



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

## RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado se centra en el diseño de un sistema de iluminación natural de una fábrica dedicada a la producción de moneda metálica y en la demostración de las ventajas, tanto económicas como para el trabajador, que su aplicación conlleva.

No obstante, antes de entrar en la fase de diseño, deben conocerse las características del objeto a producir y su sistema productivo. Es por esto que en el documento se introducen, en primer lugar, la moneda metálica y su proceso productivo y se expone la distribución en planta. Tras lo cual, se detallan diversos conceptos y clasificaciones referentes al campo de la luminotecnia en general y a la iluminación natural en particular.

Una vez establecido el marco teórico, se entra en la fase de diseño propiamente dicho, donde se generan distintas propuestas en función de la superficie de aberturas y su posición. De entre todas las posibilidades, se realiza la selección de la mejor en base a la normativa existente. Paralelamente, se calcula un sistema de iluminación artificial y se fijan varias combinaciones de los dos tipos de iluminación, eligiendo aquella que optimice su eficiencia energética.

Finalmente, se presupuesta tanto la instalación del sistema de iluminación seleccionado como su mantenimiento y renovación.

## RESUM

Aquest Treball Final de Grau es centra en el disseny d'un sistema d'il·luminació natural d'una fàbrica dedicada a la producció de moneda metàl·lica i en la demostració dels seus avantatges, tant econòmics com per al treballador, que la seua aplicació comporta.

No obstant, abans d'entrar en la fase de disseny, es deuen conèixer les característiques del l'objecte a produir i el seu sistema productiu. Es per açò que en el document s'introdueix, en primer lloc, la moneda metàl·lica i el seu procés productiu i s'exposa la distribució en planta. Després d'això, es detallen diversos conceptes i classificacions referents al camp de la luminotècnia en general i a de la il·luminació natural en particular.

Una vegada s'ha establert el marc teòric, s'entra en la fase de disseny pròpiament dita, on es generen distintes propostes en funció de la superfície d'obertures i la seua posició. D'entre totes les possibilitats, es realitza la selecció de la millor basant-se en la normativa existent. Paral·lelament, es calcula un sistema d'il·luminació artificial i es fixen combinacions del dos tipus d'il·luminació, elegint aquella que optimitze la seua eficiència energètica.

Finalment, es pressupostarà tant la instal·lació del sistema d'il·luminació seleccionat como el seu manteniment i renovació.

## ABSTRACT

This Final Degree Thesis is focusing on the design of a natural illumination system for a factory, which is dedicated to produce coins, and is summing up advantages, which can be derived through the application, such as in an economical way and as well for the workers.

However, before starting the design phase, it is important to identify the characteristics of the produced object. For this reason, firstly this document introduces the subject of the coin with its process and then exposes the plant layout. After this, different concepts and classifications about luminotechniques and natural illumination are shown in detail.

Once the theoretical setting is finished, the design phase begins, where some alternatives about the positioning and the window's dimensions and their different possibilities for their composition are generated. Within all these, the best option is selected basing on existing normative. At the same time, an artificial illumination system is calculated. Then, some combinations of both kinds of illumination are tried out. The combination that optimizes energy efficiency best will be selected.

Finally, the budget for the installation of the selected system, the maintenance and the renovation is computed.

# PRÓLOGO

Este trabajo, al igual que la asignatura de la que nace (*Construcción y Arquitectura Industrial*), llegaron a mí de forma casi inesperada, a través de mi eterna curiosidad por conocimientos de distinta índole. Son los hijos de la hermana extravagante de la Ingeniería Química: la rama de *Diseño*, aparentemente menos relacionada con mi campo que las otras dos (*Procesos y Medio Ambiente*).

No obstante, es esta singularidad la que me atrajo y me introdujo en el mundo de la construcción y la seguridad industrial. Ciertamente, no he adquirido los conocimientos de un experto en ninguna de las materias, pero sí una visión distinta del mundo, unas herramientas útiles para mi vida profesional.

Durante la asignatura de *Construcción y Arquitectura Industrial* y durante la realización de este proyecto, ha sido una delicia introducirse poco a poco, partiendo de cero, en esta rama de la ingeniería. Es en esta asignatura, como en las otras de mi especialidad, en las que he consolidado mi perfil ingenieril, sin menospreciar el perfil químico adquirido durante los estudios.

Ahora, que he llegado al final del camino, echo la vista atrás para darme cuenta – con gran sorpresa – del largo tramo recorrido. Y quiero agradecerlo a mi tutora M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana, ya que ha sido ella, con mano firme pero con guante de seda, la que ha introducido en mí, sin darme yo cuenta, el interés por la construcción; la que le ha dado a una mente sedienta de nuevos conocimientos un vaso de agua fresca y le ha indicado dónde puede ir a por más. Ha sido un gran placer haber sido alumna suya.

También quiero darle las gracias a mi familia, que apostó por mí al darme la mejor educación disponible y me ha apoyado en todas mis decisiones, me ha dado los mejores consejos y me ha amado de forma incondicional.

Por último, quiero mencionar también a mis amigos, compañeros de travesía durante las grandes tempestades con las que la carrera nos desafiaba constantemente, que han compartido todas mis derrotas y me han ayudado a alcanzar mis victorias.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
1.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.....	11
1.1.- Objetivos .....	11
1.2.- Justificación.....	11
2.- ALCANCE DEL TRABAJO .....	13
3.- INTRODUCCIÓN.....	14
4.- MONEDA METÁLICA.....	15
4.1.- Definición .....	15
4.2.- Historia.....	15
4.3.- Tipos de moneda metálica.....	16
4.4.- Sector de la moneda de curso legal.....	16
5.- PLANTA DE FABRICACIÓN DE MONEDAS.....	17
5.1.- Sistema productivo .....	17
5.1.1.- FASE I: Preparación de la aleación.....	17
5.1.2.- FASE II: Obtención de lingotes .....	18
5.1.3.- FASE III: Obtención y preparación de cospeles.....	19
5.1.4.- FASE IV: Acuñación y empaque.....	20
5.2.- Sistemas auxiliares .....	21
5.3.- Diagrama de bloques .....	22
5.4.- Distribución en planta.....	23
5.5.- Localización .....	25
5.6.- Características estructurales.....	25
6.- ILUMINACIÓN.....	26
6.1.- Generalidades .....	26
6.2.- Tipos de iluminación .....	27
6.3.- Iluminación natural .....	28
6.4.- Sistemas de iluminación natural.....	29
6.5.- Requerimientos de iluminación .....	31
6.6.- Métodos de cálculo.....	33
6.6.1.- Método Analítico .....	33
6.7.- Eficiencia energética del sistema de iluminación .....	38
7.- DISEÑO ILUMINACIÓN .....	39

7.1.- Introducción.....	39
7.2.- Requerimientos de iluminación en la planta .....	39
7.2.1.- Zonificación .....	39
7.2.2.- Nivel medio de iluminación en planta .....	41
7.3.- Hipótesis de trabajo .....	43
7.4.- Generación de propuestas – Superficie teórica de aberturas .....	44
7.4.1.- PROPUESTA 1: Todas las luminarias se encuentran en el cerramiento lateral.....	45
7.4.2.- PROPUESTA 2: El doble de superficie de ventanas que de lucernarios.....	46
7.4.3.- PROPUESTA 3: Todas las luminarias se encuentran en cubierta .....	47
7.5.- Elección de la mejor propuesta – Niveles de iluminación .....	48
7.5.1.- Condiciones de trabajo con DiaLux.....	48
7.5.2.- Procedimiento de diseño con DiaLux.....	49
7.5.3.- PROPUESTA 1: Resultados y modificaciones .....	50
7.5.4.- PROPUESTA 2: Resultados y modificaciones .....	55
7.5.5.- PROPUESTA 3: Resultados y modificaciones .....	59
7.5.6- Elección de la mejor propuesta.....	62
7.6.- Desarrollo de la propuesta seleccionada.....	64
7.7.- Iluminación artificial.....	67
7.8.-Eficiencia energética del sistema de iluminación .....	68
7.8.1.- Supuesto 1: 100% iluminación artificial.....	69
7.8.2.- Supuesto 2: 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural .....	69
7.8.3.- Supuesto 3: 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural .....	70
7.8.4.- Elección del mejor sistema de iluminación mixto.....	70
8. – ANÁLISIS ECONÓMICO .....	71
8.1.- Presupuesto para la instalación de lucernarios .....	71
8.2.- Balance económico .....	74
8.2.1.- Punto de partida .....	74
8.2.2.- Iluminación artificial.....	75
8.2.3.- Iluminación mixta.....	82
8.2.4.- Análisis económico.....	86
9.- CONCLUSIONES .....	89
10.- REFERENCIAS.....	91
ANEXO 1. ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN.....	92
ANEXO 2. NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMA MEDIO POR ZONAS.....	97
ANEXO 3. LUMINARIA .....	100
ANEXO 4. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	102

ANEXO 5. PLANOS ..... 104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición oro nórdico.....	15
Tabla 2. Altura media de la población por países, sexo, periodo y edad.....	31
Tabla 3. Número mínimo de puntos para VEEI.....	37
Tabla 4. Área de cada fase.....	39
Tabla 5. Área de cada actividad.....	40
Tabla 6. Requerimientos lumínicos para actividades industriales y artesanales.....	40
Tabla 7. Requerimientos lumínicos para zonas de tráfico y áreas comunes de edificios	40
Tabla 8. Asociación actividad proceso productivo – actividad reglada.....	41
Tabla 9. Cálculo nivel medio de iluminación.....	42
Tabla 10. Coeficientes de reflexión.....	47
Tabla 11. Factor de contaminación por fase.....	48
Tabla 12. Propuesta 1 Final. Resultados gráficos globales.....	52
Tabla 13. Propuesta 1 Final. Resultados gráficos por zonas.....	53
Tabla 14. Resumen requerimientos normativa.....	53
Tabla 15. Propuesta 1 Final. Zonas que cumplen la normativa.....	53
Tabla 16. Propuesta 2 Final. Resultados gráficos globales.....	57
Tabla 17. Propuesta 2 Final. Resultados gráficos por zonas.....	57
Tabla 18. Propuesta 2 Final. Zonas que cumplen la normativa.....	57
Tabla 19. Propuesta 3 Final. Resultados gráficos globales.....	60
Tabla 20. Propuesta 3 Final. Resultados gráficos por zonas.....	60
Tabla 21. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa.....	61
Tabla 22. Global. Comparación de las propuestas.....	61
Tabla 23. Comparación de las propuestas. Zona 1.....	61
Tabla 24. Comparación de las propuestas. Zona 2.....	62
Tabla 25. Comparación de las propuestas. Zona 3.....	62
Tabla 26. Propuesta 3Final Mejorada. Resultados gráficos globales.....	64
Tabla 27. Propuesta 3Final Mejorada. Resultados gráficos por zonas.....	65
Tabla 28. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa.....	65
Tabla 29. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa menos restrictiva.....	65
Tabla 30. VEEI 100% Iluminación artificial.....	67
Tabla 31. VEEI 100% Iluminación artificial.....	68
Tabla 32. VEEI 40% Iluminación artificia + 60% Iluminación natural.....	68
Tabla 33. VEEI 20% Iluminación artificia + 80% Iluminación natural.....	69
Tabla 34. Resumen VEEI.....	69
Tabla 35. Precios descompuestos .....	70
Tabla 36. Dimensiones por actividades.....	71
Tabla 37. Presupuestos parciales.....	72
Tabla 38. Presupuestos generales.....	72
Tabla 39. Consumo de potencia demandada.....	73
Tabla 40. Precio por periodo.....	75
Tabla 41. Horas trabajadas según la tarifa contratada.....	75
Tabla 42. Potencia consumida por periodo.....	76
Tabla 43. Término de potencia.....	76
Tabla 44. Término de energía eléctrica.....	77
Tabla 45. Impuesto sobre electricidad.....	78

