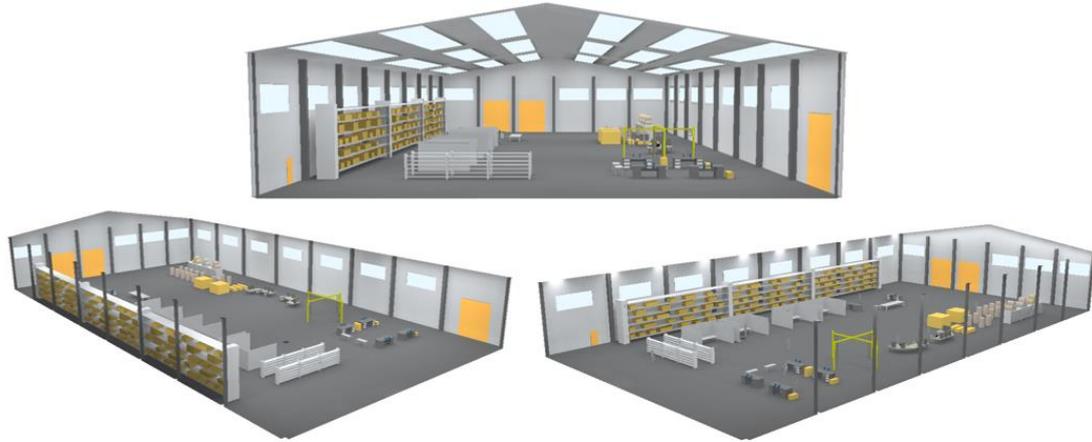
### **6.3.3. Propuesta 2**

La propuesta 2 también es una combinación de iluminación lateral y cenital. En este caso se ha optado por mantener la misma superficie y ubicación de ventanas que en la propuesta 1, pero se ha variado tanto la orientación como el número y dimensiones de los lucernarios en cubierta. Quedando de la siguiente manera:

- 4 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al sur.
- 8 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al este.
- 9 ventanales de 5 x 2 metros, centrados entre pilares, a 5,5 metros de altura en el cerramiento lateral orientado al oeste.
- 12 lucernarios de 20 x 3 metros, 6 en cada faldón de cubierta y perpendiculares a los pórticos.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 17: Ubicación de las aberturas Propuesta 2*

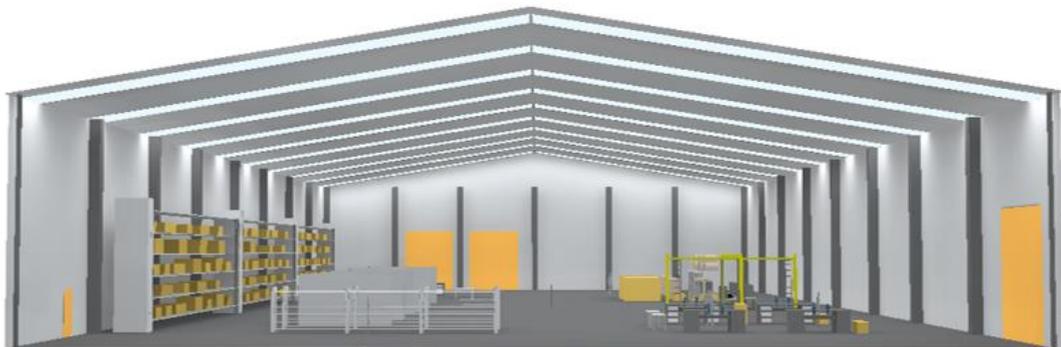


## 6.3.4. Propuesta 3

Con el fin de encontrar el sistema de iluminación más eficiente la siguiente propuesta consta tan solo de iluminación cenital, utilizando la misma disposición y número de lucernarios que en la propuesta 1.

- 10 lucernarios de 39,4 x 2 metros, centrados entre pórticos a lo largo de toda la cubierta.

*Ilustración 18: Ubicación de las aberturas Propuesta 3*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 6.3.5. Propuesta 4

Por último, la propuesta 4 tan solo reúne las aberturas cenitales de la propuesta 2.

- 12 lucernarios de 20 x 3 metros, 6 en cada faldón de cubierta y perpendiculares a los pórticos.

*Ilustración 19: Ubicación de las aberturas Propuesta 4*



## 6.4. Resultados de las simulaciones

Introducidos todos los parámetros sobre la estructura y los demás objetos que se encuentran en la planta se procede a simular mediante el software DIALux las diferentes propuestas. Una vez simulados se obtienen los datos que serán analizados y comparados para finalmente seleccionar el sistema que mejor cumpla con los requisitos lumínicos de la planta.

La simulación con DIALux proporciona valores de iluminación media, mínima y máxima además de las relaciones entre ellas con las que se obtienen la uniformidad.

El estudio de los deslumbramientos es algo más complejo pues no se obtiene un valor que indique si existirán o no y se hará de forma analítica. Para ello se calculan las distancias a las aberturas que hacen que el ángulo de incidencia de la luz sobre la horizontal que se encuentra a la altura del ojo del trabajador sea menor a 30°.

Para analizar los datos obtenidos tras las simulaciones, se divide la planta en tres zonas atendiendo a los requisitos de iluminación de cada una. Con esto se pretende además de cumplir los valores de iluminación media en toda la zona de obrador, asegurar que no existen valores muy dispares en la misma zona lo que daría lugar a uniformidades bajas.

En el Plano 4 del Anexo 3 se detallan las zonas en las que ha sido dividida la planta en función de los requerimientos de iluminación.

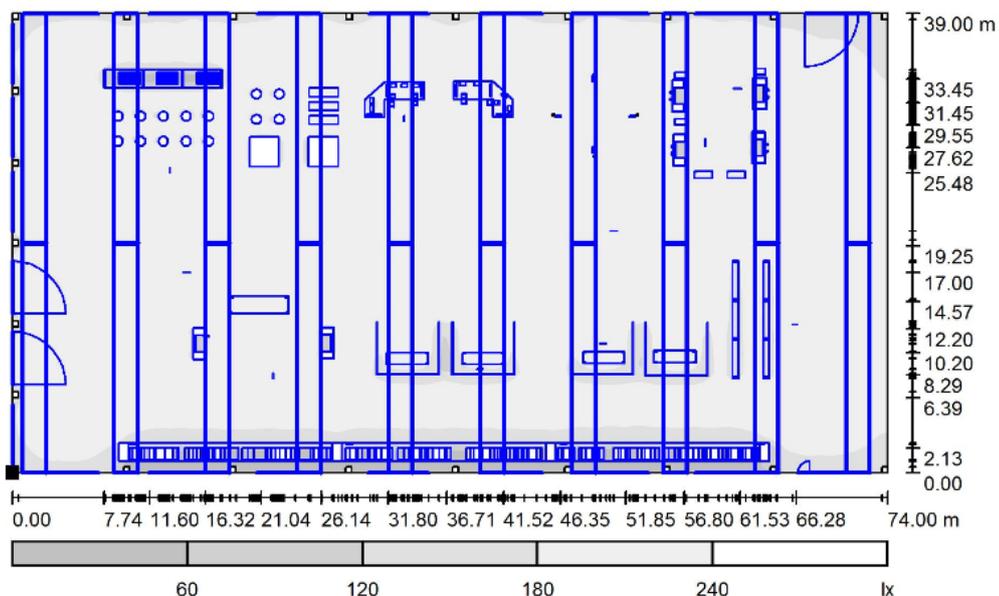
# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

La diafanidad de la zona a iluminar y la distribución en planta da lugar a una situación que es importante tener en cuenta a la hora de analizar las propuestas. Como se puede observar la Zona B y especialmente la Zona C que requieren mayores niveles de iluminación se encuentran rodeadas por la Zona A. Es por esto que se fija como objetivo alcanzar los niveles de iluminación necesarios en las zonas B y C.

## 6.4.1. Resultados de la propuesta 1

Los resultados obtenidos sobre los niveles de iluminación tras la simulación de la propuesta 1 para las tres escenas de luz son los siguientes:

*Ilustración 20: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 10:00h del día 21 de diciembre*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 22: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 21 de diciembre

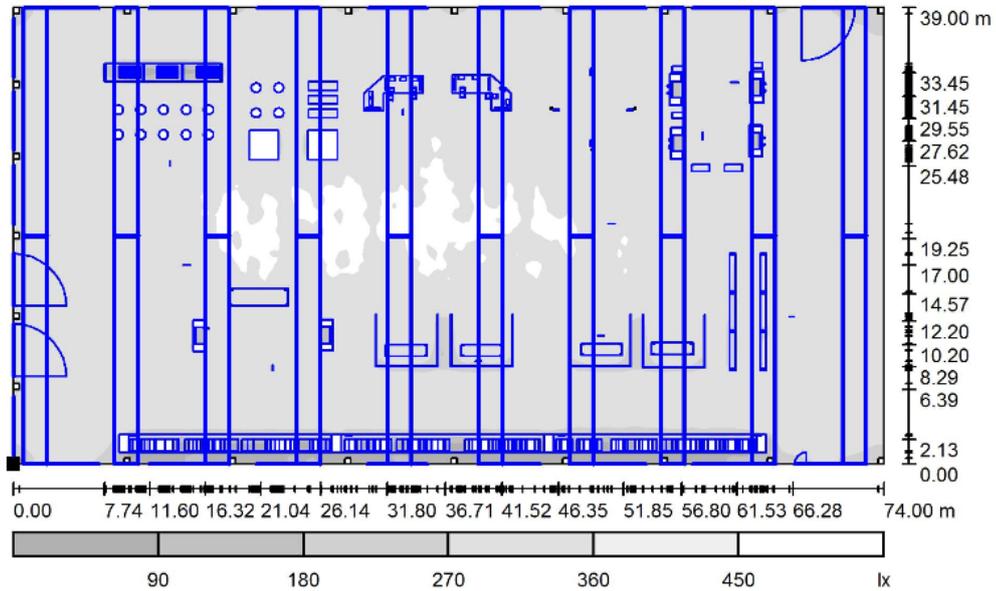
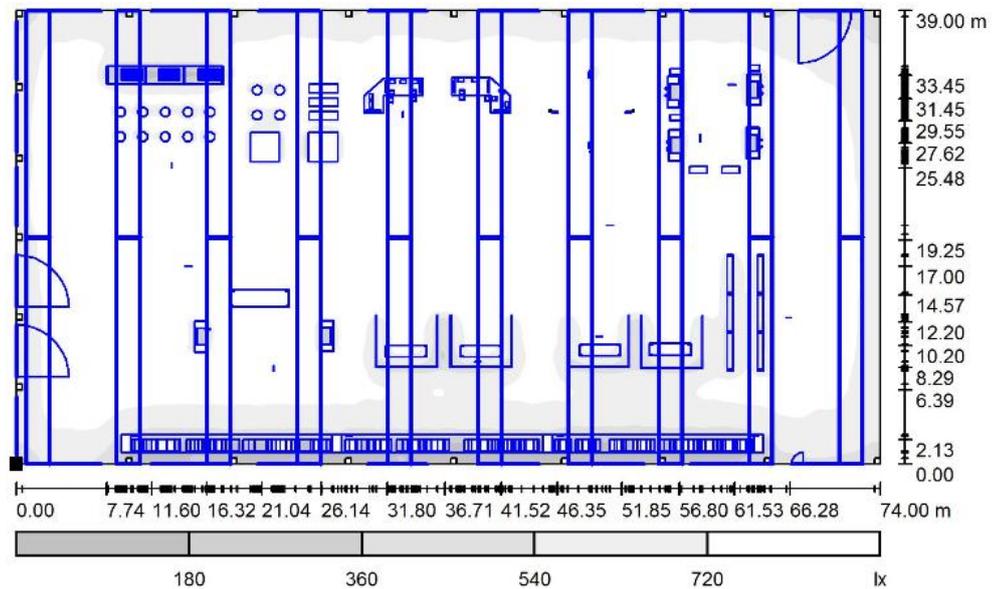


Ilustración 21: Resultados en gama de grises para la propuesta 1 a las 12:00h del día 23 de junio



Los resultados obtenidos sobre los principales parámetros tras la simulación de la propuesta 1 para las escenas de luz son los siguientes:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 7: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 1*

ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
21/12/17 - 10:00 am	222	13	272	0,058	0,047	Posible
21/12/17 - 12:00 am	376	22	461	0,058	0,047	Posible
23/06/17 - 12:00 am	739	43	905	0,058	0,047	Posible

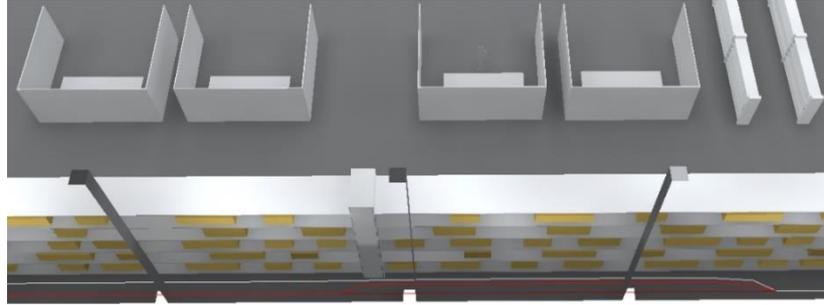
*Tabla 8: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 1*

ZONA	ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
A	21/12/17 - 10:00 am	231	169	269	0,73	0,63
A	21/12/17 - 12:00 am	392	287	456	0,73	0,63
A	23/06/17 - 12:00 am	769	563	894	0,73	0,63
B	21/12/17 - 10:00 am	260	241	268	0,93	0,90
B	21/12/17 - 12:00 am	440	408	454	0,93	0,90
B	23/06/17 - 12:00 am	864	801	891	0,93	0,90
C	21/12/17 - 10:00 am	331	234	268	0,71	0,87
C	21/12/17 - 12:00 am	435	397	453	0,91	0,88
C	23/06/17 - 12:00 am	853	779	890	0,91	0,88

Como se puede apreciar en la *Tabla 8* la diferencia entre los niveles de iluminación máximos y mínimos es muy grande, dando lugar a uniformidades muy pequeñas. Sin embargo, en los resultados por zonas de la *Tabla 9* la uniformidad es excelente. Esto se debe a que la zona donde se registran los niveles mínimos de iluminación es detrás de la gran estantería de almacenamiento situada junto a la fachada este de la nave, esta no es una zona de trabajo por lo que la uniformidad que es verdaderamente significativa es del análisis por zonas (*Tabla 9*).