Tabla 46. Impuesto de Valor Añadido.....	78
Tabla 47. Total factura eléctrica.....	79
Tabla 48. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 100% artificial.....	80
Tabla 49. Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial.....	80
Tabla 50. Presupuestos parciales con iluminación 100% artificial.....	80
Tabla 51. Presupuestos generales con iluminación 100% artificial.....	80
Tabla 52. Coste total electricidad con iluminación 100% artificial.....	80
Tabla 53. Cuadro de precios mantenimiento lucernarios .....	81
Tabla 54. Cuadro de mediciones mantenimiento lucernarios.....	81
Tabla 55. Presupuestos parciales mantenimiento lucernarios.....	81
Tabla 56. Presupuestos generales mantenimiento lucernarios.....	81
Tabla 57. Potencia consumida por periodo 40% artificial + 60% natural.....	82
Tabla 58. Cálculos del coste eléctrico con 40% artificial – 60% natural.....	82
Tabla 59. Cuadro de mediciones con 40% artificial – 60% natural.....	83
Tabla 60. Presupuestos parciales con iluminación 40% artificial – 60% natural.....	83
Tabla 61. Presupuestos generales con 40% artificial – 60% natural.....	83
Tabla 62. Coste total electricidad con 40% artificial – 60% natural.....	83
Tabla 63. Potencia consumida por periodo 20% artificial + 80% natural.....	83
Tabla 64. Cálculos del coste eléctrico con 20% artificial – 80% natural.....	84
Tabla 65. Cuadro de mediciones con 20% artificial – 80% natural.....	84
Tabla 66. Presupuestos parciales con iluminación 20% artificial – 80% natural.....	84
Tabla 67. Presupuestos generales con 20% artificial – 80% natural.....	84
Tabla 68. Coste total electricidad con 20% artificial – 80% natural.....	84
Tabla 69. Análisis económico.....	85
Tabla 70. Cálculos VAN y TIR.....	86
Tabla 71. Periodo de Retorno del Capital.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Preparación de la aleación.....	16
Figura 2. Obtención de lingotes.....	17
Figura 3. Obtención y preparación de cospeles.....	18
Figura 4. Cospel.....	18
Figura 5. Acuñaición y empaque.....	19
Figura 6. Diagrama de bloques.....	21
Figura 7. Distribución en planta baja.....	22
Figura 8. Detalle distribución primera planta.....	23
Figura 9. Sectorización de la planta de fabricación de moneda metálica.....	23
Figura 10. Mapa de l'Espartall III.....	24
Figura 11. Alzado de la estructura.....	24
Figura 12. Flujo luminoso y su símil hidráulico.....	25
Figura 13. Iluminación.....	25
Figura 14. Iluminación según grado de uniformidad.....	26
Figura 15. Iluminación según distribución de luminarias.....	27
Figura 16. Comportamiento de la luz.....	27
Figura 17. Radiación solar.....	28
Figura 18. Tipos de sistemas de iluminación.....	29
Figura 19. Tipos de claraboya.....	29
Figura 20. Ángulos deslumbramiento.....	30
Figura 21. Método de cálculo de deslumbramiento.....	31
Figura 22. Ejemplo de introducción de datos en Solea-2.....	34
Figura 23. Curva f' para longitud ventana/espesor cerramiento $\geq 10$ .....	34
Figura 24. Radiación según la inclinación.....	35
Figura 25. Rendimiento del recinto.....	36
Figura 26. Zonificación por fases de producción.....	38
Figura 27. Zonificación por actividades.....	39
Figura 28. Área asignada a cada actividad reglada.....	41
Figura 29. Disposición de aberturas en propuesta 1.....	44
Figura 30. Disposición de aberturas en propuesta 2.....	45
Figura 31. Disposición de aberturas en propuesta 3.....	46
Figura 32. Propuesta 1 original – Resultados Verano.....	49
Figura 33. Propuesta 1 Final. Disposición de aberturas.....	50
Figura 34. Propuesta 1 Final – 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	51
Figura 35. Propuesta 1 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	51
Figura 36. Propuesta 1 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	52
Figura 37. Propuesta 2 original – Resultados Verano.....	54
Figura 38. Propuesta 2 Final. Disposición de aberturas.....	55
Figura 39. Propuesta 2 Final– 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	55
Figura 40. Propuesta 2 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	56
Figura 41. Propuesta 2 Final– 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises.....	56
Figura 42. Propuesta 3 original – Resultados Verano.....	58
Figura 43. Propuesta 3 Final. Disposición de aberturas.....	59
Figura 44. Propuesta 3 Final– 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	59
Figura 45. Propuesta 3 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises.....	59

Figura 46. Propuesta 3 Final– 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises.....	60
Figura 47. Propuesta 3 Final Mejorada. Disposición de aberturas.....	63
Figura 48. Propuesta 3 Final Mejorada – 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises...	63
Figura 49. Propuesta 3 Final Mejorada – 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises...	64
Figura 50. Propuesta 3 Final Mejorada – 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises...	64
Figura 51. Inserción de datos en DiaLux Light.....	66
Figura 52. Distribución de las luminarias.....	67
Figura 53. Discriminación horaria.....	74

# 1.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

## 1.1.- Objetivos

En este Trabajo Final de Grado se plantea alcanzar los siguientes objetivos:

- Conocer los diferentes sistemas de iluminación dentro de la industria.
- Estudiar las necesidades de iluminación de una planta de producción de moneda metálica.
- Adquirir destreza en la aplicación de la normativa vigente, en concreto en el campo de la iluminación industrial.
- Diseñar diferentes sistemas de iluminación natural como alternativas a la artificial para dicha planta.
- Adquirir el nivel de manejo necesario en el programa de iluminación *DiaLux* para diseñar dichos sistemas.
- Analizar la eficiencia energética de estos sistemas en la búsqueda de la configuración óptima.
- Comparar diferentes combinaciones de iluminación mixta para encontrar el sistema más energéticamente eficiente.
- Presupuestar la configuración mixta elegida y justificar su viabilidad económica.

## 1.2.- Justificación

- Académica

Como define la R.A.E. (2014), la ingeniería es el conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial.

Esto quiere decir que, a pesar de su especialización (ingeniería química, mecánica, eléctrica), el ingeniero bien formado posee una base de conocimientos generales que le permiten entender y ampliar sus conocimientos en los campos menos próximos a su especialidad.

De hecho, en un tejido empresarial como el valenciano, formado principalmente por pequeñas y medianas empresas, el ingeniero en nómina no sólo debe solucionar los problemas relacionados con su campo, sino que se convertirá en una suerte de ingeniero comodín y deberá poner en práctica una competencia transversal tan importante como es el autoaprendizaje.

Y es aquí donde se justifica académicamente este trabajo. En este proyecto se van a demostrar la versatilidad y el autoaprendizaje adquiridos durante los años de estudio universitarios.

Por otro lado, la elección del bien a producir sí ha tenido un sentido más acorde con el grado cursado, pero también orientado a la ampliación de conocimientos: el sector

metalúrgico es un ámbito aparentemente menos relacionado con la química y por esto, menos estudiado. Se trata de un sector muy específico, más aparentemente orientado a la Ingeniería de Materiales. Pero no es así. Con la formación recibida en Ciencia de Materiales, un ingeniero químico puede dirigir una planta dedicada al ámbito metalúrgico y por esto es interesante conocer más sobre ellas.

Finalmente, destacar que esta inclinación hacia la Ingeniería de Materiales no es casual, ya que la autora de este trabajo está, precisamente, cursando el primer curso del Máster en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales por la Universitat Politècnica de València.

- Económica

El trabajo se basa en la utilización de un recurso natural renovable y gratuito como es la iluminación natural en lugar de otro de procedencia no siempre renovable, limitado y con un coste cada vez mayor. De esta forma, se consigue una reducción de costes importantes, que posteriormente se pueden traducir en un aumento de los beneficios.

Por tanto, los motivos económicos para la realización del trabajo están de sobra justificados.

- Medio Ambiental

En un era en la que el cuidado del medio ambiente se está convirtiendo en una prioridad para la sociedad, el impacto que ocasiona la producción industrial ya no se mide tan sólo en su nivel de residuos o en el origen de su energía, también se tiene en cuenta ahora **la huella de carbono**<sup>1</sup> producida. Un parte de la huella viene generada por el consumo de energía eléctrica y su peso porcentual es variable, dependiendo del tipo de industria.

En cualquier caso, la instalación de un diseño de iluminación natural, o incluso mixto, reduciría considerablemente la energía consumida y con él, la contaminación que genera su producción.

- Legal

El RD 486/1997 dicta que los lugares de trabajo poseerán una iluminación natural cuando sea posible.

Por tanto, es imprescindible, de cara a la justificación del uso del sistema iluminación actual de la planta, el haber realizado el diseño de un sistema de iluminación natural y el haber estudiado su viabilidad.

---

<sup>1</sup> Huella de carbono: cuantificación de las emisionesCO<sub>2</sub> equivalente como forma indirecta de medir de la cantidad de **gases efecto invernadero (GEI)**, emitidos tanto por actividades domésticas como por la producción y comercialización de un producto. ( )

## 2.- ALCANCE DEL TRABAJO

En este Trabajo Final de Grado se incluye:

- Breve revisión de los distintos sistemas de iluminación y su clasificación y de conceptos básicos de luminotecnia e iluminación natural.
- Breve revisión histórica de la moneda.
- Descripción del sistema productivo de fabricación de moneda metálica.
- Diseño de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente, es decir, la determinación de la mejor superficie de aberturas y su disposición.
- El cálculo de un sistema de iluminación artificial.
- Presupuestos de instalación y mantenimiento de lucernarios, instalación y mantenimiento de luminarias y facturación eléctrica.
- Planos de distribución en planta.
- Planos de la distribución de lucernarios.

Y no se incluye:

- Descripción detallada de los distintos programas utilizados.
- Estudio completo de distribución en planta.
- Estudio completo de las características estructurales y constructivas de las naves.
- Análisis completo de todas las simulaciones generadas.
- Cálculo exacto del espacio gravitacional de cada puesto de trabajo.
- Estudio completo de las zonas críticas de deslumbramiento.
- Análisis medioambiental completo.

### 3.- INTRODUCCIÓN

Una **planta industrial** es un conjunto de instalaciones que disponen de todos los medios necesarios para desarrollar un proceso de fabricación, así como los auxiliares al mismo. A la hora de diseñar (o rediseñar) una planta industrial son muchos los aspectos a tener en cuenta y muchos los campos de ingeniería que deben ser dominados.

Dentro del diseño de la distribución en planta, un aspecto en algunos casos considerado poco relevante es la **iluminancia**. No obstante, es una cuestión fundamental para la realización óptima del trabajo en planta y para mantener al trabajador en un estado de ánimo adecuado.

La **iluminancia** o **nivel de iluminación** se define como la cantidad de luz (entendida como energía radiante que afecta a la sensibilidad del ojo) incidente sobre una superficie (Ramírez, 1986) y forma parte de la **luminotecnia**.

Los condicionamientos de iluminación empezaron siendo simples recomendaciones obtenidas por la experiencia, hasta evolucionar en normativas donde se establece una cantidad de luz relacionada con la actividad a desarrollar y se justifica, en muchos casos, en la necesidad de crear un ambiente formalmente agradable (Reid, 1980).

## 4.- MONEDA METÁLICA

### 4.1.- Definición

El término moneda es entendido en economía como un instrumento aceptado como unidad de cuenta, medida de valor y medio de pago (RAE, 2014).

Otra acepción más práctica la proporciona Daloz (1995):

“La moneda no es ni un objeto ni una mercancía ordinaria. Es una deuda: representa la deuda del establecimiento financiero del cual lleva el nombre en una u otra forma. [...] La moneda es, por esencia, una deuda circulante.”

### 4.2.- Historia

Según Martínez (1996), la moneda pudo surgir como consecuencia de las operaciones de cambio que realizaban normalmente unas colectividades con otras y, ocasionalmente, los individuos entre sí.

La necesidad del cambio no brotó de forma inmediata con el nacimiento de la humanidad, sino que llegó a la vez que la división del trabajo y la especialización, cuando se empezaron a generar excedentes. Así, surgió el **trueque**, el cambio directo de un producto o prestación contra otro producto u otra prestación (Martínez, 1996). Esta fue realmente la primera forma de compraventa. Pero no todo el mundo quería el objeto que se le ofrecía a cambio y el valor nunca era objetivo, impidiendo la creación de una escala general de valores.

Como menciona Vico (2006), las primeras emisiones proceden de la zona de Asia Menor, entre las regiones de Lidia y Jonia y paralelamente en China, entre los años 650 y 625 a.C. Las monedas estaban hechas de metales preciosos por poseer un valor intrínseco considerable, ser inalterables y de cómodo transporte, entre otras ventajas.

El uso de estos materiales como único sistema de pago (a excepción del trueque) quedó establecido hasta el siglo XVIII, momento en que apareció el papel moneda y más adelante otros activos líquidos no monetarios como los depósitos de ahorro, los contratos de seguros, etc. Es aquí donde el término moneda se amplía, y toma mil apellidos en función de su valor, de su material, de su procedencia, de su respaldo legal, etc.

Para lo que concierne a este trabajo, la moneda a producir será la **moneda metálica** (acuñada en metal).

### 4.3.- Tipos de moneda metálica

Existen tres tipos de monedas metálicas: las **monedas de oro**, que se adquieren como inversión; las **monedas de coleccionista**, normalmente de plata; y las **monedas de curso legal**, que son las que se utilizan como dinero.

Metal	Porcentaje
Cobre (Cu)	89%
Aluminio (Al)	5%
Cinc (Zn)	5%
Estaño (Sn)	1%

Tabla 1. Composición oro nórdico

La empresa que aquí se presenta produce tan sólo uno de los tres tipos: monedas de curso legal. Concretamente, elabora monedas de euro de 10 y 50 céntimos, ya que posee dos líneas de producción y ambas tienen la misma forma circular de borde **festoneado**<sup>2</sup>, mientras que la de 20 céntimos tiene forma de flor española y su bordeado es distinto.