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 23: Ubicación niveles de iluminación mínimos*



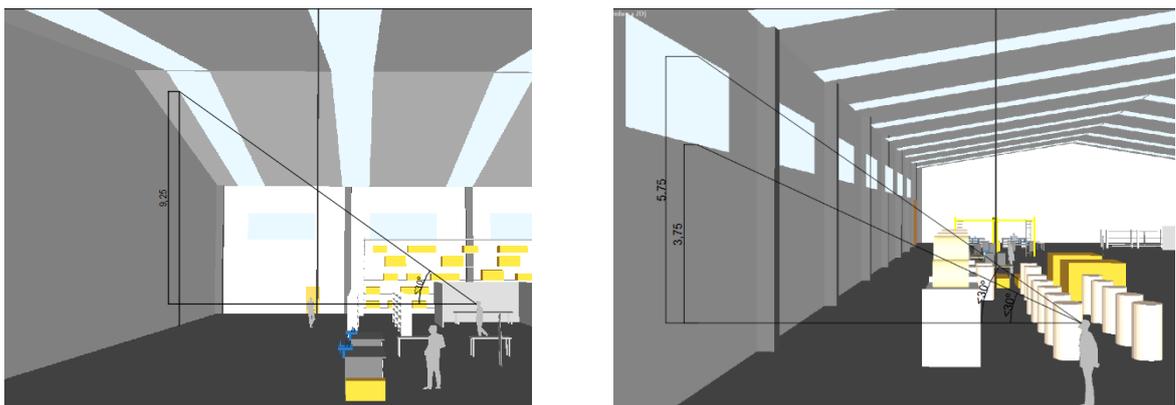
En la imagen anterior se observa en color rojo las Isocintas correspondientes a 20 lux y su ubicación en la planta.

## **DESLUMBRAMIENTOS:**

Existirá riesgo de deslumbramiento cuando el ángulo que forma la horizontal situada a la altura del ojo con la incidencia de la luz es inferior a  $30^\circ$ .

Para analizar el riesgo de que los trabajadores sufran deslumbramientos al mirar en la dirección de las aberturas se hallará la distancia hasta las mismas que hacen que el ángulo sea inferior a  $30^\circ$ . Se supondrá una altura de la horizontal de los ojos de 1,60 metros sobre el suelo.

*Ilustración 24: Estudio de deslumbramientos a aberturas laterales y cenitales PROPUESTA 1*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Las aberturas laterales se encuentran ubicadas todas a la misma altura y poseen las mismas dimensiones, por lo tanto, la distancia hallada será la misma para las fachadas este, sur y oeste.

Las distancias máximas a las aberturas a partir de las cuales existe riesgo de deslumbramiento son las siguientes:

*Tabla 9: Distancia a aberturas*

<b>Tipo de abertura</b>	<b>Distancia (m)</b>
Lateral	6,5
Cenital	16

Las distancias obtenidas parecen pequeñas considerando las dimensiones de la nave, lo que significa que la posibilidad de deslumbramiento es constante. Para reducir el riesgo se opta por utilizar ventanales con transmitancia del 40 al 45%, lo que impide niveles de iluminación altos. Es importante resaltar que para que exista el deslumbramiento se tiene que estar mirando directamente a la ventana por lo que es complicado que esto ocurra con lucernarios de cubierta debido a su altitud y las actividades que se desarrollan en la planta. En el caso de las aberturas laterales, la zona de ensamblaje podría ser la más conflictiva ya que en algunas ocasiones se trabaja orientando la mirada hacia arriba por ello si hubiera problemas se utilizarían mamparas o mobiliario protegiendo el puesto de trabajo.

## **6.4.2. Resultados de la propuesta 2**

Los resultados obtenidos sobre los niveles de iluminación tras la simulación de la propuesta 2 para las tres escenas de luz son los siguientes:

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 26: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 10:00h del día 21 de diciembre

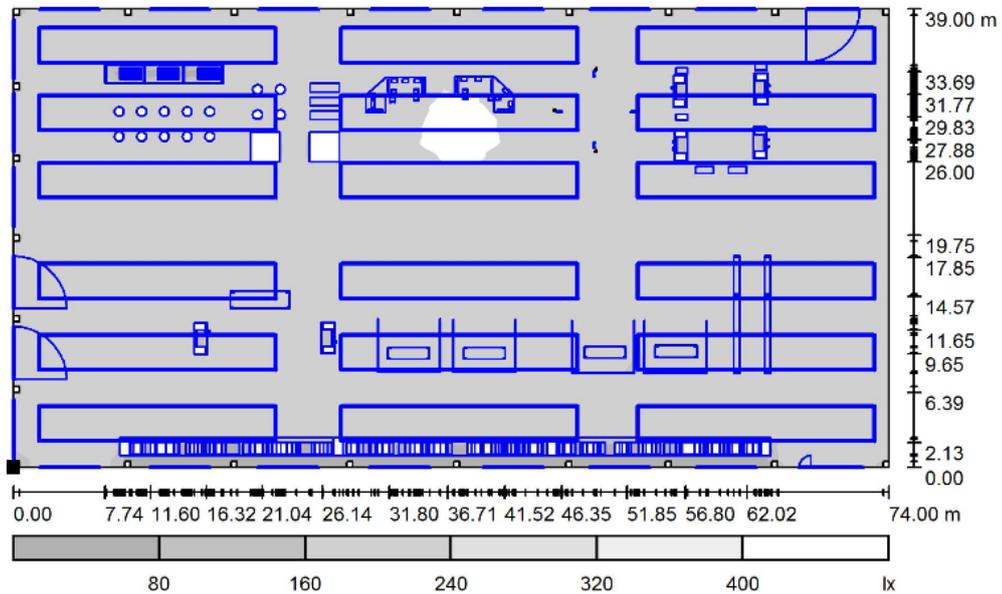
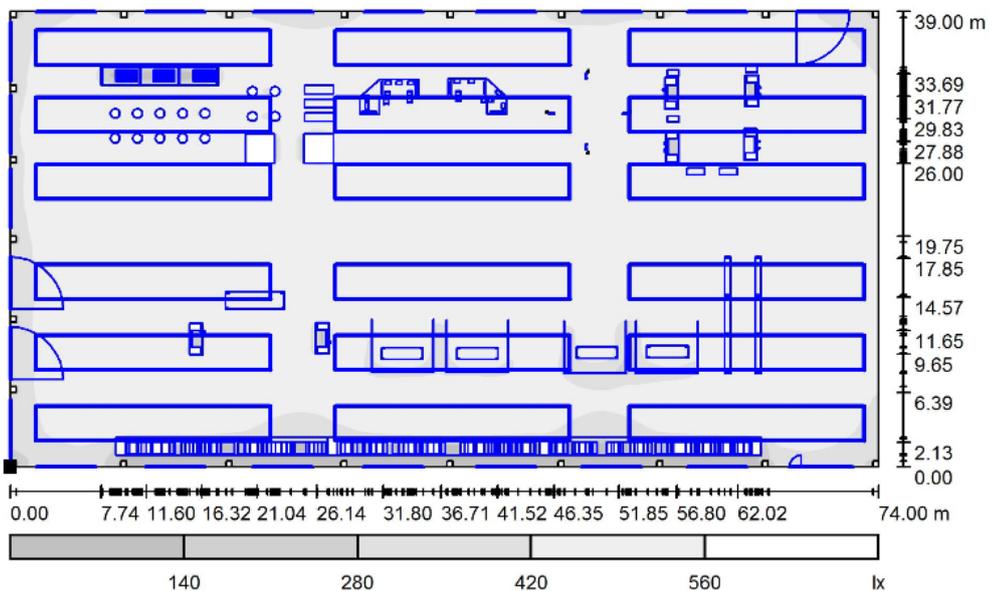
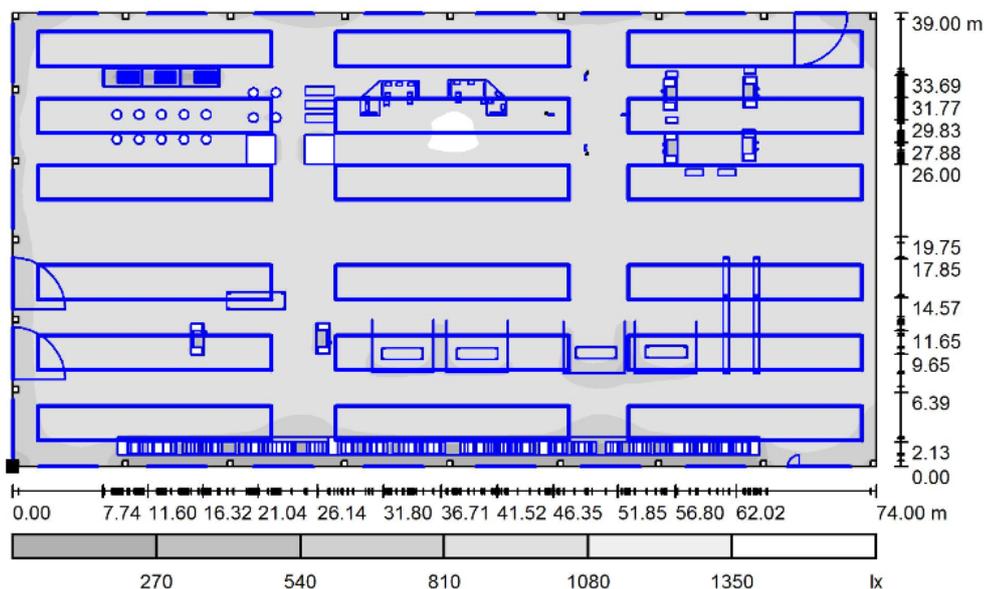


Ilustración 25: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 21 de diciembre



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 27: Resultados en gama de grises para la propuesta 2 a las 12:00h del día 23 de junio*



Los resultados obtenidos sobre los principales parámetros tras la simulación de la propuesta 2 para las escenas de luz son los siguientes:

*Tabla 10: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 2*

ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
21/12/17 - 10:00 am	308	16	412	0,051	0,038	Posible
21/12/17 - 12:00 am	522	26	699	0,051	0,038	Posible
23/06/17 - 12:00 am	1024	52	1371	0,051	0,038	Posible

*Tabla 11: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 2*

ZONA	ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
A	21/12/17 - 10:00 am	319	223	382	0,70	0,58
A	21/12/17 - 12:00 am	541	378	648	0,70	0,58
A	23/06/17 - 12:00 am	1038	741	1272	0,71	0,58
B	21/12/17 - 10:00 am	334	318	382	0,95	0,83
B	21/12/17 - 12:00 am	574	506	647	0,88	0,78

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

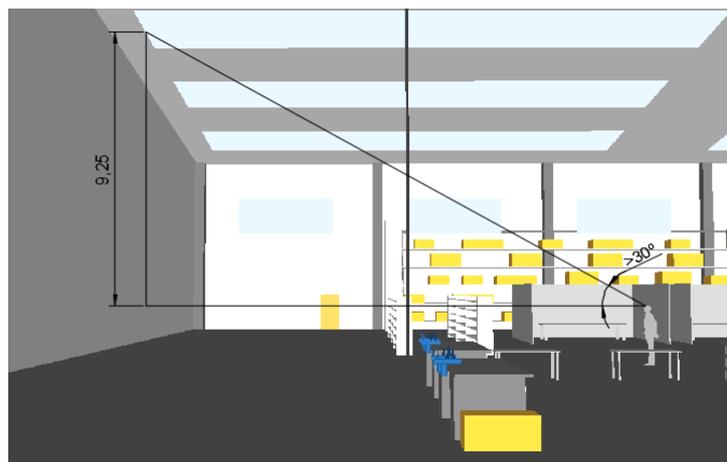
B	23/06/17 - 12:00 am	1145	1056	1269	0,92	0,83
C	21/12/17 - 10:00 am	350	309	406	0,88	0,76
C	21/12/17 - 12:00 am	593	524	687	0,88	0,76
C	23/06/17 - 12:00 am	1164	1028	1349	0,88	0,76

De nuevo los niveles mínimos que aparecen en la *Tabla 10*, se encuentran tras la estantería situada en la fachada este, zona que no es de paso por lo que el análisis por zonas es más representativo. En cuanto a la iluminación media es excelente ya que se obtienen los niveles ideales exigidos desde primera hora de la mañana.