A la aleación de estas monedas se le llama **oro nórdico**, y su composición es la detallada en la Tabla 1 según la empresa KME (2015).

### 4.4.- Sector de la moneda de curso legal

Aunque sí existen empresas privadas que acuñan monedas y medallas de oro o de plata (monedas de coleccionista o de inversión), las monedas de curso legal, por su carácter **fiduciario**<sup>3</sup>, deben ser emitidas por instituciones de confianza universal sobre la sociedad, sin posibilidad de fraude.

Es por esto que tan sólo son fabricadas por la Casa de la Moneda de cada país, que se encarga de regular la producción de este objeto en función de las fluctuaciones económicas. Antiguamente, a estas factorías se les llamaba cecas y consistían más en talleres artesanales donde se trabajaba el metal que en auténticas fábricas.

En la actualidad, las medidas de seguridad, según el vídeo *Fabricando Made in Spain -La fabricación de una moneda* (Jorge Pérez Luque 2013), son extremas y los trabajadores de la planta son escogidos con especial cuidado.

En España, el organismo emisor es la Real Casa de la Moneda cuya factoría se llama Fábrica Nacional de Moneda y Timbre. Allí, se acuñan las monedas de euro con el anverso español.

<sup>2</sup> Festoneado: el borde posee forma de festón u onda.

<sup>3</sup> Moneda fiduciaria: representa un valor que intrínsecamente no posee, circula en virtud de la confianza que tienen los particulares en el instituto emisor (Martínez, 1996).

## 5.- PLANTA DE FABRICACIÓN DE MONEDAS

### 5.1.- Sistema productivo

El sistema productivo que se va a presentar a continuación no pertenece a ninguna empresa real, sino que se ha construido a partir de los procesos presentados en varias bibliografías. Esto se debe a que no existe información disponible y veraz suficiente sobre la producción de monedas de euro y se han tomado técnicas de la producción de otras divisas para completar el proceso. No sólo esto, sino que también se han introducido técnicas utilizadas en la industria metalúrgica general adaptadas al proceso objetivo.

A efectos prácticos, esto no empaña el trabajo realizado, sino todo lo contrario: además del diseño del sistema de iluminación, se ha diseñado también el sistema productivo, investigando las técnicas actuales para el proceso e implementándolas de forma escalonada y lógica. Ha resultado, por tanto, un ejercicio de creatividad adicional que se ha acometido con total motivación e interés.

Así, se ha dividido la producción de moneda metálica en cuatro fases: preparación de la aleación, obtención de lingotes, obtención y preparación de cospeles y acuñación y empaque.

#### 5.1.1.- FASE I: Preparación de la aleación

Para una mejor comprensión, la fase de preparación de la aleación queda esquematizada en la figura 1.

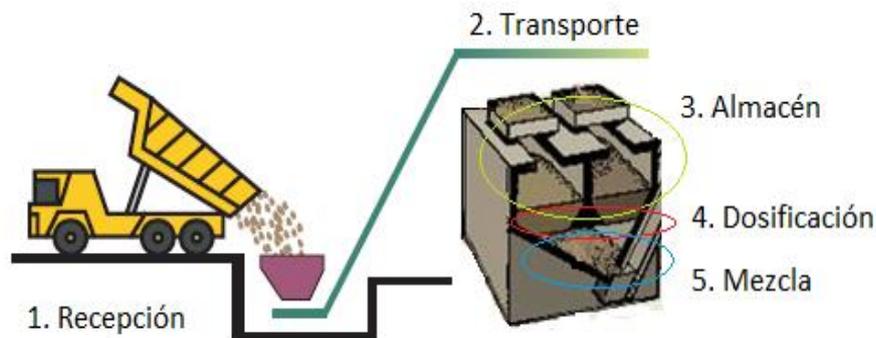


Figura 1. Preparación de la aleación

#### 1. Recepción materia prima

La materia prima -los metales en forma granular o en polvo- llega en camiones que descargan fuera de la nave, en una cubeta. Se utiliza la misma zona de descarga para todas las materias primas pero no la misma cubeta: cada metal tiene la suya propia y permanece sobre su almacén hasta que sea requerida.

## 2. Transporte a almacén

Estas cubetas son llevadas por una cinta transportadora hasta el almacén de cada materia prima, donde se vierte automáticamente.

## 3. Almacén materia prima

Los cuatro almacenes se integran dentro de la misma estructura y se encuentran al aire libre. Además, se encuentran un poco más elevados de lo estrictamente necesario para contener también la zona de mezcla.

## 4. Dosificación

Esta acción se lleva a cabo mediante la apertura de compuertas en la parte inferior de los almacenes, dejando caer la cantidad de cada metal necesaria.

## 5. Mezcla

La materia prima dosificada cae a la tolva mezcladora.

Posteriormente se llevará la mezcla hasta la nave mediante cinta transportadora y se introducirá en el horno eléctrico.

### 5.1.2.- FASE II: Obtención de lingotes

La fase de obtención de lingotes queda ilustrada en la figura 2.

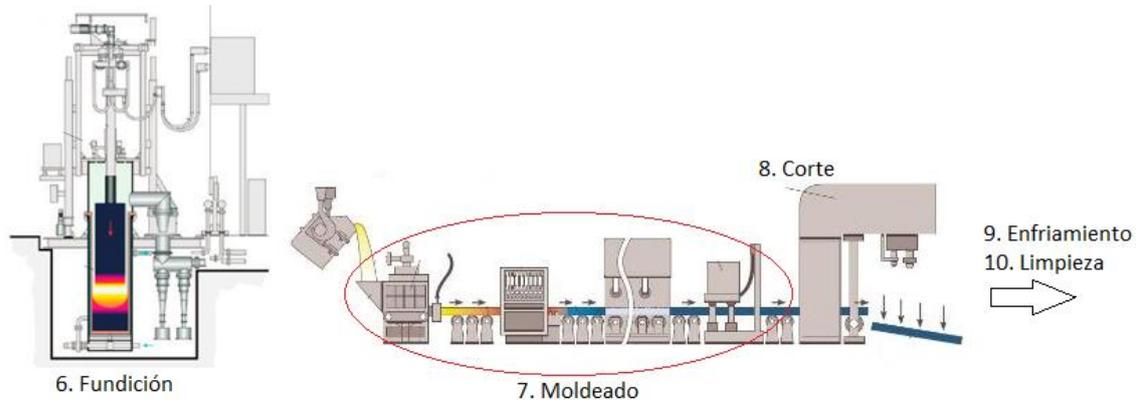


Figura 2. Obtención de lingotes

## 6. Fundición

La mezcla sólida se calienta en un horno de arco eléctrico hasta fundir, pudiendo alcanzar los 1200 grados. Es importante asegurar la homogeneización de la mezcla.

## 7. Moldeado

La aleación obtenida se hace pasar por un proceso de colada continua para darle forma de barra y se empieza a enfriar al pasar por un sistema de rodillos.

## 8. Corte

Una guillotina corta en lingotes de 2 metros de largo, 20 centímetros ancho y 5 centímetros de espesor.

### 9-10. Enfriamiento–Limpieza

Para llevar el lingote a temperaturas de trabajo, se aplica una ducha de agua, que sirve, a su vez para limpiarlo.

#### 5.1.3. - FASE III: *Obtención y preparación de cospeles*

Esta fase queda someramente esquematizada en la figura 3.

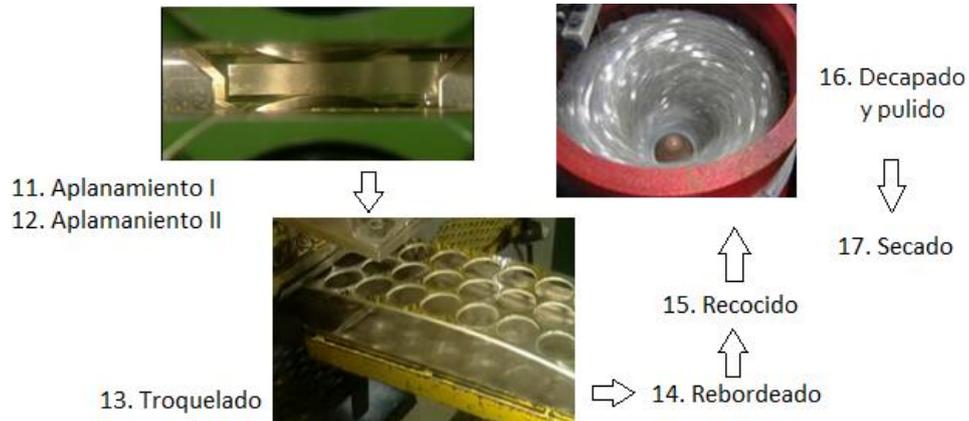


Figura 3. Obtención y preparación de cospeles

#### 11. Aplanamiento I

Ejerciendo presiones muy elevadas, el lingote pasa a ser una tira de 8,4 metros de largo 20 centímetros de ancho y 1,2 centímetros de grosor.

Son necesarias 12 pasadas para aplanar el lingote. Para ello se utiliza un molino desbastador.

#### 12. Aplanamiento II

Un laminador de acabado, aplanar la tira todavía más, para dejarla del grosor de la moneda. A medida que se alcanza el espesor se va recogiendo en bobinas. Existe un almacén de intermedio (bobinas), preparado para absorber pequeños desajustes entre el ritmo de producción de láminas y el de la acuñación de monedas.

Para monedas de 50 céntimos, las láminas poseen un grosor de 2,38 milímetros y una longitud de 42 metros, mientras que las láminas destinadas a monedas de 10 céntimos son de 1,93 milímetros de espesor y 52 metros de longitud.

#### 13. Troquelado

Durante el troquelado, de las láminas de metal se cortan por presión los cospeles, las chapas de aleación sin acuñar, que por ahora no tienen más valor que el de los materiales que la componen.



Figura 4. Cospel

El metal sobrante es llevado a un depósito de restos de aleación, que se volverá a fundir cuando exista la suficiente cantidad.

#### 14. Rebordeado

Para crear el canto (ya rugoso) de la moneda se utiliza una máquina acoronadora, donde los cospeles se hacen pasar a la fuerza por un hueco apenas inferior al diámetro de la moneda.

#### 15. Recocido

A medida que se trabaja el metal, éste puede volverse quebradizo. Tanto es así que podría romperse y, para evitarlo, se aplica un recocido.

#### 16. Decapado y pulido

Los cospeles pasan a una bañera llena de agua, disoluciones de limpieza y bolas de acero. Éstas últimas actúan como agente abrasivo, alisando y puliendo los cospeles.

#### 17. Secado

Se secan por completo los cospeles para que no queden manchas de agua.

### 5.1.4. - FASE IV: Acuñación y empaque

La figura 5 refleja la fase de acuñación y empaque.



Figura 5. Acuñación y empaque

#### 18. Selección

Los cospeles, preparados para la acuñación, pasan en primer lugar por una máquina seleccionadora, que retira de la producción aquellos que no tengan el tamaño y peso adecuados.

Una vez pasada la criba, un técnico realiza otro control de calidad de algunas muestras, para comprobar que el lote cumple las especificaciones. Si no es así, todo el lote será llevado al depósito de refundición junto con los cospeles cribados.

### 19. Acuña

Mediante una prensa de gran fuerza, se imprimen los diseos de las monedas en las caras de los cospeles (ambas caras al mismo tiempo).

### 20. Control de calidad

De nuevo, un tcnico realiza una ltima inspeccin. Y, otra vez, si las muestras no cumplen, todo el lote ser llevado al almacn de refundicin.

### 21. Empaquetado

Finalmente, los lotes que s cumplan las especificaciones seran envasados por una empaquetadora.

## 5.2.- Sistemas auxiliares

El funcionamiento de cualquier planta industrial es inviable sin sus servicios auxiliares correspondientes.

No slo deben contemplarse las necesidades del equipo de produccion, sino tambin las de las personas que trabajan en la empresa.

As, los servicios son

- Almacn de maquinaria y herramientas.
- Almacn de producto intermedio.
- Almacn para refundicin.
- Baos.
- Comedor.
- Gestin de residuos.
- Laboratorio.
- Oficinas.
- Parking.
- Sala de primeros auxilios
- Taller.
- Vestuarios.

### 5.3.- Diagrama de bloques

Conociendo el sistema productivo completo, el diagrama de bloques resultante se muestra en la figura 6.

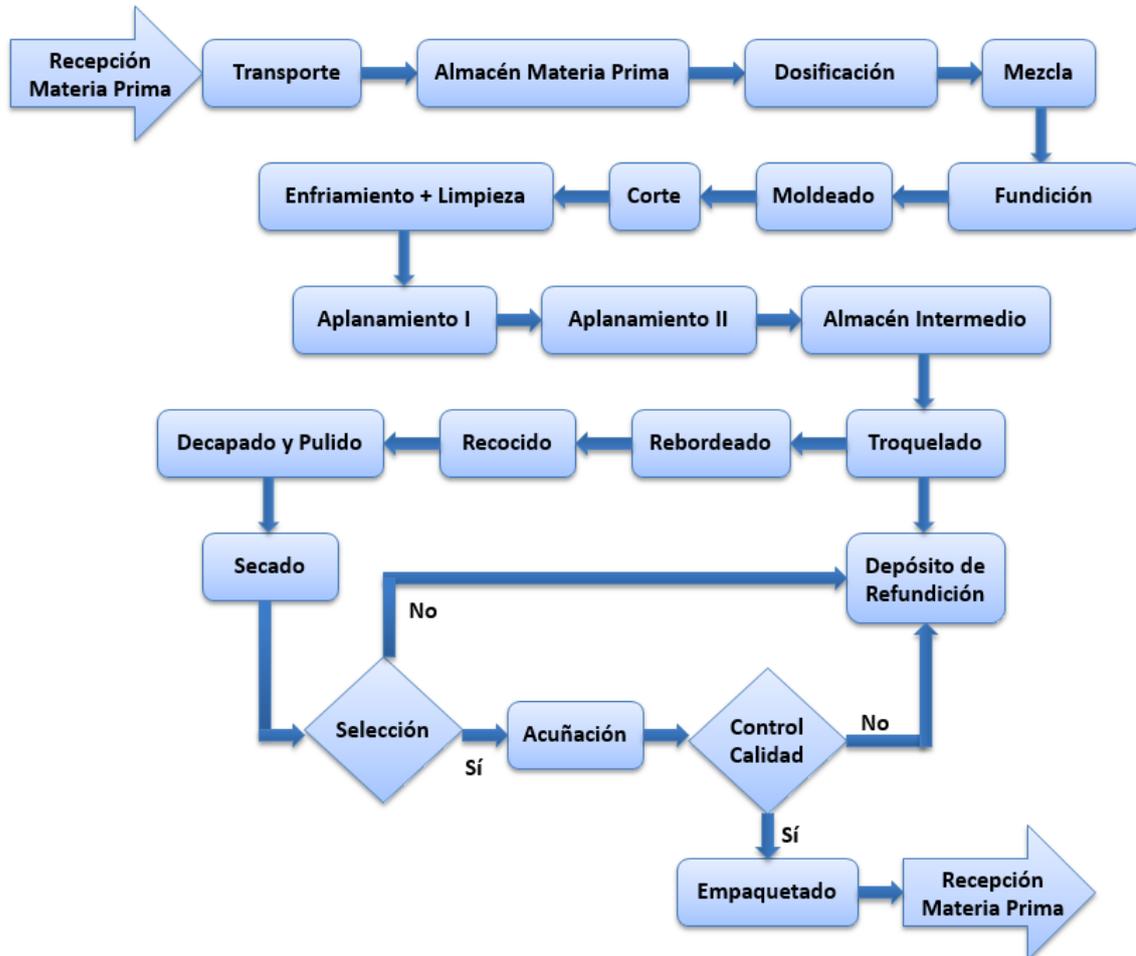


Figura 6. Diagrama de bloques

### 5.4.- Distribución en planta

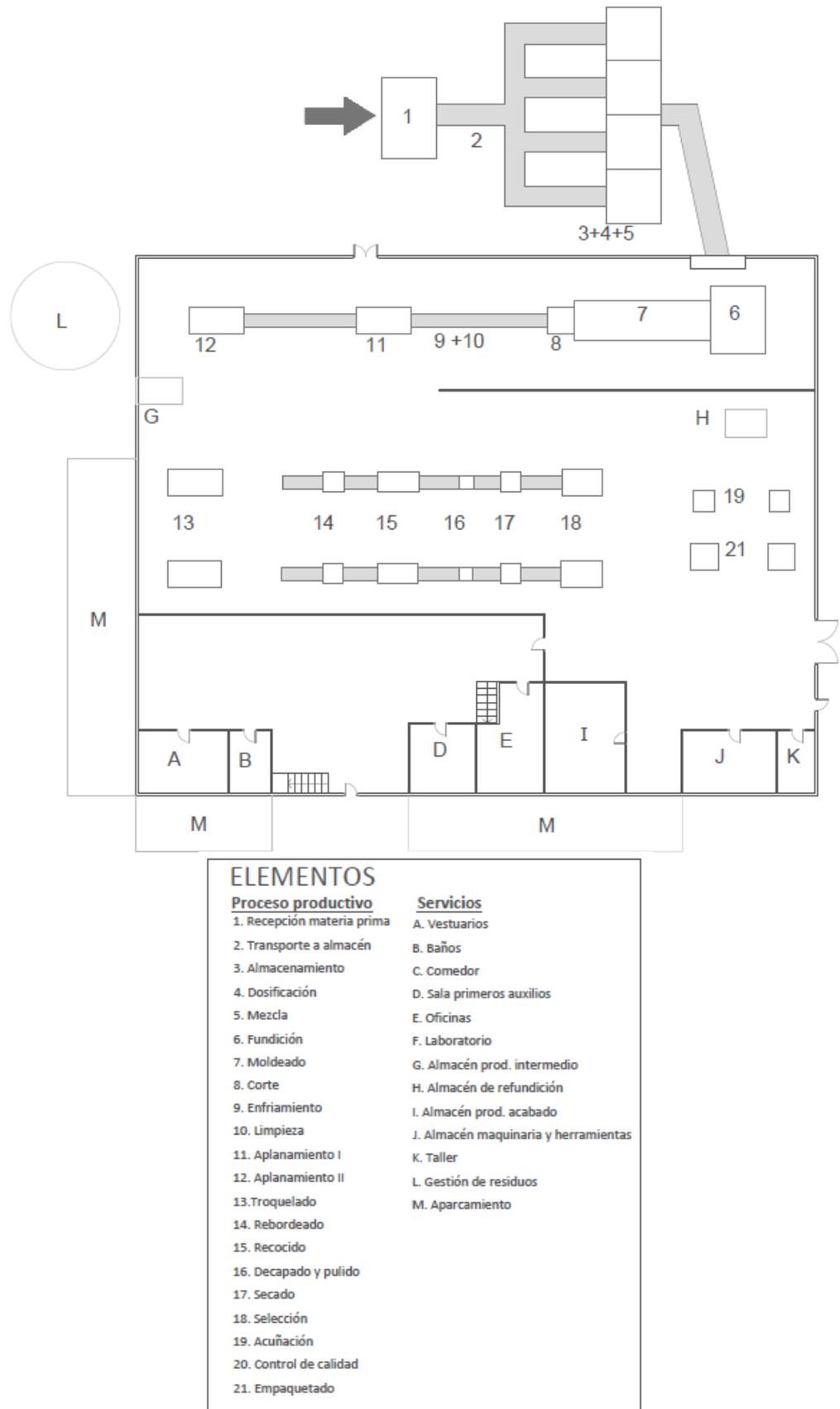


Figura 7. Distribución en planta baja

Como se ilustra en la Figura 7, no todo el sistema productivo se encuentra en el interior de la nave ni en la planta baja. En la Figura 8, se puede observar como dos de los servicios auxiliares se encuentran sobre elevados.

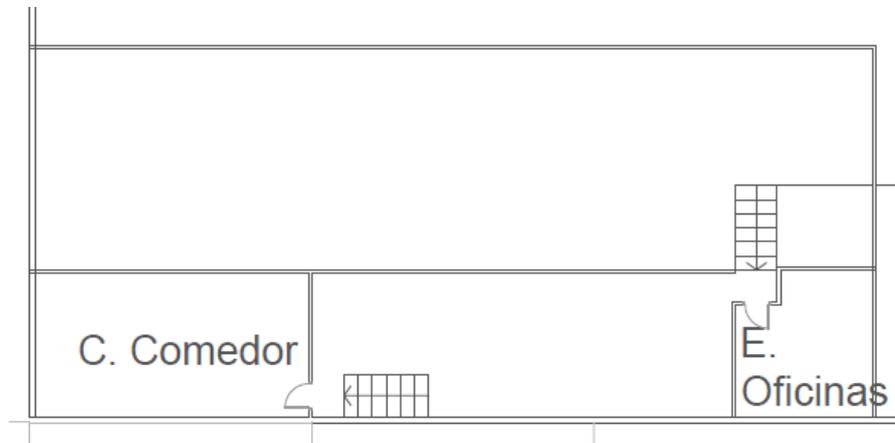


Figura 8. Detalle distribución primera planta

Los planos completos se encuentran en el Anexo 5.

Para hablar con mayor propiedad y precisión, se ha sectorizado la planta de la siguiente forma:

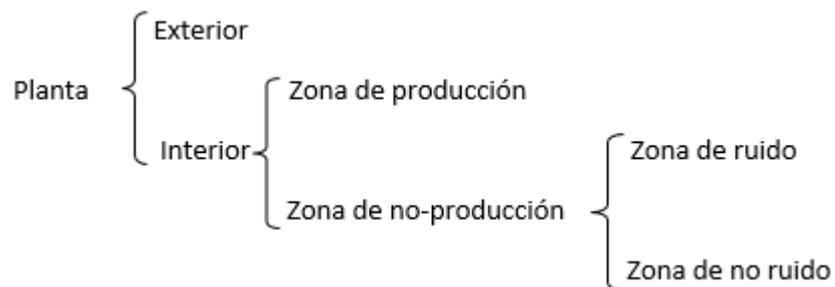


Figura 9. Sectorización de la planta de fabricación de moneda metálica

Las zonas de producción y no-producción vienen delimitadas por un cerramiento interior con objeto de servir de aislamiento térmico, acústico y como sectorización contra incendios.

Así, la fase I se encuentra en la zona exterior, mientras que las fases II, III y IV están en la zona de producción. Dentro de la zona de no-producción, se han distribuido los diferentes servicios en dos cerramientos: zona de ruido, donde se realizan las actividades que requieren menor concentración y zona de no-ruido, para las que el silencio es requisito indispensable en su desarrollo normal.

Los servicios auxiliares se han repartido por toda la planta, en función de sus necesidades de silencio, seguridad y libertad de movimiento por el recinto:

- Servicios exteriores: gestión de residuos y parking.
- Servicios zona producción: almacén de producto intermedio, almacén de refundición, almacén de maquinaria y herramientas y taller.
- Servicios zona de ruido: vestuarios, baños y comedor.
- Servicios zona de no-ruido: sala de primeros auxilios, oficinas y laboratorio.

## 5.5.- Localización

Tras realizar un pequeño estudio de localización, se han escogido las parcelas **F2** y **F3** de *L'Espartall III*, un parque industrial situado en el municipio de Xixona, como se muestra en la figura 10.

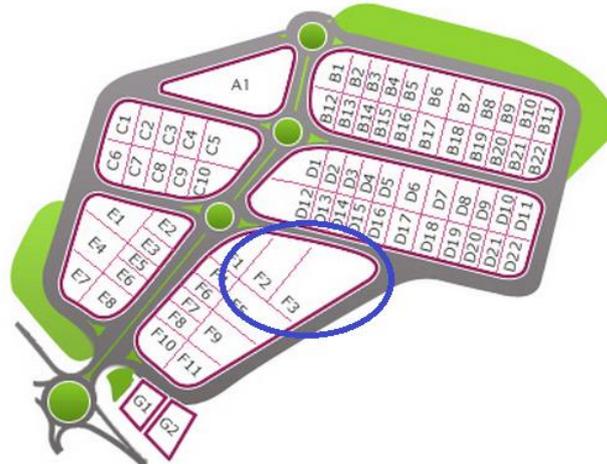


Figura 10. Mapa de L'Espartall III

El estudio de localización puede verse en el Anexo 1.

## 5.6.- Características estructurales

La planta industrial es de 40 x 50 metros en dos naves gemelas a base de pórticos. Luz de cada pórtico será de 20 metros y la crujía de 5 metros hasta llegar a los 50 metros de largo que mide cada nave. La altura de pilar será de 9 metros.

El clima es de tipo mediterráneo seco, con un paraje subdesértico, lo que hace innecesarias grandes pendientes en cubierta. No obstante, en octubre sí se producen gotas frías a tener en cuenta, por lo que la inclinación será del 3%.

El alzado de la planta se muestra en la figura 11.

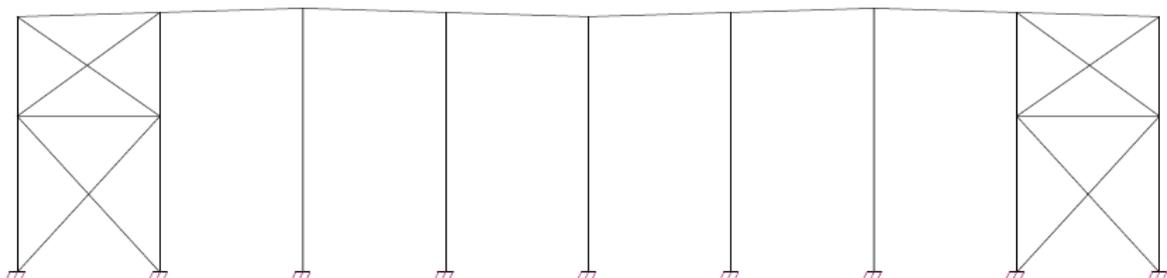


Figura 11. Alzado de la estructura

## 6.- ILUMINACIÓN

### 6.1.- Generalidades

**Luminotecnia** es la rama de la ciencia que estudia las formas de producción de luz, su control y su aplicación, si bien es cierto que se centra en iluminación artificial, sí posee una parte común con la natural.