**DESLUMBRAMIENTOS:**

El estudio de posibles deslumbramientos para esta propuesta se realiza de igual manera que para la anterior. Dado que las ventanas laterales se encuentran ubicadas en las mismas posiciones que en la propuesta 1 la distancia a partir de la cual hay riesgo de deslumbramientos es la misma. Los lucernarios situados en cubierta se encuentran ubicados en distinta posición y orientación que en la propuesta 1 pero la altura a la que se encuentran sí que es la misma, por ello la distancia a aberturas en cubierta también será la misma.

*Ilustración 28: Estudio de deslumbramientos a aberturas laterales y cenitales PROPUESTA 2*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

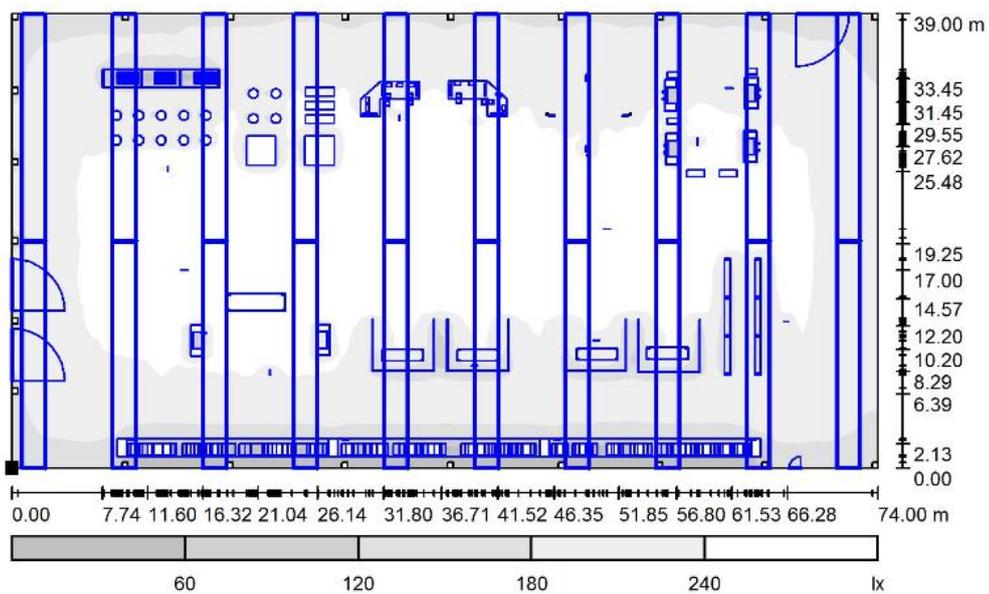
Tabla 12: Distancia a aperturas

Tipo de abertura	Distancia (m)
Lateral	6,5
Cenital	16

## 6.4.3. Resultados de la propuesta 3

Los resultados obtenidos sobre los niveles de iluminación tras la simulación de la propuesta 3 para las tres escenas de luz son los siguientes:

Ilustración 29: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 10:00h del día 21 de diciembre



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 30: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 21 de diciembre

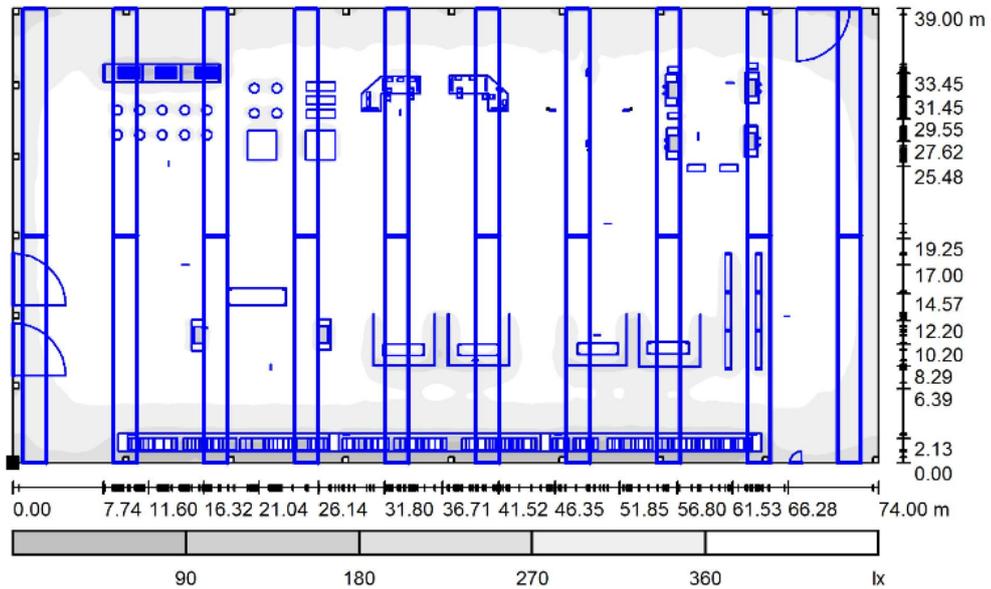
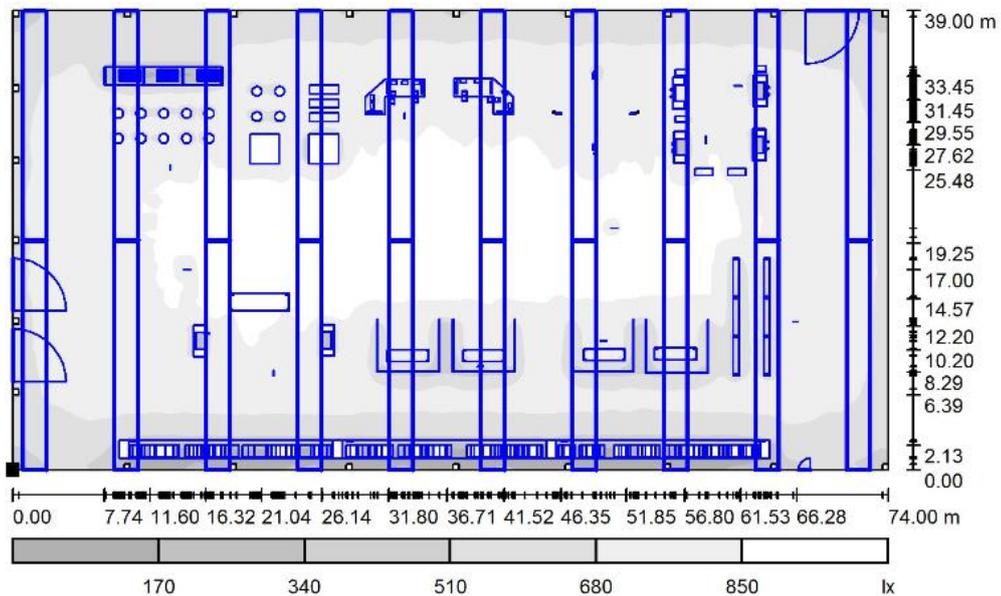


Ilustración 31: Resultados en gama de grises para la propuesta 3 a las 12:00h del día 23 de junio



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

Los resultados obtenidos sobre los principales parámetros tras la simulación de la propuesta 3 para las escenas de luz son los siguientes:

*Tabla 13: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 3*

ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
21/12/17 - 10:00 am	216	14	268	0,064	0,052	Posible
21/12/17 - 12:00 am	366	24	454	0,064	0,052	Posible
23/06/17 - 12:00 am	718	46	891	0,064	0,052	Posible

*Tabla 14: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la Propuesta 3*

ZONA	ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
A	21/12/17 - 10:00 am	223	168	265	0,75	0,63
A	21/12/17 - 12:00 am	377	284	449	0,75	0,63
A	23/06/17 - 12:00 am	741	557	881	0,75	0,63
B	21/12/17 - 10:00 am	233	210	265	0,90	0,79
B	21/12/17 - 12:00 am	435	407	449	0,94	0,91
B	23/06/17 - 12:00 am	854	779	881	0,91	0,88
C	21/12/17 - 10:00 am	251	223	265	0,89	0,84
C	21/12/17 - 12:00 am	424	378	448	0,89	0,84
C	23/06/17 - 12:00 am	894	742	920	0,83	0,81

Como se podía esperar los niveles de iluminación son menores en esta tercera propuesta que en la primera, sin embargo, la diferencia no es tan grande como se esperaba pues carece de aberturas laterales.

#### 6.4.4. Resultados de la propuesta 4

Los resultados obtenidos sobre los niveles de iluminación tras la simulación de la propuesta 4 para las tres escenas de luz son los siguientes:

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Ilustración 32: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 10:00h del día 21 de diciembre

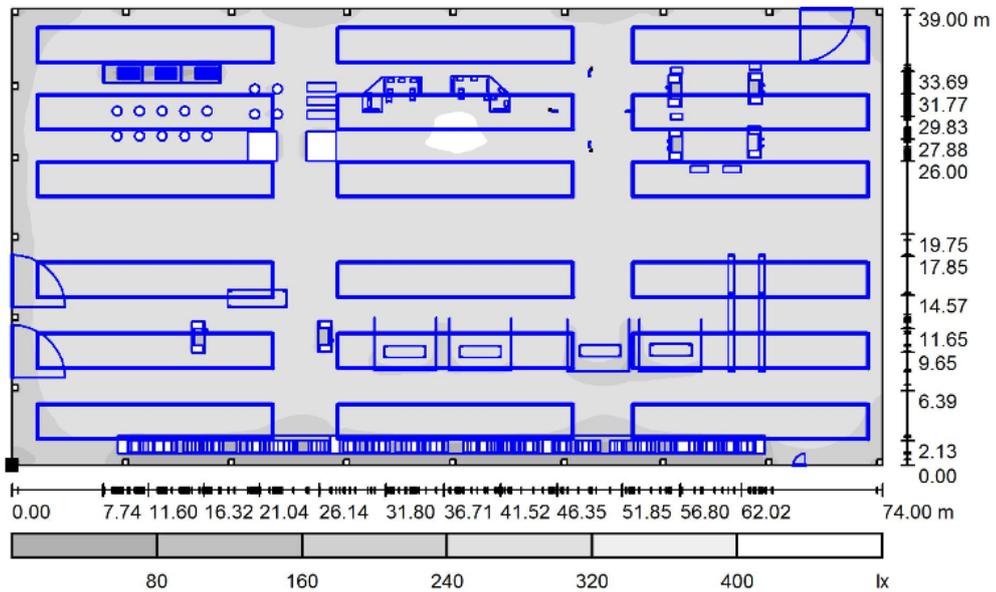
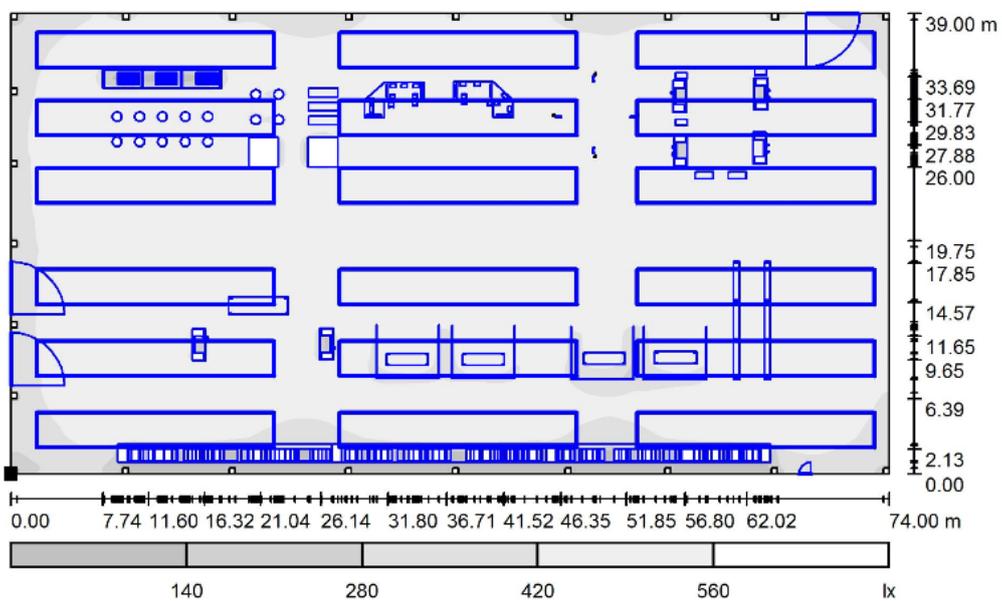
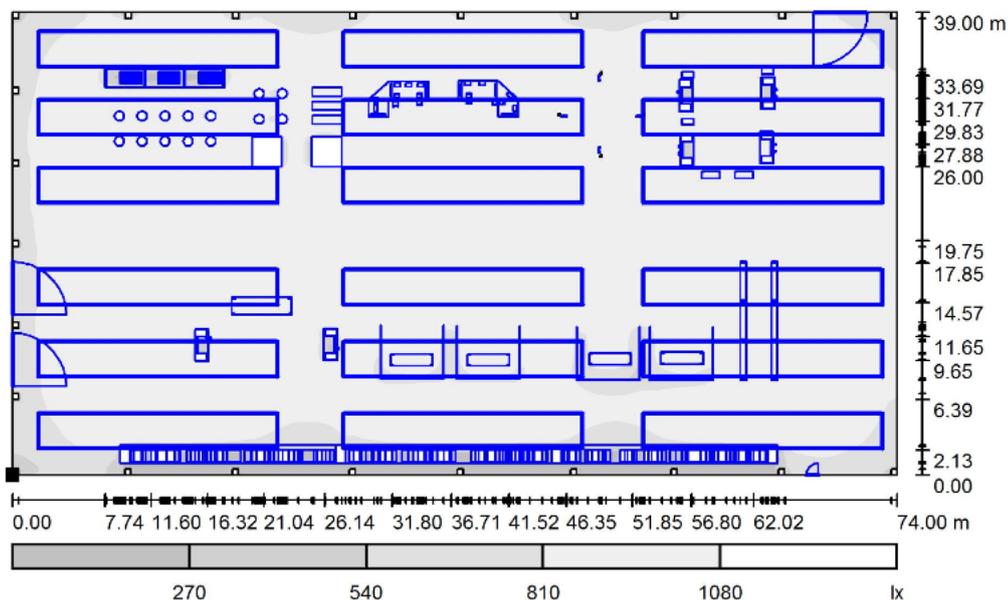


Ilustración 33: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de diciembre



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 34: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de junio*



Los resultados obtenidos sobre los principales parámetros tras la simulación de la propuesta 4 para las escenas de luz son los siguientes:

*Tabla 15: Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 4*

ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
21/12/17 - 10:00 am	303	16	407	0,049	0,036	Posible
21/12/17 - 12:00 am	513	27	690	0,049	0,036	Posible
23/06/17 - 12:00 am	1006	53	1354	0,049	0,036	Posible

*Tabla 16: Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 4*

ZONA	ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
A	21/12/17 - 10:00 am	307	197	380	0,64	0,52
A	21/12/17 - 12:00 am	530	334	643	0,63	0,52
A	23/06/17 - 12:00 am	1047	656	1262	0,63	0,52

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

B	21/12/17 - 10:00 am	342	315	380	0,92	0,83
B	21/12/17 - 12:00 am	579	533	644	0,92	0,83
B	23/06/17 - 12:00 am	1263	1047	1264	0,83	0,83
C	21/12/17 - 10:00 am	345	298	401	0,86	0,74
C	21/12/17 - 12:00 am	585	505	679	0,86	0,74
C	23/06/17 - 12:00 am	1147	992	1332	0,86	0,74

Como se puede observar en la propuesta 4 los niveles de iluminación superan los valores exigidos ya a primera hora de la mañana y en el análisis por zonas se garantiza los requerimientos de iluminación de cada área de trabajo. Cabe resaltar que, en verano, aunque se alcancen niveles superiores a los exigidos no es problema siempre que no se superen los 2000 lux que no se alcanzan ni en esta propuesta ni en ninguna de las anteriores.

#### **6.5. Selección de la propuesta más adecuada**

La propuesta más adecuada, será aquella que cumpla los valores óptimos que se resumen en la siguiente tabla:

*Tabla 17: Valores óptimos de los parámetros de iluminación*

ZONA	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	200	<2000	>0,3	No
B	300	<2000	>0,3	No
C	500	<2000	>0,3	No

Para la selección, se resumirán los resultados de cada propuesta en la escena de luz más crítica, día 21 de diciembre a las 10:00h y la del día 23 de junio a las 12:00h. De cumplirse los valores óptimos en invierno podría decirse que salvo condiciones meteorológicas adversas no haría falta iluminación artificial, y si en las horas en las que la iluminación exterior es máxima no se superan los 2000 lux significa que no existe deterioro del ambiente de trabajo.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

**Propuesta 1**

*Tabla 18: Resumen resultados Propuesta 1*

ZONA	ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	INVIERNO	231	269	0,63	Posible
A	VERANO	769	894	0,63	
B	INVIERNO	260	268	0,90	Posible
B	VERANO	864	891	0,90	
C	INVIERNO	331	268	0,87	Posible
C	VERANO	853	890	0,88	

El promedio de iluminación  $E_m$  con esta propuesta no cumple con el requerimiento de 245 lux obtenido mediante la ecuación (4) en la época de invierno.

En la zona A, se requieren 200 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona B, se requieren 300 lux que no se cumplen en la época de invierno.

En la zona C, se requieren 500 lux que no se cumplen en la época de invierno.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$ , supera sobradamente el 0,3 recomendado en todas las zonas. De forma global en la planta, el factor de uniformidad queda muy alejado del recomendado por las razones expuestas en el apartado anterior.

Los deslumbramientos son posibles debido a la presencia de ventanas laterales situadas a una altura menor a 10 metros.

*Tabla 19: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 1*

ZONA	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	Cumple	Cumple	Cumple	Posible
B	No cumple	Cumple	Cumple	Posible
C	No cumple	Cumple	Cumple	Posible

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

**Propuesta 2**

*Tabla 20: Resumen resultados Propuesta 2*

ZONA	ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	INVIERNO	319	382	0,58	Posible
A	VERANO	1038	1272	0,58	
B	INVIERNO	334	382	0,83	Posible
B	VERANO	1145	1269	0,83	
C	INVIERNO	350	406	0,76	Posible
C	VERANO	1164	1349	0,76	

El promedio de iluminación  $E_m$  con esta propuesta cumple con el requerimiento de 245 lux obtenido mediante la ecuación (4) en la época de invierno.

En la zona A, se requieren 200 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona B, se requieren 300 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona C, se requieren 500 lux que no se cumplen en la época de invierno.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$ , supera sobradamente el 0,3 recomendado en todas las zonas.

Los deslumbramientos son posibles debido a la presencia de ventanas laterales situadas a una altura menor a 10 metros.

*Tabla 21: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 2*

ZONA	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	Cumple	Cumple	Cumple	Posibles
B	Cumple	Cumple	Cumple	Posibles
C	No cumple	Cumple	Cumple	Posibles

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

**Propuesta 3**

*Tabla 22: Resumen resultados Propuesta 3*

ZONA	ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	INVIERNO	223	265	0,63	No
A	VERANO	741	881	0,63	
B	INVIERNO	233	265	0,79	No
B	VERANO	854	881	0,88	
C	INVIERNO	251	265	0,84	No
C	VERANO	894	920	0,81	

El promedio de iluminación  $E_m$  con esta propuesta no cumple con el requerimiento de 245 lux obtenido mediante la ecuación (4) en la época de invierno.

En la zona A, se requieren 200 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona B, se requieren 300 lux que no se cumplen en la época de invierno.

En la zona C, se requieren 500 lux que no se cumplen en la época de invierno.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$ , supera sobradamente el 0,3 recomendado en todas las zonas.

Los deslumbramientos no son posibles debido a la inexistencia de aberturas a menos de 10 metros.

*Tabla 23: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 3*

ZONA	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	Cumple	Cumple	Cumple	No
B	No cumple	Cumple	Cumple	No
C	No cumple	Cumple	Cumple	No

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

**Propuesta 4**

*Tabla 24: Resumen resultados Propuesta 4*

ZONA	ESCENA DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	INVIERNO	307	380	0,52	No
A	VERANO	1047	1262	0,52	
B	INVIERNO	342	380	0,83	No
B	VERANO	1263	1264	0,83	
C	INVIERNO	345	401	0,74	No
C	VERANO	1147	1332	0,74	

El promedio de iluminación  $E_m$  con esta propuesta cumple con el requerimiento de 245 lux obtenido mediante la ecuación (4) en la época de invierno.

En la zona A, se requieren 200 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona B, se requieren 300 lux que se cumplen tanto en invierno como en verano.

En la zona C, se requieren 500 lux que no se cumplen en la época de invierno.

El factor de uniformidad  $E_{min}/E_{max}$ , supera sobradamente el 0,3 recomendado en todas las zonas.

Los deslumbramientos no son posibles debido a la inexistencia de aberturas a menos de 10 metros.

*Tabla 25: Resumen cumplimiento de valores óptimos de la Propuesta 4*

ZONA	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	Deslumbramientos
A	Cumple	Cumple	Cumple	No
B	Cumple	Cumple	Cumple	No
C	No cumple	Cumple	Cumple	No

### 6.5.1. Desarrollo de la propuesta seleccionada

A la hora de seleccionar la propuesta más adecuada, se opta por descartar las dos primeras. En ellas, la superficie de aberturas es mucho mayor debido a la presencia de ventanas laterales, sin embargo, no se alcanzan mejores niveles de iluminación que en las propuestas 3 y 4. Otra de las razones es la posibilidad de deslumbramientos. Dadas las actividades que se llevan a cabo en la planta, las aberturas laterales podrían ser origen de deslumbramientos especialmente en la zona de ensamblaje.

Descartadas las propuestas 1 y 2, la propuesta 3 cumple con los parámetros de iluminación máxima y uniformidad en las tres zonas de actividad, sin embargo, no se alcanzan los 245 lux recomendados para el sistema. En cuanto al análisis por zonas destacar que en las zonas B y C donde se exigen niveles más elevados debido a las actividades que se llevan a cabo tampoco se cumplen los niveles requeridos.

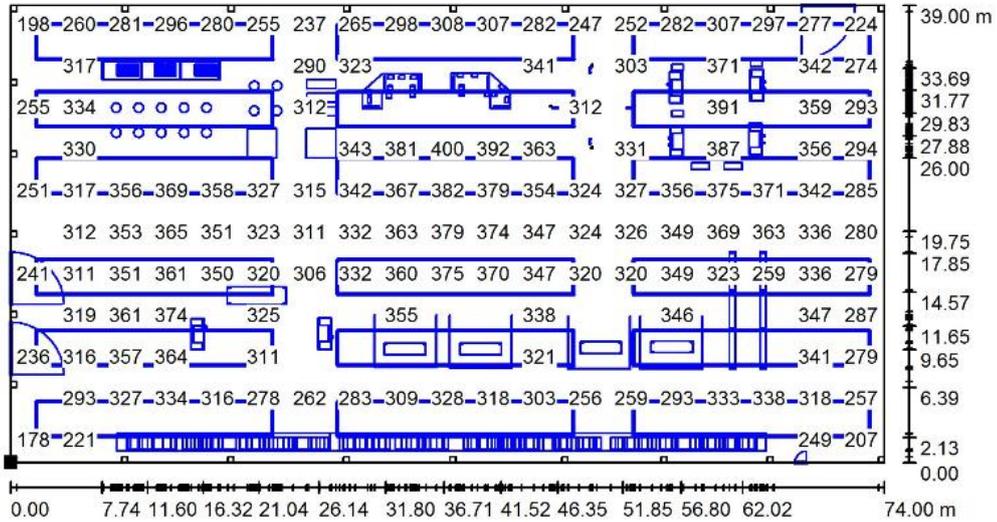
La propuesta 4 cumple todos los parámetros excepto el nivel requerido en la zona C en la escena de luz más restrictiva. Además, es la que menor superficie de aberturas utiliza lo que supone una importante ventaja económica. Por todo ello, la propuesta 4 es la seleccionada como sistema de iluminación para la planta.

Con la intención de cumplir todos los parámetros con la propuesta seleccionada se opta por buscar una mejora de la misma. Tras estudiar los gráficos de valores que genera el software DIALux para cada propuesta se observa como los puntos donde se alcanzan mayores niveles de iluminación están situados en la zona central que corresponde a un gran pasillo y por lo tanto están incluidos en la zona A. Como solución se plantea la posibilidad de situar los puestos de trabajo algo más centrados con el eje longitudinal de la nave, reduciendo la anchura del pasillo central y aumentando la de los pasillos laterales.

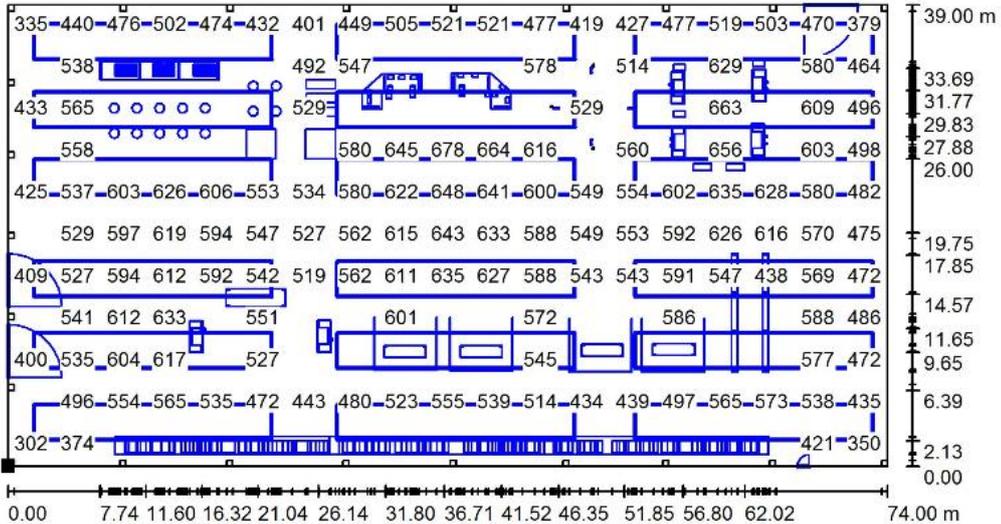
En las siguientes imágenes se muestran los gráficos de valores para la propuesta 4 en las tres escenas de luz:

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 35: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 10:00h del día 21 de diciembre*