Las magnitudes de dicha técnica que se utilizan para describir el nivel de iluminación son:

#### - Flujo luminoso

Cantidad de luz emitida por una fuente en todas las direcciones (Laszlo, s.f.).

Su unidad de medida es el *lumen*.

En la Figura 12 se muestra el símil hidráulico del flujo luminoso, agua arrojada por una esfera hueca.

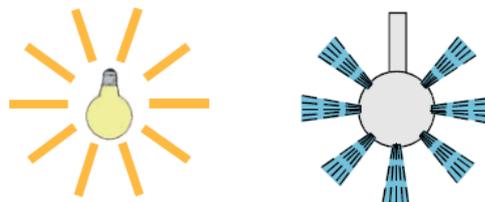


Figura 12. Flujo luminoso y su símil hidráulico

Fuente: Laszlo, s.f.

#### - Iluminación

Cantidad de flujo luminoso que una superficie de 1 m<sup>2</sup> recibe (Laszlo, s.f.).

Se mide en *lux* ( $lux = lumen/m^2$ )

De nuevo, es posible observar el símil hidráulico en la Figura 13, donde la iluminación se correspondería con la cantidad de agua por unidad de superficie.

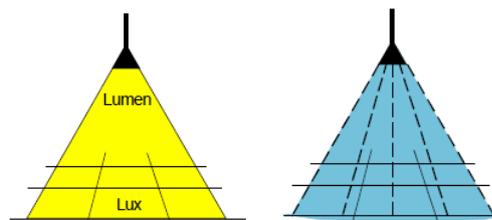


Figura 13. Iluminación

Fuente: Laszlo, s.f.

El diseño de la iluminación se verá influido por las propiedades fundamentales de la visión:

- **Agudeza (visual):** Capacidad del ojo de distinguir objetos muy próximos entre sí (R.A.E, 2014), de ver los detalles pequeños.
- **Percepción del contraste:** capacidad de detectar las variaciones de luminosidad entre objetos de una misma imagen.
- **Percepción del color:** capacidad de distinguir las diferencias en una gama de colores.

Estas facultades mejorarán cuanto mayor sea el nivel de iluminación, pero siempre hasta un cierto punto.

## 6.2.- Tipos de iluminación

La iluminación puede clasificarse de muchas formas, las más útiles para este trabajo y que brindan una mejor comprensión de la iluminación son las siguientes:

Según el **manantial luminoso** que la genera:

- **Natural:** mediante luz del sol.
- **Artificial:** generada por una fuente creada por el hombre, con unas propiedades y distribución similares a la luz natural.

Según el **grado de uniformidad** deseado:

- **General:** distribuida uniformemente sobre la superficie de trabajo.
- **Localizada:** luz únicamente centrada en las zonas de trabajo.
- **General y localizada:** combinación de ambos tipos cuando la general es insuficiente.

En la Figura 14 se ilustran estos tipos de iluminación según el grado de uniformidad.

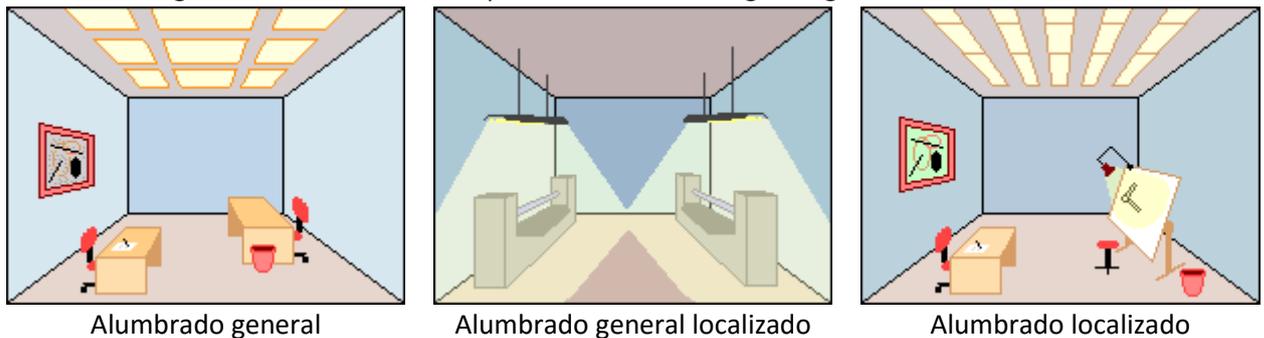


Figura 14. Iluminación según grado de uniformidad  
Fuente: Boix, s.f.

Según la **distribución** de las luminarias:

- **Directa:** flujo luminoso dirigido hacia abajo > 90%.
- **Semi-directa:** flujo luminoso dirigido hacia abajo 60 – 90%.
- **Uniforme:** flujo hacia arriba y hacia abajo 40 – 60%.
- **Semi-indirecta:** flujo luminoso dirigido hacia arriba 60 – 90%.
- **Indirecta:** flujo luminoso dirigido hacia arriba > 90%.

Los tipos de iluminación según la distribución de las luminarias quedan ilustrados en la Figura 15.

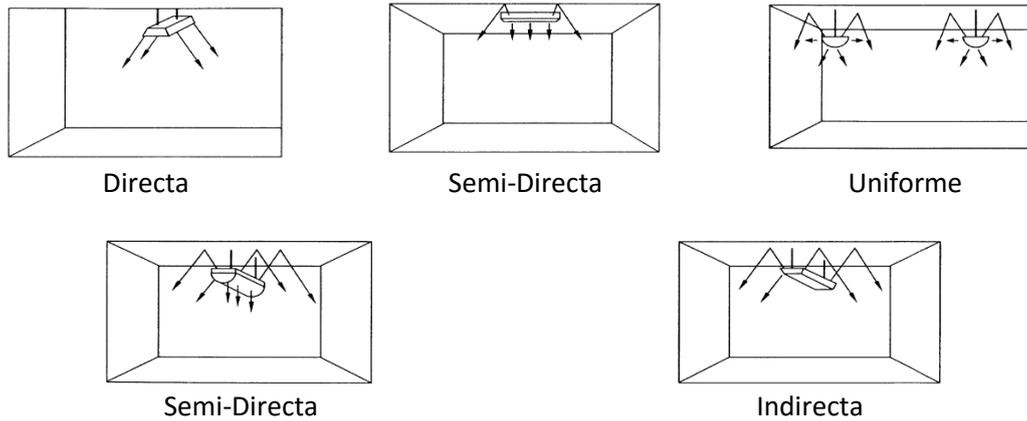


Figura 15. Iluminación según distribución de luminarias  
Fuente: Santamarina (2015)

### 6.3.- Iluminación natural

En algunos casos, la luz generada por el sol no llega directamente a la superficie a iluminar, sino que pasa primero por otros objetos y superficies, que tienen diferentes comportamientos dependiendo de si son objetos opacos (que absorben y reflejan la luz) o traslúcidos (que además, también transmiten parte de esa luz). Los distintos comportamientos de la luz se muestran en la Figura 16.

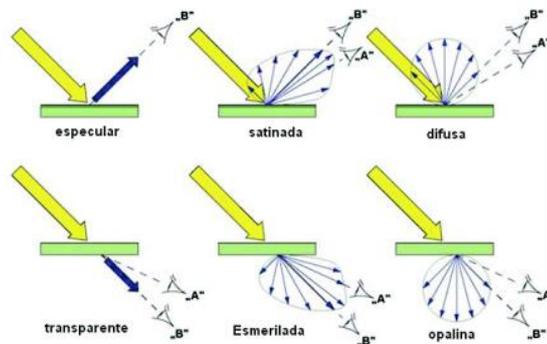


Figura 16. Comportamiento de la luz  
Fuente: Manual canarias.

Por tanto, aunque el manantial luminoso sea el mismo, el origen de la luz que incide es distinto, permitiendo una nueva clasificación de la luz natural.

- **Radiación directa:** no sufre desviaciones a su paso por la atmósfera.
- **Radiación difusa:** al encontrar obstáculos en la atmósfera que provocan reflexión y difusión, sufre desviaciones en su dirección.
- **Radiación reflejada:** parte de las radiaciones directa y difusa que llega al suelo u otros obstáculos y que es reflejada por los mismos.

Estos tipos de radiaciones se ilustran en la Figura 17.

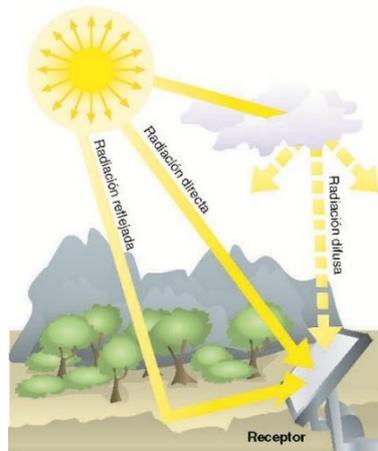


Figura 17. Radiación solar.

Fuente: [calculationsolar.com](http://calculationsolar.com), 2015

Una característica esencial de la luz natural es su inestabilidad temporal, pues su disponibilidad varía en gran medida debido a los siguientes factores:

- **El movimiento de traslación de la tierra**, que influye en el ángulo (y, por tanto, en el aprovechamiento) de la luz aportada a una misma hora solar.
- **El movimiento de rotación de la tierra**, que hace variar lentamente el nivel luminoso según la hora solar, produciendo su máximo al mediodía y su mínimo (nulo) a medianoche.
- **Los cambios meteorológicos**, que son los responsables de las grandes fluctuaciones del nivel de iluminación en cortos periodos de tiempo.
- **La posición geográfica (latitud)**, ya que es la que rige la frecuencia de aparición del sol.

#### 6.4.- Sistemas de iluminación natural

Un sistema de iluminación energéticamente eficiente pasa por el máximo aprovechamiento de la luz natural y la aportación de la luz artificial necesaria cuando la natural no sea suficiente.

Así, son las necesidades lumínicas y constructivas las que marcan la ubicación de los dispositivos que permiten la entrada de luz, de forma lateral, cenital o combinada, generando cinco tipos principales de sistemas de iluminación que se muestran en la Figura 18.

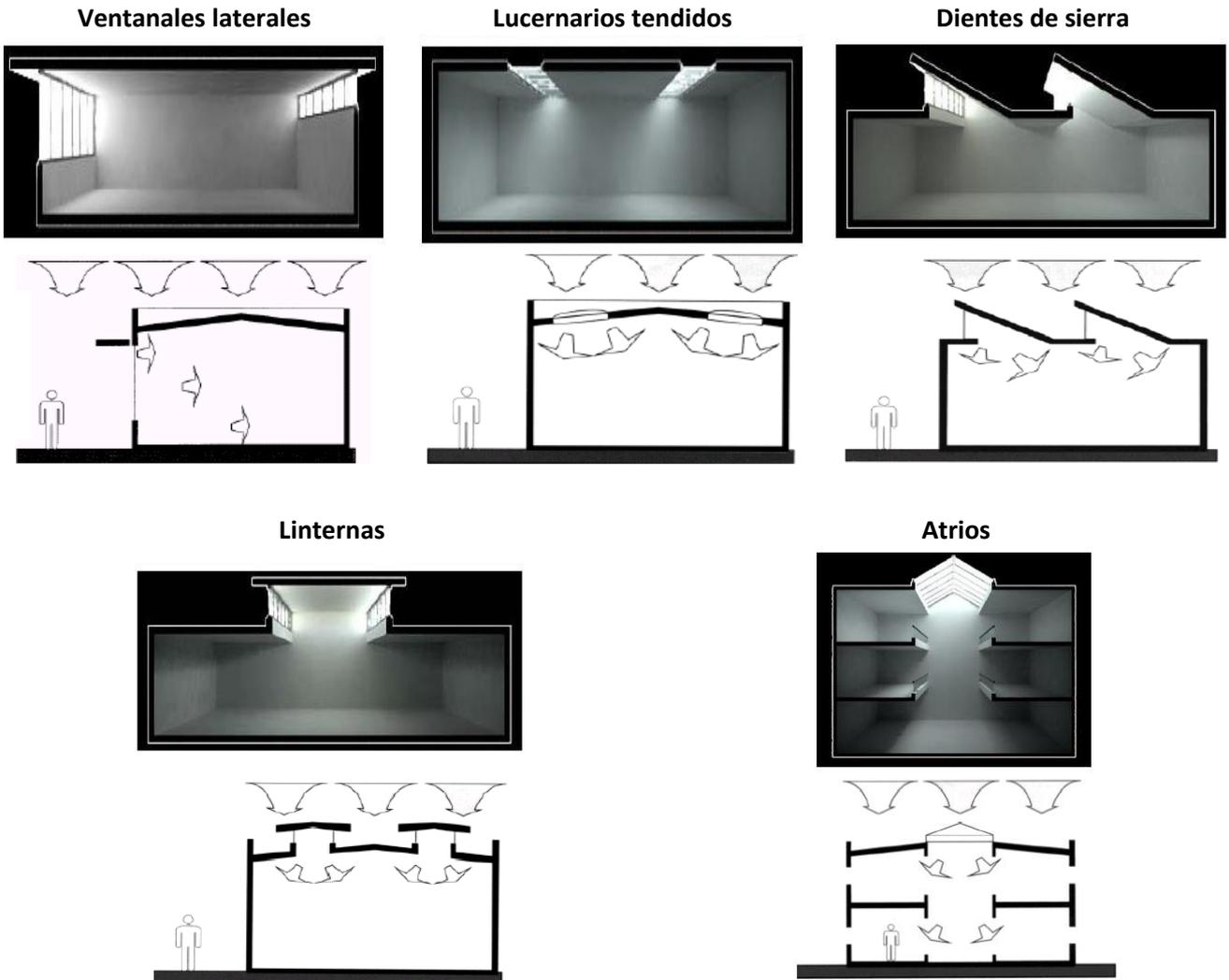


Figura 18. Tipos de sistemas de iluminación.