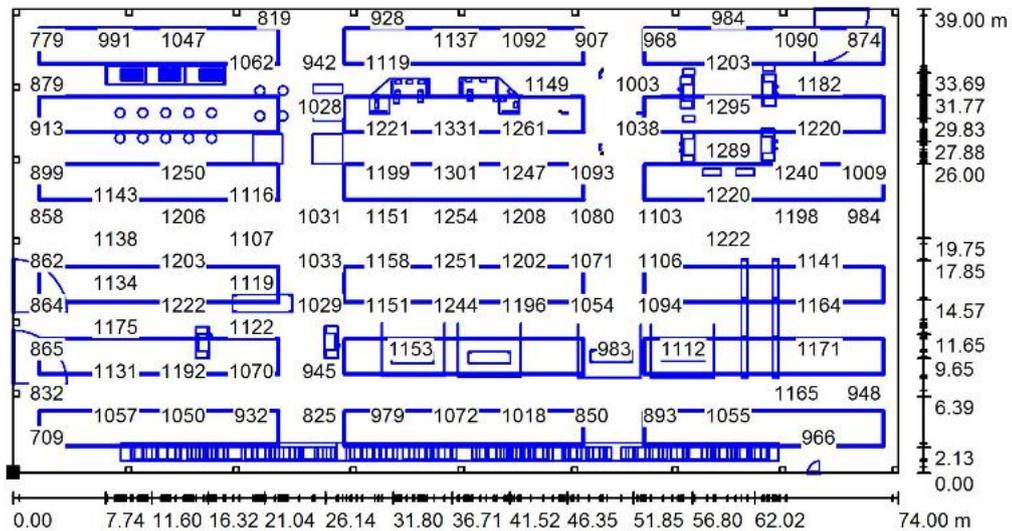


*Ilustración 36: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 12:00h del día 21 de diciembre*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Ilustración 37: Resultados en Gráfico de valores para la propuesta 4 a las 12:00h del día 23 de junio*



Una vez ha sido seleccionada la mejor propuesta se opta por introducir dos nuevas escenas de luz, una el 21 de diciembre a las 9:00 h y el 23 de junio a la misma hora. Esto se debe a que la planta industrial en cuestión tiene un horario de trabajo de 9:00 h a 21:00 h. Previamente se establecieron las escenas de luz a partir de las 10:00 h, esto es debido a que siempre será necesario disponer de un sistema de iluminación artificial y aunque el objetivo es hacer uso de esta el menor tiempo posible conseguir los niveles de iluminación requeridos pasada únicamente una hora desde el inicio de la jornada supondrá una mejora energética considerable.

*Tabla 26: Resultados gráficos de valores (E) para la Propuesta 4*

ESCENAS DE LUZ	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
21/12/17 - 09:00 am	134	7	181	0,053	0,039
23/06/17 - 09:00 am	506	27	681	0,053	0,039

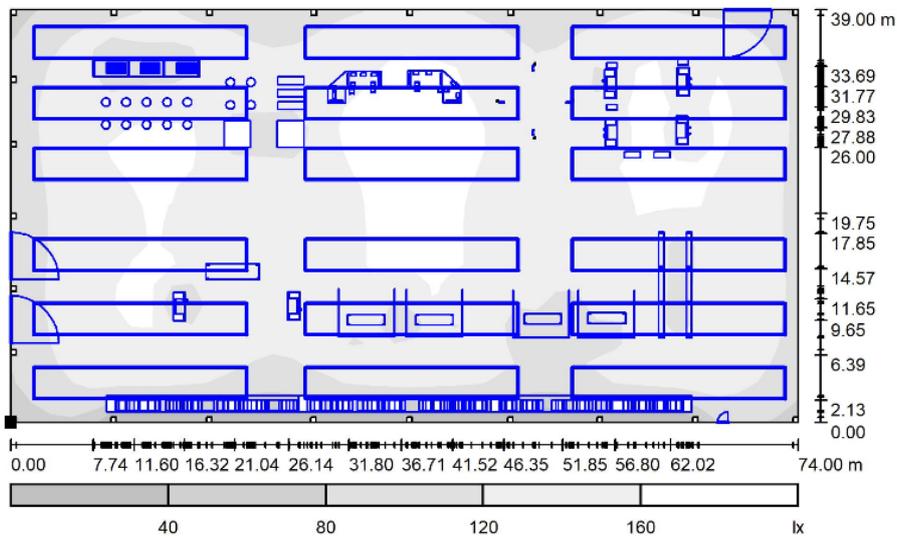
Como se observa en la *Tabla 35*, el nivel medio de iluminación en la escena de invierno a las 9:00 h se encuentra alejado del requerido (245 lux) por lo tanto durante la primera hora de la jornada en invierno será imprescindible un aporte de iluminación artificial. Sin embargo, durante la época de verano los resultados obtenidos apuntan a que si las condiciones meteorológicas lo permiten, la planta podría trabajar desde primera hora de la mañana con iluminación exclusivamente natural.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

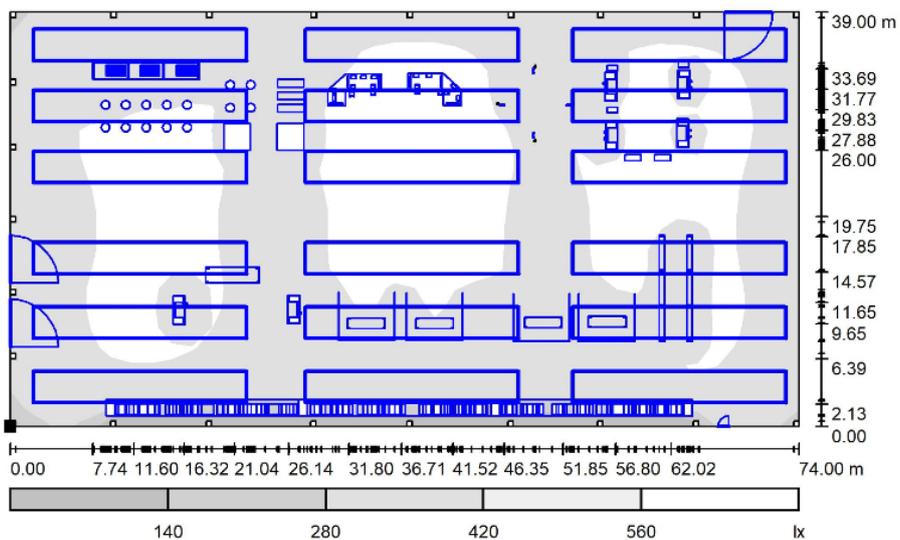
En cuento a los niveles minimos y valores de uniformidad visibles en la *Tabla 26*, se deben de nuevo a la estanteria situada en la fachada este de la planta y aunque sean muy bajos no repercuten en las actividades que si necesitan valores elevados de iluminacion para ser llevadas a cabo.

A continuaci3n se muestran los resultados de estas dos ultimas escenas de luz en diagramas en gama de grises.

*Ilustraci3n 38: Resultados en gama de grises para la propuesta 4 a las 9:00h del d3a 21 de diciembre*



*Ilustraci3n 39: Resultado en gama de grises para la propuesta 4 a las 9:00h del d3a 23 de junio*



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

## 6.6. Iluminación artificial

En este apartado se va a estudiar el sistema de iluminación artificial existente en la planta. Aunque el principal objetivo sea el máximo aprovechamiento de la iluminación natural una nave industrial siempre dispondrá de un sistema de iluminación artificial que garantice los niveles mínimos de iluminación en todo momento.

Para lograr una simulación del nivel de iluminación artificial en la planta se va a utilizar el software DIALux light. Introducidas las dimensiones de la nave y el nivel de iluminación medio requerido, que en este caso se situará por encima del real con la intención de garantizar los niveles necesarios para cada actividad se escoge la luminaria instalada.

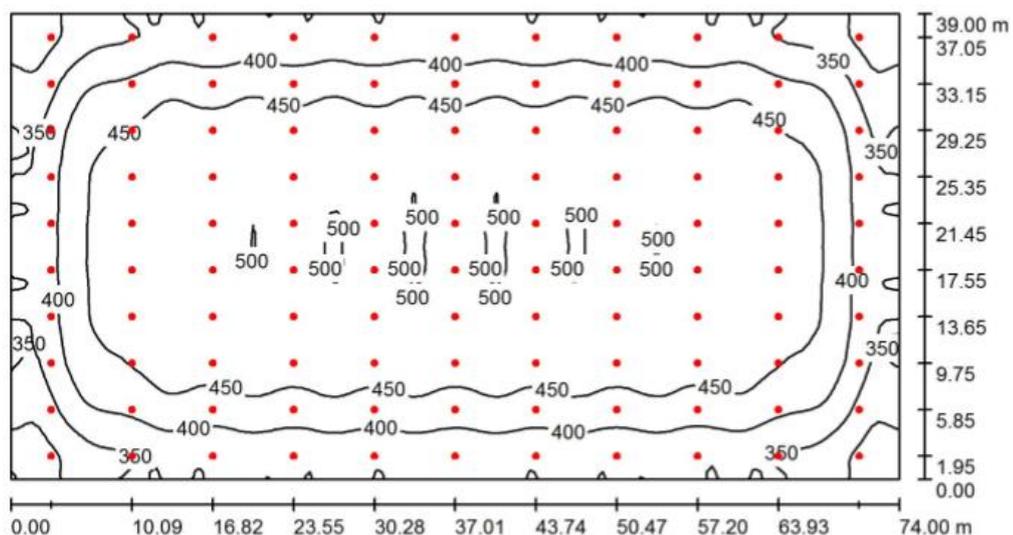
La luminaria instalada es una PHILIPS BY121P G2 LED205S/840 WB con una potencia unitaria de 198W. Esta luminaria es de tipo directo por lo que no existirán reflexiones sobre las paredes de la nave. Además, presenta numerosas ventajas por ser una iluminación LED: larga vida útil de servicio, calidad de luz fresca y menores costes de mantenimiento.

La iluminación de necesaria en la planta requiere de 110 puntos de luz que dan lugar a los siguientes resultados:

Tabla 27: Resultados DIALux light

Superficie	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
Plano útil	431	258	503	0,6	0,51

Ilustración 40: Simulación DIALux light



# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Los valores de eficiencia energética de una iluminación exclusivamente artificial son:

*Tabla 28: Eficiencia energética de la instalación*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
2886	1,75

## 6.7. Eficiencia energética con iluminación natural

El aprovechamiento de la iluminación natural depende como ya se ha dicho anteriormente de las condiciones meteorológicas y posicionamiento geográfico. La ubicación de la planta permite un aprovechamiento de luz natural de entorno al 70-90% de las horas de luz, por lo tanto, se plantean los siguientes casos:

- **CASO 1:** 100% Iluminación artificial
- **CASO 2:** 70% Iluminación natural 30% artificial
- **CASO 3:** 90% Iluminación natural 10% artificial

### CASO 1

*Tabla 29: VEEI CASO 1*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
2886	1,75

### CASO 2

*Tabla 30: VEEI CASO 2*

Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI ((W/m <sup>2</sup> )/100lux)
2886	0,53

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## **CASO 3**

*Tabla 31:VEEI CASO 3*

<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VEEI ((W/m<sup>2</sup>)/100lux)</b>
2886	0,18

El VEEI va disminuyendo conforme se reduce el porcentaje de iluminación artificial, por lo tanto, en un sistema donde el 100% sea iluminación natural el VEEI es 0 W/m<sup>2</sup>.

## **7. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Con la intención de justificar la inversión a realizar para la incorporación del sistema de iluminación se procede a realizar un estudio económico.

### **7.1. Presupuesto**

En el punto 1 del Anexo 1 se describe el presupuesto correspondiente a la instalación de lucernarios de la Propuesta 4. El Presupuesto Base de Licitación de dicha propuesta asciende a **86.598,59 €**.

### **7.2. Balance económico**

Para evaluar si el sistema de iluminación natural a incorporar se traduce en un ahorro energético es necesario analizar el consumo energético antes y después de instalar el sistema de iluminación. Para ello se hace una comparación de los costes derivados del consumo de energía eléctrica en los distintos casos.

Para ejecutar el estudio económico por parte de la empresa se ha facilitado una factura eléctrica. Actualmente, en la planta se trabaja durante todas las horas de la jornada laboral con el 100% de la iluminación artificial es por ello que la información que se extraiga de dicha factura es útil para todo el año sin importar a que mes del año corresponda la factura.

La factura eléctrica, se descompone en dos términos: término de potencia y término de energía. El término potencia corresponde a la potencia contratada, por lo tanto, es un coste fijo de la factura. Por otra parte, el término de energía es variable dependiendo del consumo de la maquinaria y las luminarias.

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

La tarifa eléctrica contratada por la empresa es la 3.0A, esta tiene un sistema de discriminación horaria en tres periodos de facturación que difieren en época de verano e invierno.

En las instalaciones se trabaja los 12 meses del año con un horario de 9:00 a 21:00 horas de lunes a viernes. Esto se traduce en 244 días al año y por consiguiente 2928 horas anuales.

En la *ilustración 41* se muestra la discriminación horaria de la tarifa, teniendo en cuenta el horario de trabajo se concluye que tanto en invierno como en verano se trabaja durante 4 horas en el periodo 1 y 8 horas en el periodo 2.

*Ilustración 41: Discriminación horaria tarifa 3.0A*

Península Ibérica		
	Invierno	Verano
<b>P1 - Punta</b>	18 - 22 h.	11 - 15 h.
<b>P2 - Llano</b>	8 - 18 h.	8 - 11 h.
<b>P3 - Valle</b>	22 - 24 h.	15 - 24 h.
<b>P3 - Valle</b>	0 - 8 h.	0 - 8 h.