Fuente: Santamarina, 2015

También pueden utilizarse **claraboyas** siempre y cuando la pendiente de la cubierta no supere el 10%.

Las claraboyas pueden ser de dos tipos, como se muestra en la figura 19.

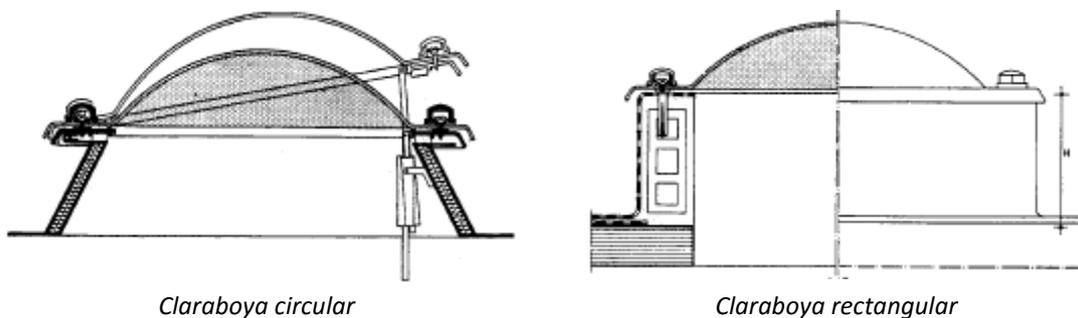


Figura 19. Tipos de claraboya

Fuente: Santamarina, 2015

Todo esto son distintas herramientas que podrán ser utilizadas para el diseño del sistema de iluminación.

## 6.5.- Requerimientos de iluminación

Transformar algo tan intrínsecamente cualitativo y subjetivo como es la calidad de un sistema de iluminación en una variable de salida cuantitativa y objetiva no es tarea fácil. Es necesario, en primer lugar, establecer los parámetros de medida y sus rangos de trabajo aceptables. Para ello, se recurre a diversas normativas, cada una de las cuales aporta uno o más aspectos a tener en cuenta.

Así los puntos a analizar son:

- **Valor medio de iluminación en el plano de trabajo ( $E_a$ ):** establece las intensidades de iluminación mínimas que deben haber en una estancia para acometer distintos trabajos según la industria.

Dicho valor es determinado por la norma UNE-EN 12464.1.

- **Uniformidad global de la iluminación ( $U$ ):** en iluminación natural, describe el cociente entre las iluminaciones mínima y máxima horizontales en el plano de trabajo.

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{máx}}$$

Es la forma de conocer si existen grandes contrastes de zonas claras y oscuras que puedan resultar incómodos para el desarrollo de la actividad.

No existe normativa que fije el grado de uniformidad global, pero en naves industriales se permite que su valor sea bajo ya que se trata de recintos diáfanos, donde las transiciones entre zonas claras y oscuras se realizan de forma gradual, lo que le da tiempo al ojo a adaptarse al nuevo nivel de iluminación.

De hecho, tan laxa es la normativa en este referente, que en se puede utilizar una segunda definición de uniformidad.

$$U' = \frac{E_{mín}}{E_m}$$

Esta definición es menos restrictiva porque el valor del cociente cuando el nivel de iluminación de referencia es el medio siempre será menor que cuando se utilice el máximo.

- **Deslumbramiento:** fenómeno que aparece cuando existen grandes diferencias de nivel de iluminación entre objetos iluminados.

Cuando esto ocurre, al pasar de un objeto o parte de la estancia a otro, el ojo humano debe realizar un proceso de adaptación durante el cual su visión queda parcialmente reducida. Se trata pues, de un concepto ligado a la uniformidad en parte.

Así, el objetivo de este parámetro es saber si se alcanza o no ese nivel de iluminación máximo a partir del cual el ojo no va a poder adaptarse o su adaptación podría ser perjudicial.

Pero la aparición de deslumbramientos no es provocada tan sólo por el nivel de iluminación, también depende del ángulo de incidencia. Se ha comprobado que ángulos inferiores a los 30° son excesivamente molestos, ya que provocan sombras alargadas e incómodas. Esto incluye también a la luz reflejada que incide directamente sobre los ojos. Los rangos para el ángulo de incidencia en función de la molestia provocada se muestran en la Figura 20.



Figura 20. Ángulos deslumbramiento  
Fuente: Santamarina, 2015

En el sistema de iluminación a estudiar, la situación de deslumbramiento se conocerá pasando un plano horizontal por toda la planta a la altura de los ojos de una persona media. Acto seguido se calculará la distancia a partir de la cual el ángulo entre el margen inferior de la ventana y dicho plano sea igual a 30 o inferior. Y finalmente, se observará si a esa distancia o a mayores, se encuentra un puesto de trabajo. Por tanto, los deslumbramientos tan sólo se producen en ventanales laterales y bastará con que aparezcan en un solo puesto para declarar que la propuesta posee deslumbramientos.

Según la tabla comparativa *Altura media de la población por países, sexo, periodo y edad* que proporciona el INE (*Instituto Nacional de Estadística*), las medias entre hombres y mujeres por edades comprendidas entre los 15 y los 54 años, en el registro de 2001, son:

Edad	Entre 15 y 24 años	Entre 25 y 34 años	Entre 35 y 44 años	Entre 45 y 54 años
Altura (cm)	171,1	169,3	167,0	165,6

Tabla 2. *Altura media de la población por países, sexo, periodo y edad*  
Fuente: INE, 2015

Para abarcar el máximo rango de edades típicas en esta clase de industria, se ha realizado la media.

$$H_{persona} = 168,25 \text{ cm}$$

Por otro lado, el ángulo de cálculo será el ángulo límite, establecido más por la experiencia de la profesión que en cualquier normativa.

$$\alpha = 30^\circ$$

El método de cálculo se ilustra en la Figura 21.

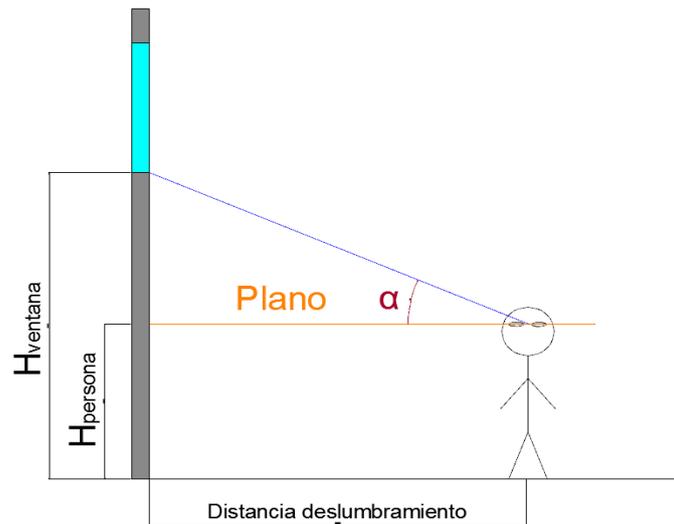


Figura 21. Método de cálculo de deslumbramiento

Para hallar la distancia límite se aplica una relación trigonométrica:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_{\text{ventana}} - H_{\text{persona}}}{D_{\text{deslumbramiento}}}$$

## 6.6.- Métodos de cálculo

Es un hecho que el nivel de iluminación natural en el interior de un recinto es directamente proporcional a la superficie de aberturas existente. Puesto que éste es uno de los pocos parámetros en referencia al uso de la luz natural que puede ser medido y manipulado a voluntad, es de especial interés conocer métodos de cálculo al respecto.

A pesar de existir varios métodos, uno de los más precisos, y el único que va a emplearse en este trabajo es el **método analítico**.

### 6.6.1.- Método Analítico

Este método se basa en la determinación de la superficie partiendo de un nivel de iluminación exterior horizontal mínimo fijo ( $E_a$ ).

$$E_{a_{\text{mínimo}}} = 3000 \text{ lux}$$

Con este dato, se utiliza el método de rendimiento del Dr. Fruhling para el cálculo de los requerimientos ambientales del sistema productivo, en el que supone que todas las aberturas serán verticales (ventanas):

$$E_{\text{int}} = E_a \cdot f_V \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S}$$

Donde:

- $E_{int}$  es el nivel de iluminación horizontal medio deseado en el interior.
- $E_a$  es el nivel de iluminación horizontal en el exterior.
- $f_v$  es el factor de ventanas (verticales).
- $f'$  es el factor característico de reducción ventana-muro.
- $\eta$  es el rendimiento del recinto.
- $S_v$  es la superficie de ventanas (verticales).
- $S_s$  es la superficie de suelo del recinto.

Con el nivel de iluminación horizontal exterior fijo, y siendo la superficie del recinto, los factores y el rendimiento fácilmente calculables como se verá más adelante, queda una relación directa entre la iluminación media deseada y la superficie de ventanas. De forma que, al ser posible obtener esa iluminación media por normativa, se despeja la superficie de ventanas.

$$S_v = \frac{E_{int} \cdot S_s}{E_a \cdot f_v \cdot f' \cdot \eta}$$

No obstante, en espacios grandes y/o con pocas posibilidades de instalar superficies verticales, es posible que no se cumplan los requerimientos ambientales mínimos establecidos. En estos casos, será necesario instalar también aberturas horizontales (claraboyas o lucernarios) en la cubierta.

En el método de cálculo esto queda reflejado de la siguiente forma:

$$E_{int} = E_a \cdot f_v \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_v}{S_s} + E_a \cdot f_H \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_H}{S_s}$$

Donde

- $f_H$  es el factor de lucernario (horizontales).
- $S_H$  es la superficie de lucernarios (horizontales).

El resto de parámetros se mantienen porque, como se verá más adelante, no dependen de la posición de la abertura.

En este caso, hace falta una condición de contorno más, para poder resolver el sistema de ecuaciones. Dicha condición será supuesta por el diseñador y establecerá una relación entre la superficie de ventana y la de lucernarios

$$S_v = k \cdot S_H$$

#### Parámetros que intervienen

- **Nivel de iluminación horizontal medio deseado en el interior  $E_{int}$**   
Este parámetro se calculará durante el diseño del sistema de iluminación utilizando la norma UNE-EN 12464.1
- **Nivel de iluminación horizontal en el exterior  $E_a$**   
Aunque el mínimo establecido por norma es de 3000 lux, el nivel de iluminación exterior depende enteramente de la posición geográfica de la planta, las condiciones meteorológicas y la época del año.

Su cálculo se realiza a través del software libre Solea 2.

En él, se introducen:

- Orientación
- Inclinação
- Albedo
- Horizonte
- Latitud
- Fecha

Un ejemplo puede observarse en la figura 22.

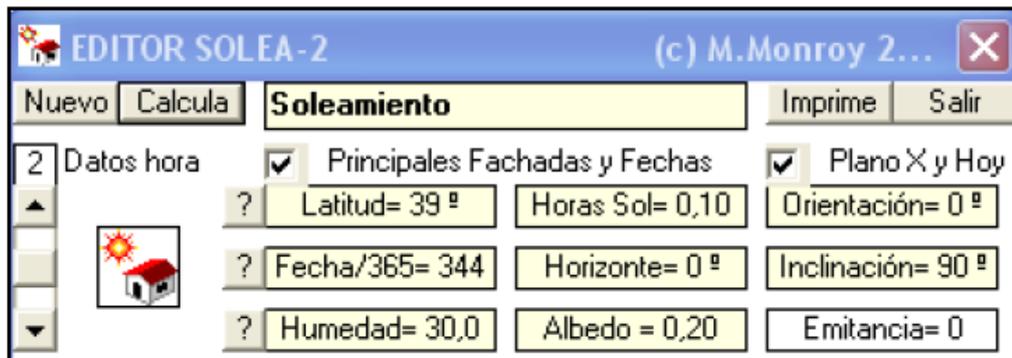


Figura 22. Ejemplo de introducción de datos en Solea-2  
Fuente: Solea-2, 2015

Con todo esto, para la planta objetivo se obtiene un el nivel de iluminación horizontal en el exterior de 8500 lux.

$$E_a = 8500 \text{ lux}$$

- **Factor característico de reducción ventana-muro  $f'$**

Para mejorar la precisión del cálculo, se tiene en cuenta también que la abertura (y el cerramiento en que se encuentra) posee una tercera dimensión y esto puede reducir el canto del paso de radiación solar como consecuencia del espesor.

Este parámetro depende de la relación entre la altura y longitud de la ventana y el espesor del cerramiento y se obtiene a través de la siguiente curva experimental:

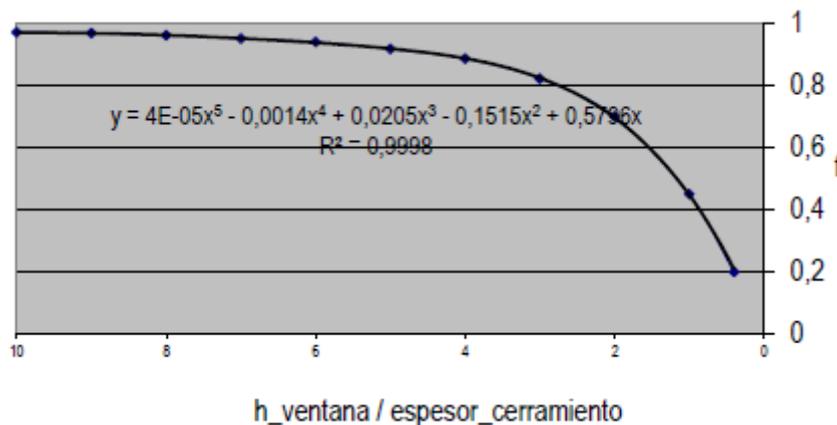


Figura 23. Curva  $f'$  para longitud ventana/espesor cerramiento  $\geq 10$   
Fuente: Santamarina, 2015

No obstante, como la relación en el caso objetivo será siempre mayor que 10 por las características de planta, se puede utilizar un valor de 1 cometiendo un error despreciable.

$$f' = 1$$

- **Factor de ventana/lucernario f**

Partiendo de la aproximación de que la radiación que llega desde la bóveda celeste tiene forma de semiesfera, la cantidad de luz exterior que entra en el recinto es función de la inclinación de la abertura, tal y como se ilustra en la Figura 24.

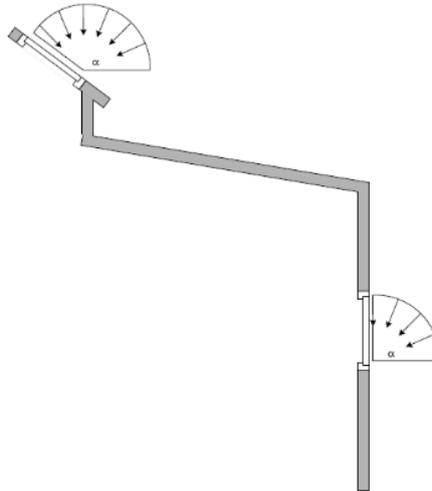


Figura 24. Radiación según la inclinación  
Fuente: Santamarina, 2015

De hecho, los cálculos se realizan bajo la suposición de que la abertura se encuentra en posición horizontal y cuando esto no es cierto, es necesario aplicar un factor de corrección, llamado **factor de ventana**.

Este factor se calcula como la razón entre el ángulo que posee la abertura respecto a la horizontal ( $\alpha$ ) y el ángulo que forma la horizontal misma ( $180^\circ$ ).

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

El ángulo de la abertura se obtiene a partir de la inclinación, por tanto, será diferente para ventanales (en los muros) y lucernarios (en la cubierta).

El ángulo de los cerramientos es siempre  $90^\circ$

$$\alpha_v = 180 - 90 = 90^\circ$$

Como se ha mencionado anteriormente, la inclinación del tejado en la planta objetivo es de  $1,718^\circ$  (prácticamente plana):

$$\alpha_H = 180 - 1,718 = 178,282^\circ$$

Por tanto, los factores de ventana serán:

$$f_V = \frac{90}{180} = 0.5$$

$$f_H = \frac{178,282}{180} = 0.99$$

#### - Rendimiento del recinto $\eta$

Este factor tiene en cuenta el real aprovechamiento del flujo luminoso, que es el que cae sobre el plano de trabajo de forma directa o indirecta. La parte de flujo que no lo hace así, bien sea debido a la dispersión provocada por las superficies de la planta o a la absorción de la energía que le llega, no puede tenerse en cuenta.

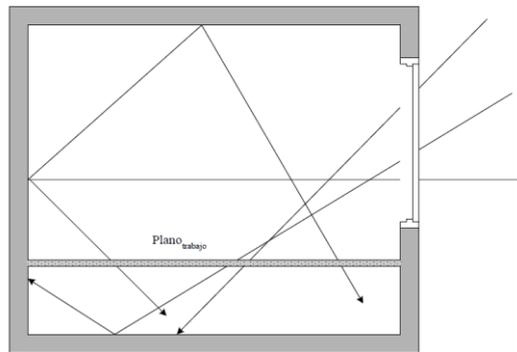


Figura 25. Rendimiento del recinto  
Fuente: Santamarina, 2015

Éste es un parámetro cualitativo cuyo valor ronda entre el 40% y 50% en edificios, pero que en la industria alcanza valores del 60% y 80%, dependiendo, sobre todo, del tipo de superficies que contenga el recinto (metálicas, en madera, etc.). Al tratarse de un proceso metalúrgico, el rendimiento del recinto será del 70%.

#### - Superficie de suelo del recinto $S_S$

La superficie engloba toda el área en que se realiza el estudio de iluminación natural que, como en este caso, no tiene por qué coincidir con la superficie de toda la planta.

Para la planta objetivo, la superficie a iluminar corresponde a la zona de producción.

$$S_S = 1594,7 \text{ m}^2$$

## 6.7.- Eficiencia energética del sistema de iluminación

Los diferentes sistemas de iluminación que pueden generarse deben poder compararse de una forma relativamente sencilla e intuitiva. Es por esto que para todos se analiza la eficiencia energética a través del cálculo del **valor de eficiencia energética de la instalación** (VEEI). El método de cálculo se encuentra en el CTE (Código Técnico de la Edificación), que hace obligatorio el aprovechamiento de la luz natural donde se la misma lo permita, siendo necesarias soluciones adaptadas en los casos que queden excluidos.

Se trata, en el fondo, de una forma de verificación del cumplimiento de la normativa vigente, cuyos límites superiores según la actividad se encuentra en el CTE.

El parámetro VEEI se obtiene

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

Donde:

- **P** es la potencia conjunta de la lámpara y el equipo auxiliar (W).
- **S** es la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).
- **E<sub>m</sub>** es la iluminancia media mantenida (lux).

El número de puntos mínimo necesario para el cálculo de la iluminancia media depende de las características de local y se mide a partir del parámetro K:

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

Donde

- **L** es la longitud del local.
- **A** es la anchura del local.
- **H** es la distancia del plano de trabajo a las luminarias.

Así, los puntos mínimos en función de K se muestran en la Tabla 3:

Valores de K	Número mínimo de puntos
K < 1	4
1 ≤ K < 2	9
2 ≤ K < 3	16
K < 3	25

*Tabla 3. Número mínimo de puntos para VEEI*

## 7.- DISEÑO ILUMINACIÓN

### 7.1.- Introducción

El diseño de iluminación se afronta desde la perspectiva de la creación de una nueva planta o, en su defecto, de una planta cuya iluminación hasta la fecha era completamente artificial.

Además, es un diseño que tiene en cuenta las limitaciones físicas del recinto, evitando realizar aberturas en elementos estructurales como los pilares y siendo consciente de que existen cerramientos en la zona de producción que no reciben lux exterior por comunicar con la zona de no-producción. Esto último limitará la superficie vertical de trabajo, pero no la horizontal (cubierta).

### 7.2.- Requerimientos de iluminación en la planta

#### 7.2.1.- Zonificación

Para posteriores análisis y cálculos, es necesario dividir los sectores descritos anteriormente en zonas más pequeñas, con objeto de aumentar la precisión.

Como las necesidades en cada cálculo son diferentes, se van a realizar dos divisiones.

#### Zonificación por fases de producción

Como se ha visto ya, el proceso productivo consta de cuatro fases, de las cuales tan sólo tres se encuentran dentro de la zona de producción y serán las que se incluyan en el diseño del sistema de iluminación:

- Fase II - Obtención de lingotes
- Fase III - Obtención y preparación de cospeles
- Fase IV - Acuñaición y empaque

Dicha zonificación se observa en la Figura 26, mientras que en la Tabla 4, pueden verse las superficies correspondientes a cada una de las fases.

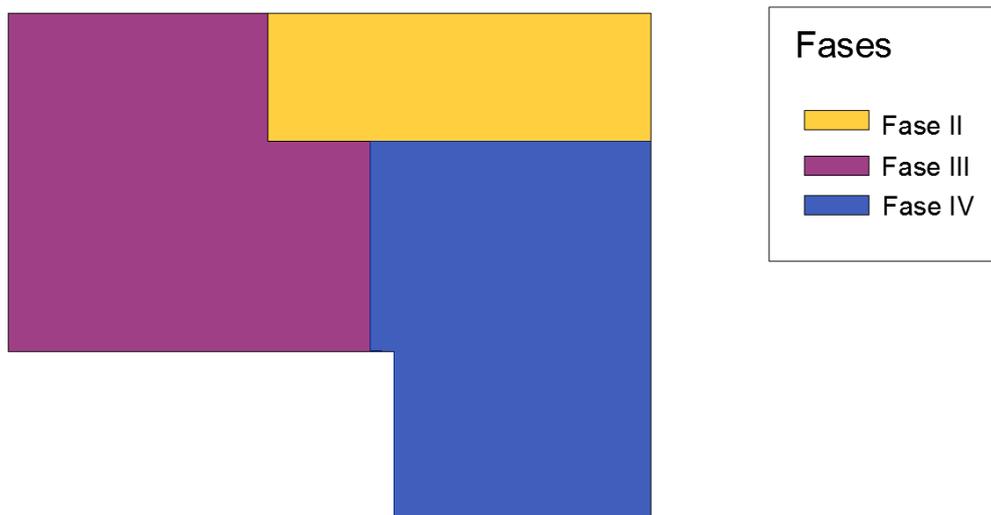


Figura 26. Zonificación por fases de producción

Fase	II	III	IV
Área (m <sup>2</sup> )	298	665	630

Tabla 4. Área de cada fase

Zonificación por actividades

Se divide de forma aproximada según cuánto ocupa cada actividad teniendo en cuenta su espacio gravitacional<sup>4</sup>, lo que incluye, no sólo cada elemento del sistema productivo, sino también otras actividades como el transporte o los pasillos. Los servicios auxiliares no se tendrán en cuenta por estar albergados en cerramientos propios con su propia iluminación

- 6. Fundición.
- 7. Moldeado.
- 8. Corte.
- 9 + 10. Enfriamiento + Limpieza.
- 11. Aplanamiento I.
- 12. Aplanamiento II.
- 13. Troquelado.
- 14. Rebordeado.
- 15. Recocido.
- 16. Decapado.
- 17. Secado.
- 18. Selección.
- 19. Acuñaición.
- 21. Empaquetado.
- X. Pasillo.
- Y. Cinta transportadora.

La Figura 27 enseña esta zonificación y la Tabla 5 cuantifica el área que le corresponde a cada actividad.

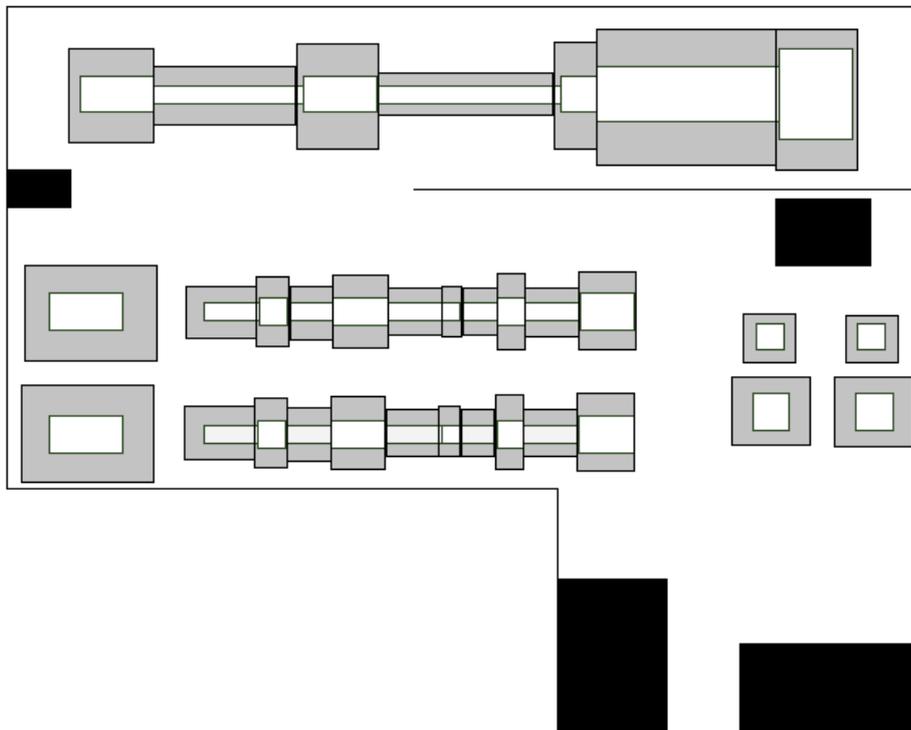


Figura 27. Zonificación por actividades

<sup>4</sup>Espacio gravitacional: conjunto del espacio que ocupa la máquina y el que necesita el operario para trabajar sobre ella.