(Fuente:<http://es.support.somenergia.coop/article/176-que-horarios-tienen-los-periodos-de-la-tarifa-3-0a>)

Los precios correspondientes a los términos término de potencia y energía se detallan en las siguientes tablas:

*Tabla 32: Precio y potencia del término potencia en cada periodo*

Periodo	Tp (KW)	Precio (€/KW*día)
<b>P1</b>	37	0,111586
<b>P2</b>	42,5	0,066952
<b>P3</b>	35	0,044634

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Tabla 33: Precio del término energía en cada periodo

Periodo	Precio (€/KW*h)
P1	0,101299
P2	0,091252
P3	0,073584

Conocidos los precios de cada periodo de facturación lo siguiente es calcular el coste anual derivado del consumo de las luminarias en la situación actual, la cual utiliza un sistema de iluminación 100% artificial. Para ello, imprescindible saber los días trabajados en cada mes y las horas que se trabajan en cada periodo. Las horas trabajadas en cada periodo se conocen y son 4 horas para el periodo 1 y 8 horas para el periodo 2.

En la siguiente tabla se muestran los días trabajados al mes:

Tabla 34: Días trabajados al mes

Mes	Días
ENERO	21
FEBRERO	20
MARZO	21
ABRIL	15
MAYO	22
JUNIO	21
JULIO	21
AGOSTO	22
SEPTIEMBRE	21
OCTUBRE	21
NOVIEMBRE	21
DICIEMBRE	18

## TÉRMINO POTENCIA

El término de potencia se calcula de mediante la siguiente expresión:

$$T_p = \sum_i (P_i \cdot p_i \cdot d) \quad (6)$$

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Donde:

- $P_i$ : Potencia en cada periodo (KW)
- $p_i$ : Precio en cada periodo (€/KW día)
- $d$ : Días en cada mes

## TÉRMINO ENERGIA

El término energía como se ha comentado anteriormente es variable y depende del número de luminarias, su potencia y para su cálculo de sigue la siguiente expresión:

$$T_e = \sum_i (P_{lum} \cdot N \cdot p_i \cdot h_i) \cdot d \quad (7)$$

Donde:

- $P_{lum}$ : Potencia unitaria de luminaria (KW)
- $N$ : Numero de luminarias
- $p_i$ : Precio en cada periodo (€/KW h)
- $h_i$ : horas en cada periodo
- $d$ : Días en cada mes

Calculados los términos de potencia y energía se impone un impuesto sobre la electricidad y el IVA, lo cuales se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Impuesto sobre electricidad (€)} = (T_p + T_e) \cdot 1,051127 \quad (8)$$

$$\text{IVA(€)} = (T_p + T_e + \text{Imp. Electricidad}) * 1.21 \quad (9)$$

### **7.2.1. Iluminación 100% artificial (situación actual)**

La factura anual correspondiente a la situación actual en la cual la iluminación es totalmente artificial se compone de 110 luminarias con una potencia unitaria de 198 W es:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

*Tabla 35: Importe factura anual electricidad para la situación actual*

Mes	Término Energía (€)	Término Potencia (€)	Impuesto Electricidad (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
Enero	519,22	264,63	40,08	164,61	988,53
Febrero	494,50	239,02	37,50	154,04	925,06
Marzo	519,22	264,63	40,08	164,61	988,53
Abril	370,87	256,09	32,05	131,66	790,68
Mayo	543,95	264,63	41,34	169,80	1019,72
Junio	519,22	256,09	39,64	162,82	977,77
Julio	519,22	264,63	40,08	164,61	988,53
Agosto	543,95	264,63	41,34	169,80	1019,72
Septiembre	519,22	256,09	39,64	162,82	977,77
Octubre	519,22	264,63	40,08	164,61	988,53
Noviembre	519,22	256,09	39,64	162,82	977,77
Diciembre	445,05	264,63	36,28	149,03	894,99
					<b>11537,60 €</b>

Al gasto en electricidad hay que añadirle el importe correspondiente al mantenimiento y renovación de luminarias cuyo presupuesto esta detalladamente desglosado en el punto 2 del Anexo 2.

*Tabla 36: Gasto anual de la situación actual*

<b>Gasto electricidad anual</b>	<b>11.537,60 €</b>
<b>Gasto renovación luminarias anual</b>	<b>6340,13 €</b>
<b>Gasto total anual</b>	<b>17.877,73 €</b>

### 7.2.1. 30% iluminación artificial y 70% iluminación natural

Una vez implementado el sistema de iluminación natural, se busca el máximo aprovechamiento del mismo teniendo en cuenta que el sistema de iluminación artificial es absolutamente necesario.

A continuación, se estima el coste de la factura eléctrica cuando se utiliza un 30% de iluminación natural. Para ello, se considera que solo el 30% de las 110 luminarias instaladas se mantendrán encendidas, es decir, 33 luminarias con una potencia unitaria de 198 W.

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 37: Importe factura anual electricidad para un 30% de iluminación artificial*

Mes	Término Energía (€)	Término Potencia (€)	Impuesto Electricidad (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
Enero	150,19	264,63	21,21	87,11	523,13
Febrero	143,04	239,02	20,84	85,61	488,51
Marzo	150,19	264,63	21,21	87,11	523,13
Abril	107,28	256,09	19,01	78,10	460,48
Mayo	157,34	264,63	21,57	88,61	532,15
Junio	150,19	256,09	21,21	87,11	514,60
Julio	150,19	264,63	21,21	87,11	523,13
Agosto	157,34	264,63	21,57	88,61	532,15
Septiembre	150,19	256,09	21,21	87,11	514,60
Octubre	150,19	264,63	21,21	87,11	523,13
Noviembre	150,19	256,09	21,21	87,11	514,60
Diciembre	128,73	264,63	20,11	82,61	496,08
					<b>6145,70 €</b>

Para calcular el gasto total en este caso hay que tener en cuenta además del mantenimiento de las 33 luminarias cuyo presupuesto se encuentra en el Anexo 1, el mantenimiento de los lucernarios incorporados, este presupuesto se encuentra en el punto 1 del Anexo 1.

*Tabla 38: Gasto anual para un 30% de iluminación artificial*

<b>Gasto anual electricidad</b>	<b>6.145,70 €</b>
<b>Gasto anual renovación luminarias</b>	<b>1.902,04 €</b>
<b>Gasto anual mantenimiento lucernarios</b>	<b>657,70 €</b>
<b>Gasto total anual</b>	<b>8.705,34 €</b>

### 7.2.1. 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural

Siguiendo el proceso del punto anterior se obtiene el gasto anual cuando solo el 10% de la iluminación es artificial. En este caso solo el 10% de las luminarias serán utilizadas, es decir, 11 luminarias.

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

De nuevo, es necesario calcular el importe del mantenimiento de las 11 luminarias mientras que el gasto en el mantenimiento de los lucernarios será el mismo.

*Tabla 39: Importe factura anual electricidad para un 10% de iluminación artificial*

Mes	Término Energía (€)	Término Potencia (€)	Impuesto Electricidad (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
Enero	51,97	264,63	16,19	66,49	399,27
Febrero	49,50	239,02	16,06	65,97	370,54
Marzo	51,97	264,63	16,19	66,49	399,27
Abril	37,12	256,09	15,43	63,37	372,01
Mayo	54,44	264,63	16,31	67,00	402,39
Junio	51,97	256,09	16,19	66,49	390,73
Julio	51,97	264,63	16,19	66,49	399,27
Agosto	54,44	264,63	16,31	67,00	402,39
Septiembre	51,97	256,09	16,19	66,49	390,73
Octubre	51,97	264,63	16,19	66,49	399,27
Noviembre	51,97	256,09	16,19	66,49	390,73
Diciembre	44,55	264,63	15,81	64,93	389,91
					<b>4706,50</b>

*Tabla 40: Gasto anual para un 10% de iluminación artificial*

<b>Gasto anual electricidad</b>	<b>4.706,50 €</b>
<b>Gasto anual renovación luminarias</b>	<b>634,01 €</b>
<b>Gasto anual mantenimiento lucernarios</b>	<b>657,70 €</b>
<b>Gasto total anual</b>	<b>5.998,11 €</b>

### **7.3. Rentabilidad del proyecto**

Una vez obtenidos los costes anuales correspondientes a la implementación del sistema de iluminación en cada uno de los distintos supuestos se realiza una evaluación del gasto y

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

ahorro y se compara con el sistema de iluminación totalmente artificial con el fin de estudiar la viabilidad de cada uno de los distintos casos de estudio.

El estudio de la rentabilidad de un proyecto es de vital importancia pues la empresa va a invertir un capital que espera recuperar en unos años y que posteriormente le reporte un beneficio.

Tabla 41: Comparativa del gasto y flujo de caja para cada caso

CASO	Gasto	Flujo de caja
100% iluminación artificial	17.877,73 €	-
30% iluminación artificial y 70% iluminación natural	8.705,34 €	9.172,39 €
10% iluminación artificial y 90% iluminación natural	5.998,11 €	1.1879,62 €
100% iluminación natural	657,6 €	17.220,13 €

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la implementación de un sistema de iluminación mixto permite un ahorro importante en el gasto eléctrico. En el caso de que se pudiese incorporar un sistema de iluminación totalmente natural el flujo de caja anual sería la resta del mantenimiento de lucernarios a el importe total de la factura eléctrica. Este caso sería el ideal, pero como ya se ha comentado anteriormente no es posible debido a la procedencia de la luz.

Para el estudio de la rentabilidad del proyecto se calculan dos parámetros que son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN refleja el valor actualizado de los todos los flujos de caja, es decir, el valor actual del dinero y su efecto sobre la rentabilidad.

La expresión para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1+i)^t} - I_0 \quad (10)$$

Donde:

- **CF** : Flujo de caja
- **n** : horizonte temporal
- **t** : interés (tanto por 1)
- **I<sub>0</sub>** : Inversión inicial

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

Un valor positivo del VAN indica que la empresa gana más que la tasa de interés utilizada y por tanto es rentable. Por el contrario, un valor negativo significa que la empresa gana menos dinero que esa tasa y por lo tanto as asumir un riesgo que no reporta beneficios.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) proporciona el interés para un valor de VAN igual a cero, por lo tanto, cuanto mayor sea este índice más rentable será. La expresión que permite el cálculo es la misma que la *expresión (10)* con una ligera modificación.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (11)$$

Se considera una vida útil del proyecto de 30 años para el cálculo de los parámetros de rentabilidad.

El sistema de iluminación exclusivamente natural no es viable, pero dará un valor de TIR referencia que irá disminuyendo conforme el porcentaje de iluminación natural se haga pequeño.

*Tabla 42: VAN y TIR para un sistema de iluminación 100% natural*

CASO	VAN 10%	VAN 15%	VAN 20 %	TIR
100% iluminación natural	107261,9	75734,1	-860,66	19,80%

A la vista de la *Tabla 42*, el proyecto será rentable siempre que los intereses sean inferiores al 19,8%, esto marca el máximo pues en los siguientes casos el TIR será menor.

*Tabla 43: VAN y TIR para los sistemas de iluminación*

CASO	VAN 8%	VAN 10%	VAN 12%	VAN 14%	TIR
30% iluminación artificial y 70% iluminación natural	16662,19	-131,25	-12713,3	-22367,4	9,98%
10% iluminación artificial y 90% iluminación natural	47139,6	25389,57	9093,93	-3409,6	13,45%

Como era de esperar, el sistema de iluminación mixto que incluye un mayor porcentaje de iluminación artificial presenta un TIR menor por lo que es más restrictivo. El sistema que utiliza un 30% de iluminación artificial será rentable si los intereses son menores al 9,98%. Mientras

## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

que el sistema que utiliza un 10% de iluminación artificial será rentable si los intereses no superan el 13,45%.

Como último indicativo de rentabilidad se calcula el periodo de retorno más intereses que indica el periodo de tiempo en el cual se recuperará la inversión mediante el flujo de caja. La expresión que permite el cálculo de es la *expresión (10)* utilizada anteriormente para calcular el VAN y el TIR.

El interés utilizado es un 3%, este valor fue calculado de la siguiente manera: A través del Instituto Nacional de Estadística se obtuvieron los valores de Índice de Precios de Consumo de los 10 años anteriores a la crisis (1997-2007) y se ajustó a una línea de tendencia con el fin de obtener el valor que correspondería al año actual si se obviase la recesión sufrida. Posteriormente se obtiene el Valor Acumulado actualizado para el interés seleccionado y el año en el que el valor pasa de negativo a positivo es el Periodo de Retorno.

El Periodo de Retorno más el 3% de intereses obtenido para los distintos casos es:

- 30% Iluminación artificial y 70% iluminación natural: Entre el **décimo y onceavo** año.
- 10% iluminación artificial y 90% iluminación natural: Entre el **octavo y noveno** año.

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

## 8. CONCLUSIONES

Del presente trabajo se obtienen las siguientes conclusiones:

- La superficie de aberturas calculada mediante el método analítico es pequeña y es necesario incrementarla para conseguir los niveles de iluminación requeridos según la norma UNE 1246.1 de iluminación en interiores.
- Los requerimientos de iluminación impuestos por la norma UNE 1246.1 han sido alcanzados por una de las propuestas estudiadas.
- La propuesta seleccionada cumple con el parámetro de uniformidad en todas las escenas de luz estudiadas.
- La ubicación de las aberturas en la propuesta seleccionada asegura la inexistencia de riesgos de deslumbramiento en todas las zonas de actividad excepto en el área de ensamblaje donde si fuese necesario se colocarían elementos como barrera a la incidencia directa de luz.
- La propuesta seleccionada proporciona la iluminación necesaria en la escena de luz más desfavorable (21 diciembre a las 10:00 am) en 2 de las 3 zonas en las que ha sido dividida la planta. Además, no supera los 2000 lux en la escena de luz de verano a las 12:00 am.
- Los sistemas de iluminación mixta estudiados: 10% y 30% de iluminación natural conllevan un importante ahorro en la factura eléctrica teniendo en cuenta el mantenimiento tanto de luminarias como de lucernarios.
- El proyecto es rentable siempre que el 10% de la iluminación sea artificial y los intereses menores al 13,45% y en el caso de que el 30% de la iluminación sea artificial los intereses deben ser menores al 9,98%.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

**9. BIBLIOGRAFÍA**

- <http://www.tlv.com/global/LA/>
- <http://www.rbaviera.com/es>
- Apuntes Poliformat de Calor y Frio Industrial.
- Apuntes Poliformat de Construcción y Arquitectura Industrial.
- Apuntes Poliformat de Proyectos de Ingeniería Química.
- IDAE: Guía Técnica – Aprovechamiento de luz natural en la iluminación de edificios.
- UNE 12464.1 Norma Europea sobre iluminación para interiores.
- Código Técnico de la edificación.
- Base de precios del Instituto Valenciano de la Edificación.

# **PRESUPUESTO**

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

**1. PRESUPUESTO INSTALACIÓN DE LUCERNARIOS**

El siguiente presupuesto corresponde a la instalación de la **propuesta 4**, para su realización se van a utilizar los precios publicados en el IVE de Julio 2016.

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 44: Cuadro de precios descompuestos de la instalación de lucernarios*

<b>COD</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>01.01</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Apertura del hueco</b>				
	h	Oficial 1ª vidrio	0,3	12,91 €	3,87 €	
	h	Oficial 2ª vidrio	0,3	11,00 €	3,30 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74€	
	%	Costes Directos	0,02	8,91 €	0,18€	
<b>01.02</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>				
	m	Perfil aluminio	1	8,37 €	8,37 €	
	h	Oficial 1ª aluminio	0,3	16,49 €	4,95 €	
	h	Oficial 2ª aluminio	0,3	12,95 €	3,89 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74 €	
	%	Costes Directos	0,02	18,94 €	0,38 €	
					<b>19,33 €</b>	
<b>01.03</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación policarbonatos</b>				
	m	Placa policarbonato	1	32,82 €	32,82 €	
	h	Oficial 1ª aluminio	0,3	16,49 €	4,95 €	
	h	Oficial 2ª aluminio	0,3	12,95 €	3,89 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74 €	
	%	Costes Directos	0,02	43,39 €	0,87 €	
					<b>44,27 €</b>	
<b>01.04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>				
	m	Especialista de metal	0,3	14,10 €	4,23 €	
	h	Oficial 2ª vidrio	0,3	11,00 €	3,30 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74 €	
	%	Costes directos	0,02	9,27 €	0,19 €	
					<b>9,46 €</b>	

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 45: Cuadro de mediciones de la instalación de lucernarios*

<b>COD</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>N</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>	<b>ALTO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	
<b>1.01</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Apertura del hueco</b>							
	m <sup>2</sup>	Lucernario	12	3,00	20,00		720,00		
								<b>720,00</b>	
<b>1.02</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>							
	m <sup>2</sup>	Lucernario	12	3,00	20,00		720,00		
								<b>720,00</b>	
<b>1.03</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación policarbonatos</b>							
	m <sup>2</sup>	Lucernario	12	3,00	20,00		720,00		
								<b>720,00</b>	
<b>1.04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Colocación perfiles metálicos</b>							
	m <sup>2</sup>	Lucernario	12	3,00	20,00		720,00		
								<b>720,00</b>	

*Tabla 46: Cuadro de precios parciales de la instalación de lucernarios*

<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1.01</b>	Apertura del hueco	6.544,80 €	
<b>1.02</b>	Colocación perfiles metálicos	13.917,60 €	
<b>1.03</b>	Colocación policarbonatos	31.874,40 €	
<b>1.04</b>	Colocación perfiles metálicos	6.811,20 €	
			<b>59.148 €</b>

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

---

La suma de los precios parciales es el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), que asciende a 59.148 euros. A este presupuesto hay que sumarle los Gastos Generales (15% PEM) y el Beneficio Industrial (6% PEM) para obtener el Presupuesto de Ejecución por contrata (PEC) que tiene un valor de 71.569,08 euros.

Finalmente, al PEC hay que sumarle el IVA (21% PEC), dando lugar al Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 47: Presupuesto de la instalación de lucernarios*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	59.148 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	71.569,08 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>86.598,59 €</b>

A continuación, se expone el presupuesto correspondiente al mantenimiento de los lucernarios instalados para el sistema de iluminación natural. El mantenimiento se hará cada 5 años.

*Tabla 48: Cuadro de precios descompuestos del mantenimiento de lucernarios*

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

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 49: Cuadro de mediciones del mantenimiento de lucernarios*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL	
1.01	m <sup>2</sup>	<b>Mantenimiento de lucernarios</b>							
	m <sup>2</sup>	Lucernario	12	3,00	20,00		720,00		
									<b>720,00</b>

*Tabla 50: Cuadro de precios parciales del mantenimiento de lucernarios*

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
1.01	Mantenimiento de lucernarios	2.246,40 €	
			<b>2.246,40 €</b>

Como en el presupuesto anterior, el Presupuesto Base de Licitación se obtiene aplicando el IVA al Presupuesto de Ejecución por Contrata, que a su vez se obtiene tras aplicar los gastos generales y el beneficio industrial correspondiente al Presupuesto de Ejecución Material.

*Tabla 51: Presupuesto del mantenimiento de lucernarios*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	2.246,40 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	2.718,14 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>3.288,95 €</b>

*Tabla 52: Presupuesto total del mantenimiento de lucernarios*

<b>PRESUPUESTO TOTAL (5 años)</b>	<b>3.288,95 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>657,80 €</b>

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

**2. PRESUPUESTO MANTENIMIENTO DE LUMINARIAS**

El siguiente presupuesto corresponde a la renovación de las luminarias. Las luminarias utilizadas tienen una vida útil de entre 30.000 y 50.000 horas. La planta funciona durante 2.928 horas.

Si las luminarias tienen una vida útil media de 40.000 horas la renovación de luminarias se debe producir cada 13,67 años.

**2.1. Presupuesto mantenimiento del 100% de las luminarias**

*Tabla 53: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 100% de las luminarias*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL	
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	1	517,95 €	517,95 €		
	h	Peón electricidad	0,6	13,18 €	7,91 €		
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74€		
	%	Costes Directos	0,02	527,60 €	10,55 €		
							<b>538,15 €</b>

Si la planta funcionase con el 100% de iluminación artificial, o lo que es lo mismo, con las 110 luminarias existentes, el cuadro de mediciones del presente presupuesto queda así:

*Tabla 54: Cuadro de mediciones de la colocación del 100% de las luminarias*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL	
1.01	Ud	<b>Renovación de luminarias</b>							
	Ud	Luminaria	110						
									<b>110,00</b>

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

---

*Tabla 55: Cuadro de precios parciales de la colocación del 100% de las luminarias*

<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1.01</b>	Mantenimiento de luminarias	59.122,80 €	
			<b>59.196,50 €</b>

De la misma forma que en los presupuestos anteriores, se obtienen el Presupuesto de Ejecución Material el Presupuesto de Ejecución por Contrata y finalmente el Presupuesto Base de Licitación.

*Tabla 56: Presupuesto de la colocación del 100% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>59.196,50 €</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	<b>71.627,77 €</b>
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>86.669,60 €</b>

*Tabla 57: Presupuesto total de la colocación del 100% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO TOTAL (13.67 años)</b>	<b>86.669,60 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>6340,13 €</b>

## **2.2. Presupuesto del mantenimiento del 30% de las luminarias**

El siguiente presupuesto corresponde a la renovación de las luminarias para el **caso 2** el cual utiliza un 30% de iluminación artificial y un 70% de iluminación natural.

Por lo tanto, el presupuesto corresponde a la renovación del 30% de las luminarias que en este caso son 33.

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 58: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 30% de las luminarias*

<b>COD</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>01.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Colocación luminarias</b>				
	Ud	Luminaria	1	517,95 €	517,95 €	
	h	Peón electricidad	0,6	13,18 €	7,91 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74€	
	%	Costes Directos	0,02	527,60 €	10,55 €	

*Tabla 59: Cuadro de mediciones de la colocación del 30% de las luminarias*

<b>COD</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>N</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>	<b>ALTO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Renovación de luminarias</b>						
	Ud	Luminaria	33					

*Tabla 60: Cuadro de precios parciales de la colocación del 30% de las luminarias*

<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1.01</b>	Mantenimiento de luminarias	17.758,95 €	
			<b>17.758,95 €</b>

*Tabla 61: Presupuesto de la colocación del 30% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	17.758,95 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	21.488,33 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>26.000,88 €</b>

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

*Tabla 62: Presupuesto total de la colocación del 30% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO TOTAL (13.67 años)</b>	<b>26.000,88 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>1902,04 €</b>

**2.3. Presupuesto mantenimiento del 10% de las luminarias**

Para calcular el presupuesto correspondiente al **caso 3** donde solo el 10% de la iluminación es artificial se realiza siguiendo los mismos pasos que en presupuestos anteriores. En este caso las luminarias a renovar son 11.

*Tabla 63: Cuadro de precios descompuestos de la colocación del 10% de las luminarias*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>01.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Colocación luminarias</b>				
	Ud	Luminaria	1	517,95 €	517,95 €	
	h	Peón electricidad	0,6	13,18 €	7,91 €	
	d	Grúa elevadora	0,013	133,90 €	1,74€	
	%	Costes Directos	0,02	527,60 €	10,55 €	

*Tabla 64: Cuadro de mediciones de la colocación del 30% de las luminarias*

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>1.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Renovación de luminarias</b>						
	Ud	Luminaria	11					

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR**

---

*Tabla 65: Cuadro de precios parciales de la colocación del 10% de las luminarias*

<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1.01</b>	Mantenimiento de luminarias	5.919,65 €	
			<b>5.919,65 €</b>

*Tabla 66: Presupuesto de la colocación del 10% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>5.919,65 €</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	<b>7.162,78 €</b>
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>8.666,96 €</b>

*Tabla 67: Presupuesto total de la colocación del 10% de las luminarias*

<b>PRESUPUESTO TOTAL (13.67 años)</b>	<b>8.666,96 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL ANUAL</b>	<b>634,01 €</b>

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

# **LUMINARIA**

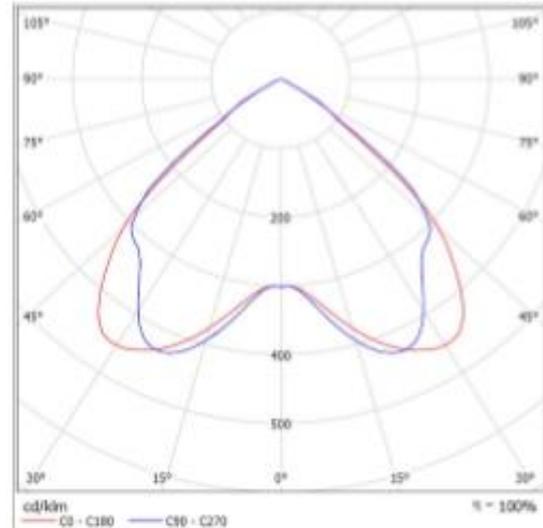
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL  
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA  
AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

---

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**PHILIPS BY121P G2 1xLED205S/840 WB / Hoja de datos de luminarias**

**Emisión de luz 1:**



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 63 95 100 100 100

CoreLine Campana: excelente calidad de luz y ahorros de energía con menores costes de mantenimiento. Tras el éxito de la presentación de CoreLine campana en 2013, la actualización a una nueva generación de LED ha mejorado aún más la reproducción del color y la eficiencia de la luminaria. Diseñada para sustituir a las luminarias convencionales con HPI 250/400 W, CoreLine campana proporciona a los usuarios todas las ventajas de la iluminación LED: calidad de luz fresca, larga vida útil de servicio y menores costes de energía y mantenimiento. Además, proporciona ventajas muy claras al instalador. La luminaria se puede instalar en la red existente. La conexión eléctrica es sencilla: no es necesario abrir la luminaria para su instalación ni su mantenimiento. Y como es más pequeña y ligera que las luminarias convencionales, se maneja muy fácilmente.

**Emisión de luz 1:**

Valoración de deslumbramiento según UGR											
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	
α (techo)	β (paredes)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
α (suelo)		20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Tamaño del local	V	Módulo en perpendicular al eje de la lámpara					Módulo longitudinalmente al eje de la lámpara				
2H	2H	28.0	28.1	28.3	28.3	28.5	27.8	28.8	28.1	28.3	
	3H	28.0	28.9	28.3	28.2	28.4	27.8	28.7	28.1	28.0	
	4H	27.9	28.8	28.2	28.1	28.4	27.7	28.6	28.0	28.9	
	5H	27.9	28.7	28.2	28.0	28.3	27.6	28.5	28.0	28.0	
	12H	27.8	28.6	28.2	28.0	28.2	27.6	28.4	28.0	28.7	
4H	2H	27.8	28.5	28.2	28.0	28.2	27.6	28.3	28.0	28.6	
	3H	28.0	28.9	28.4	28.2	28.9	27.8	28.7	28.2	28.0	
	4H	28.0	28.8	28.4	28.1	28.4	27.8	28.6	28.2	28.9	
	5H	28.0	28.6	28.4	28.0	28.3	27.8	28.5	28.2	28.0	
	12H	27.9	28.5	28.4	28.0	28.3	27.8	28.3	28.2	28.7	
8H	2H	27.9	28.4	28.3	28.0	28.2	27.7	28.2	28.1	28.6	
	3H	27.9	28.3	28.3	28.2	28.2	27.7	28.1	28.1	28.5	
	4H	27.8	28.2	28.3	28.4	28.3	27.7	28.0	28.1	28.5	
	5H	27.8	28.1	28.3	28.4	28.3	27.6	27.9	28.1	28.4	
	12H	27.8	28.3	28.2	28.7	28.2	27.7	28.1	28.1	28.6	
12H	4H	27.8	28.2	28.2	28.6	28.2	27.6	28.0	28.1	28.5	
	5H	27.8	28.1	28.3	28.4	28.2	27.6	27.9	28.1	28.4	
	12H	27.8	28.1	28.3	28.4	28.2	27.6	27.9	28.1	28.4	

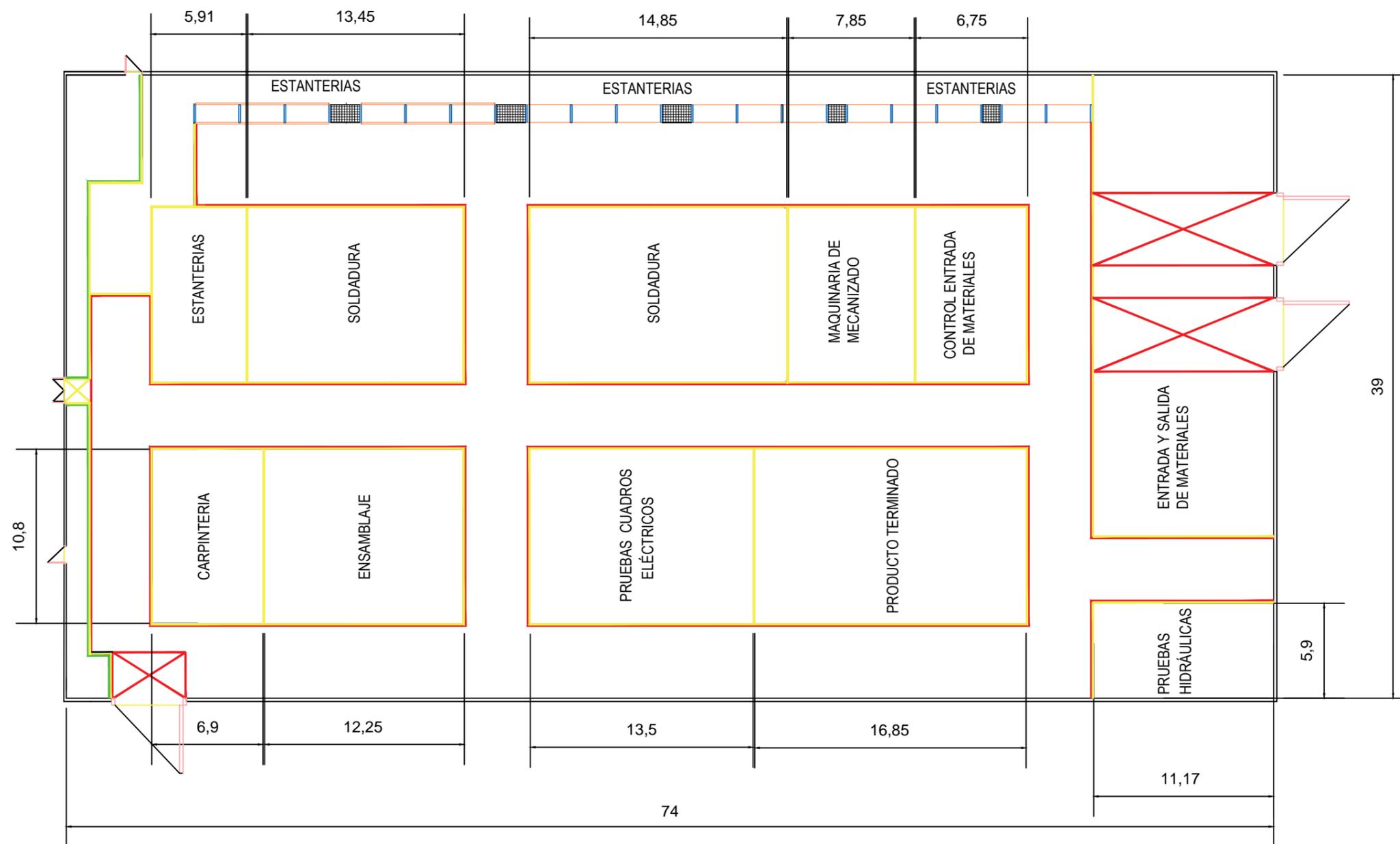
  

Valoración de la posición del espectador para operaciones 5 entre luminarias		
S = 1,0H	+1,4 / -2,9	+1,2 / -2,2
S = 1,5H	+2,6 / -5,4	+2,4 / -5,6
S = 2,0H	+4,4 / -9,3	+4,2 / -8,9
Tubo estándar: Sumario de contribución	8000	8000
	9,7	10,9

Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2000lm (luz blanca fría)

# PLANOS





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA



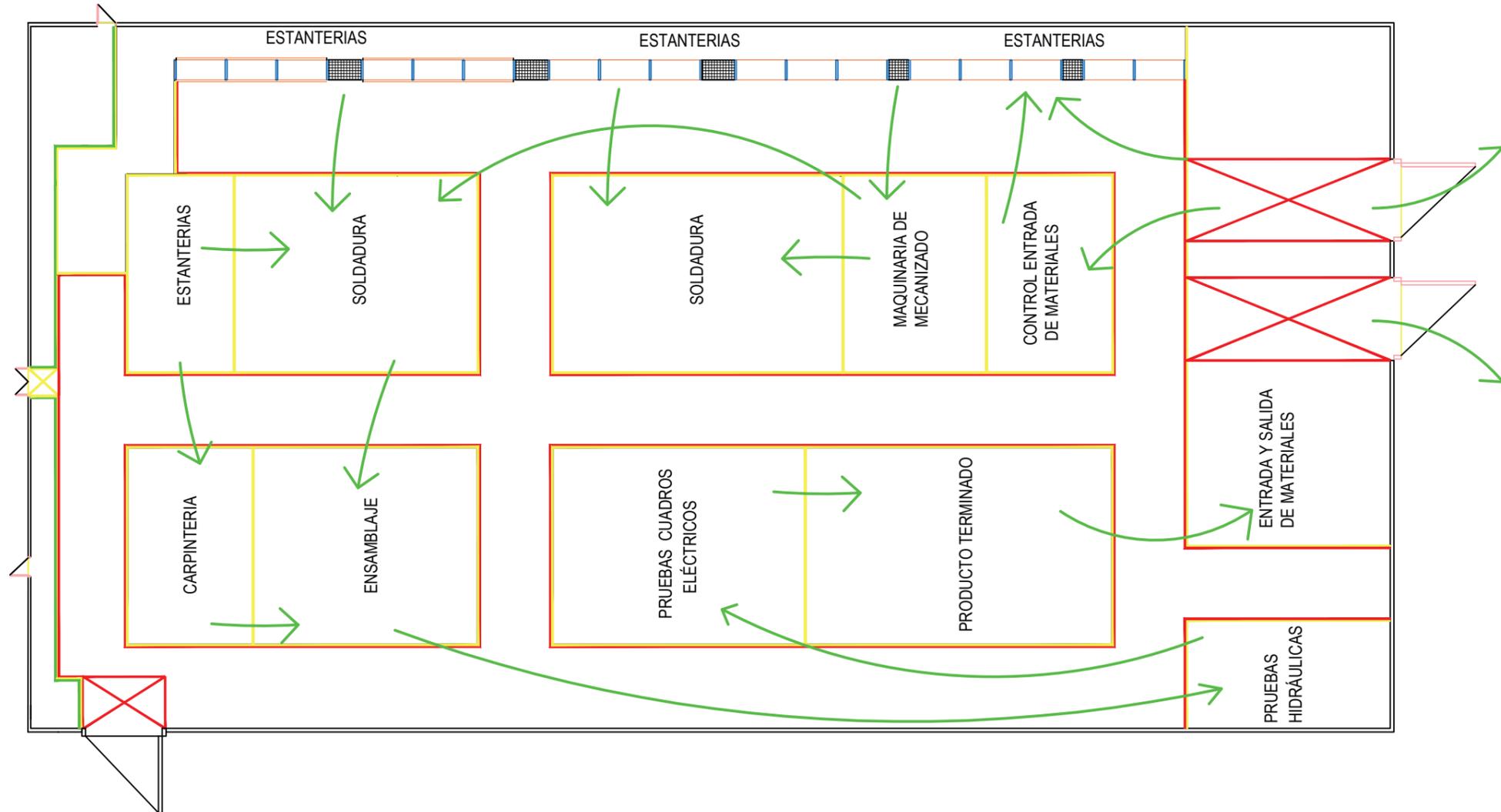
Proyecto: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA AL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE VAPOR

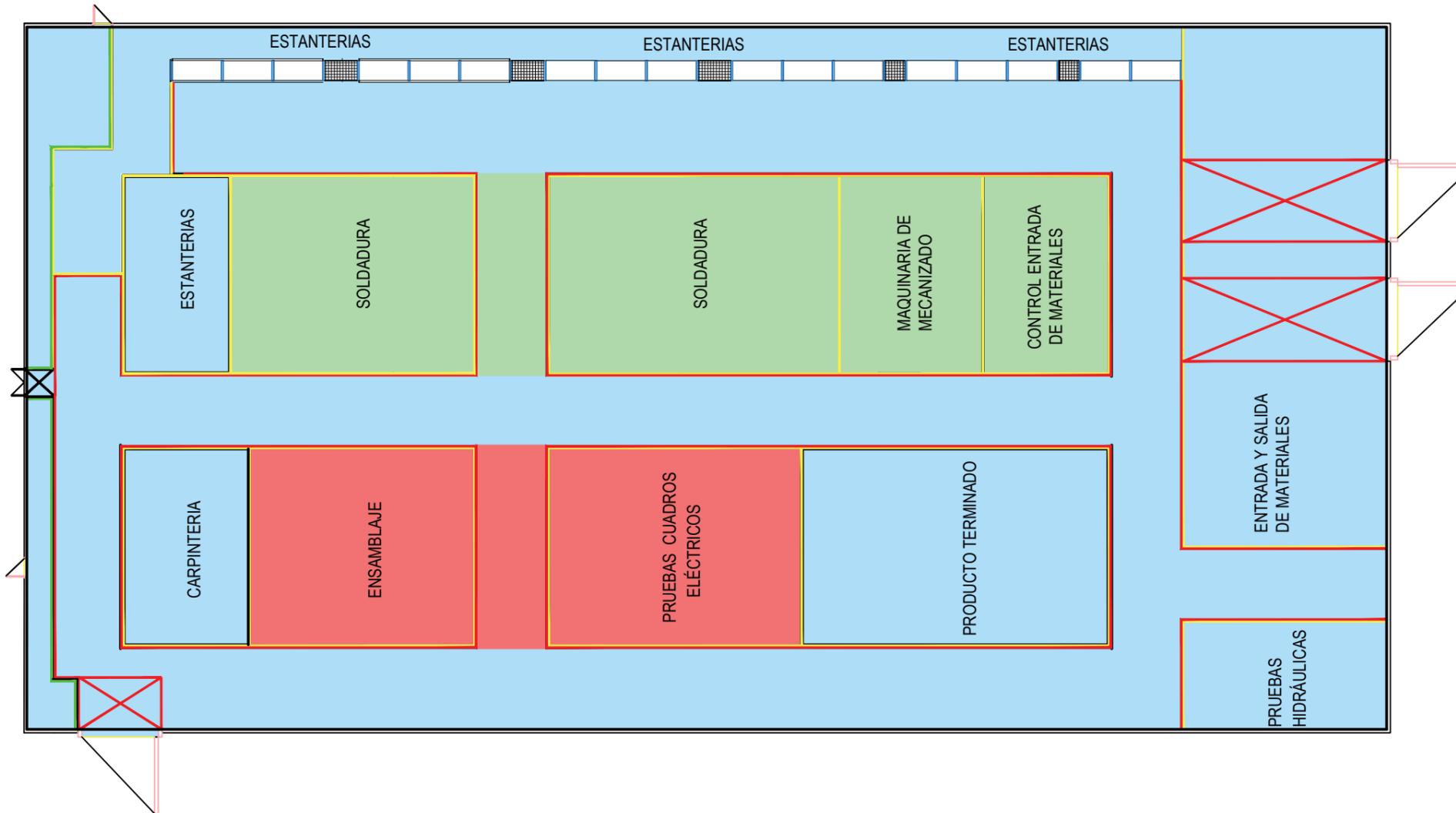
Plano: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA  
 Autor: GERMÁN FERRER MENA

Fecha: JULIO 2017  
 Escala: 1:300

Nº Plano:

2





LEYENDA	
	ZONA A: $E_m = 200 \text{ lux}$
	ZONA B: $E_m = 300 \text{ lux}$
	ZONA C: $E_m = 500 \text{ lux}$