Actividad sistema productivo	Área (m <sup>2</sup> )	Actividad sistema productivo	Área (m <sup>2</sup> )
6. Fundición	34.57	15. Recocido	24
7. Moldeado	73.37	16. Decapado	6
8. Corte	13.5	17. Secado	12,24
9 + 10. Enfriamiento + Limpieza	22.39	18. Selección	26,2
11. Aplanamiento I	25.52	19. Acuñaación	15,18
12. Aplanamiento II	23.71	21. Empaquetado	32,2
13. Troquelado	38.31	X. Pasillo	964,84
14. Rebordeado	13,46	Y. Cinta transportadora	100,08

Tabla 5. Área de cada actividad del sistema productivo

### 7.2.2.- Nivel medio de iluminación en planta

Para obtener el nivel medio de iluminación se sectoriza toda la planta a partir de la norma **UNE-EN 12464-1 sobre Iluminación para Interiores** en función del tipo de actividad y se realiza una media ponderada con el área que ocupa.

Dicha norma determina las necesidades lumínicas en función del ámbito (sanitario, educativo, establecimiento minoristas, etc.) y después subdivide cada ámbito por tipos dentro del mismo (por ejemplo, dentro del sector sanitario están las salas de examen, de guardia, de tratamiento...). En lo que a la planta a estudiar se refiere, los ámbitos que engloba son:

- Actividades industriales y artesanales
- Zona de tráfico y áreas comunes de edificio

Los casos de la normativa identificados en el proceso son

ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANALES		
Código	Descripción	E <sub>int</sub> (lux)
Fundiciones y coladas de metales		
8.3	Preparación de arena, vestuario, puestos de trabajo en cúpula, mezclador, <b>nave de colada, moldeo en máquina.</b>	200
Trabajo y tratamiento de metales		
13.8	Mecanizado de chapa	300
13.15	<b>Preparación de superficies</b> y pintura	750
Imprentas		
16.5	<b>Grabado</b>	2000
Laminación, instalaciones siderúrgicas		
17.3	Hornos	50
17.4	<b>Tren de laminación, bobinadora,</b> línea de corte	300
17.5	Fosos, <b>cintas,</b> cuevas...	50
17.7	Ensayos, medición, <b>inspección</b>	500

Tabla 6. Requerimientos lumínicos para actividades industriales y artesanales

ZONAS DE TRÁFICO Y ÁREAS COMUNES DE EDIFICIOS		
Código	Descripción	E <sub>int</sub> (lux)
Zonas de tráfico		
1.1	Áreas de circulación y pasillos	100
Salas de almacenamiento, almacenes fríos		
4.2	Manipulación de paquetes y expedición	300

Tabla 7. Requerimientos lumínicos para zonas de tráfico y áreas comunes de edificios

Ahora, se asocia cada actividad reglada con una actividad del proceso productivo como muestra la Tabla 8 y se le asigna su correspondiente área. Dicha asignación queda representada en la Figura 28.

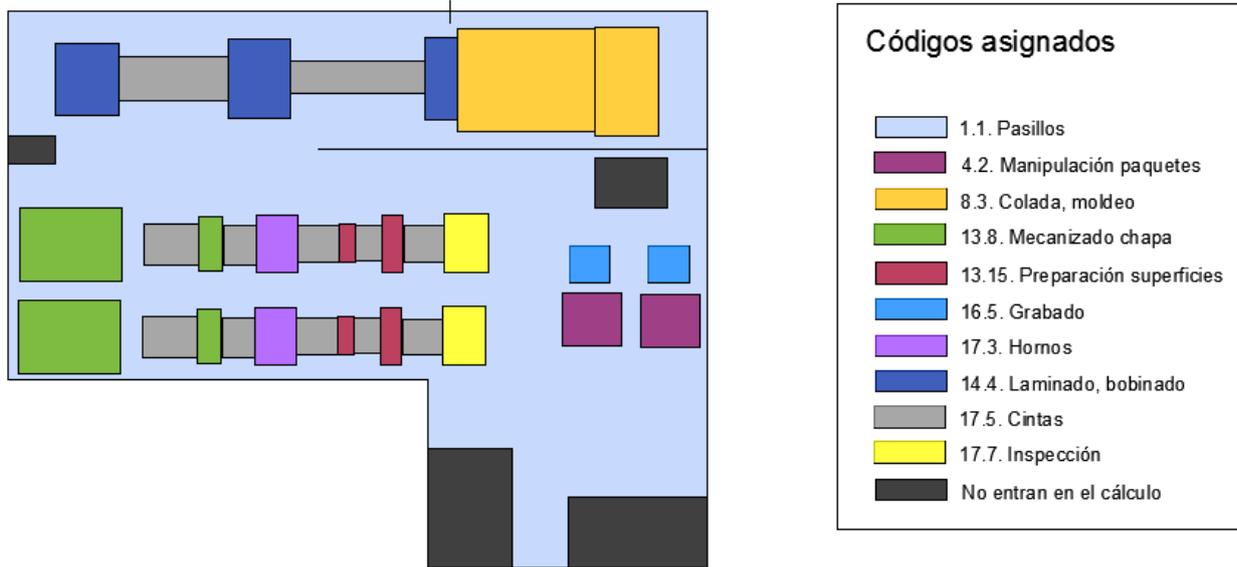


Figura 28. Área asignada a cada actividad reglada

Actividad proceso productivo	Código	Actividad proceso productivo	Área (m <sup>2</sup> )
6. Fundición	17.3	15. Recocido	17.3
7. Moldeado	8.3	16. Decapado	13.15
8. Corte	17.4	17. Secado	13.15
9 + 10. Enfriamiento + Limpieza	17.5	18. Selección	17.7
11. Aplanamiento I	17.4	19. Acuñación	16.5
12. Aplanamiento II	17.4	21. Empaquetado	4.2
13. Troquelado	13.8	X. Pasillo	1.1
14. Rebordeado	13.8	Y. Cinta transportadora	17.5

Tabla 8. Asociación actividad proceso productivo – actividad reglada

Con esto, es ya fácil obtener el nivel de iluminación medio, realizando una ponderación en función del área.

$$E_m = \sum \frac{E_{int,i} \cdot S_i}{S_T}$$

Donde

- $E_m$  es la iluminación media ponderada.
- $E_{int,i}$  es la iluminación interior establecida para una zona.
- $S_i$  es la superficie que ocupa una zona.
- $S_T$  es la superficie total.

Los cálculos quedan reflejados en la Tabla 9:

Actividad	Código	$E_{int}(lux)$	Área (m <sup>2</sup> )	$E_{int}ponderados (lux)$
6	17.3	200	34,57	4,72
7	8.3	200	73,37	10,02
8	17.4	300	13,5	2,77
9+10	17.5	50	22,39	0,76
11	17.4	300	25,52	5,23
12	17.4	300	23,71	4,86
13	13.8	300	76,62	15,70
14	13.8	300	13,46	2,76
15	17.3	200	24	3,28
16	13.15	750	6	3,07
17	13.15	750	12,24	6,27
18	17.7	500	26,2	8,95
19	16.5	2000	15,18	20,74
21	4.2	300	32,2	6,60
X	1.1	100	964,84	65,91
Y	17.5	50	100,08	3,42
		<b>TOTAL</b>	<b>1463,88</b>	<b>165,07</b>

Tabla 9. Cálculo nivel medio de iluminación

Por tanto, el nivel de iluminación medio será de:

$$E_m = 165 \text{ lux}$$

### 7.3.- Hipótesis de trabajo

El correcto diseño de un sistema de iluminación natural depende en gran medida de la localización, la época del año, las horas de simulación y de la situación atmosférica. Es por esto que es necesario establecer ciertas hipótesis de trabajo.

#### - Localización

La planta objetivo se encuentra en el parque empresarial *L'Espartall III*, situado en el municipio de Xixona.

Las coordenadas concretas son latitud **38.519397** y longitud **-0.483117**

#### - Época del año

Con el fin de que el sistema de iluminación cumpla los requisitos durante todo el año, se van a simular dos épocas:

- *Invierno*: época donde la luz exterior será menor para comprobar que se alcanza la iluminación media calculada. En concreto, el **10 de diciembre**, ya que es el día más corto del año y, por tanto, con menor horas de luz diurna.

- *Verano*: momento en el que mayor cantidad de luz solar llega, con la intención de estudiar los posibles deslumbramientos. La fecha elegida será el **23 de junio** por ser la antítesis del 10 de diciembre, es decir, el día más largo del año.

De esta forma, si el nivel medio de iluminación en invierno se alcanza en toda la planta y si el nivel máximo de iluminación en verano no supera el permitido por la normativa, el diseño será válido.

#### - **Hora del día**

La hora del día también se programa para que las situaciones durante la simulación sean extremas:

- *Invierno*: las primeras horas de la jornada laboral son las más comunes y de las que menos luz poseen. Por tanto, se seleccionarán dos horas: las **10:00** y las **12:00**.
- *Verano*: el mediodía solar es el momento en que más iluminación hay. Por tanto, la simulación se realizará a las **12:00**.

#### - **Situación atmosférica**

Esta característica marcará la cantidad de radiación que llegará y el tipo. En ambas épocas del año se implementará **el cielo cubierto**. Aunque parece una elección poco acorde con la situación climática real de la localización, tiene una explicación razonable. Si bien la climatología es una característica a tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos, existe otro fenómeno más importante: la difusión sufrida por la radiación exterior al atravesar los ventanales de policarbonato. Dicha difusión es muy difícil de implementar por sí misma y complicaría mucho los cálculos de reflexión. Pero es un fenómeno fundamental que debe de ser incluido en el diseño del sistema de iluminación de alguna forma. El cielo cubierto proporciona precisamente la clase de luz difusa que provocaría la difusión por las ventanas. De este modo, utilizando esta situación atmosférica se consigue un efecto más realista.

## 7.4.- Generación de propuestas – Superficie teórica de aberturas

Una vez conocido el nivel medio de iluminación es el momento de diseñar las distintas configuraciones de aberturas que permitan obtenerlo.

El diseño del sistema de iluminación elaborado por la autora de este trabajo se va comprobar utilizando el software libre DiaLux, un programa especializado en crear proyectos de iluminación, tanto natural como artificial.

Como en cualquier estudio de optimización, es necesario generar varias propuestas para poder compararlas. Teniendo en cuenta que en todos los casos se trata del mismo sistema productivo y de la misma nave industrial, el único punto a modificar es la posición de las aberturas (verticales y horizontales) y quedará reflejado únicamente en la hipótesis de partida y en los cálculos de la superficie teórica de aberturas.

Cabe resaltar, además, que el cálculo a realizar halla una superficie **mínima** de aberturas, siendo, en muchos casos, necesario aumentarla para llegar a los requerimientos mínimos de iluminación en todas las áreas de la planta. Este incremento se ejecutará de forma iterativa, manteniendo siempre las restricciones en el tipo de abertura a utilizar y no solapando las distintas propuestas entre sí. Es decir, si al aumentar el número de aberturas en una propuesta, se llega o aproxima en exceso a la condición de contorno establecido en la siguiente, directamente no se tomará por válida.

#### 7.4.1.- PROPUESTA 1: Todas las luminarias se encuentran en el cerramiento lateral

La superficie de aberturas necesaria se calculará mediante el método analítico, explicado con anterioridad.

$$E_m = E_a \cdot f_V \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S}$$

Donde

$$E_m = 165 \text{ lux} \quad E_a = 8.500 \text{ lux} \quad S_S = 1.594,7 \text{ m}^2$$

$$f_V = 0,5 \quad f' = 1 \quad \eta = 0,7$$

$$S_{V-1} = 88 \text{ m}^2$$

Buscando en la medida de lo posible la máxima uniformidad, se ha repartido la superficie calculada:

- 22 ventanales de 2x2 metros en las fachadas norte, este y oeste cada 5 metros. La disposición se muestra en la Figura 29.

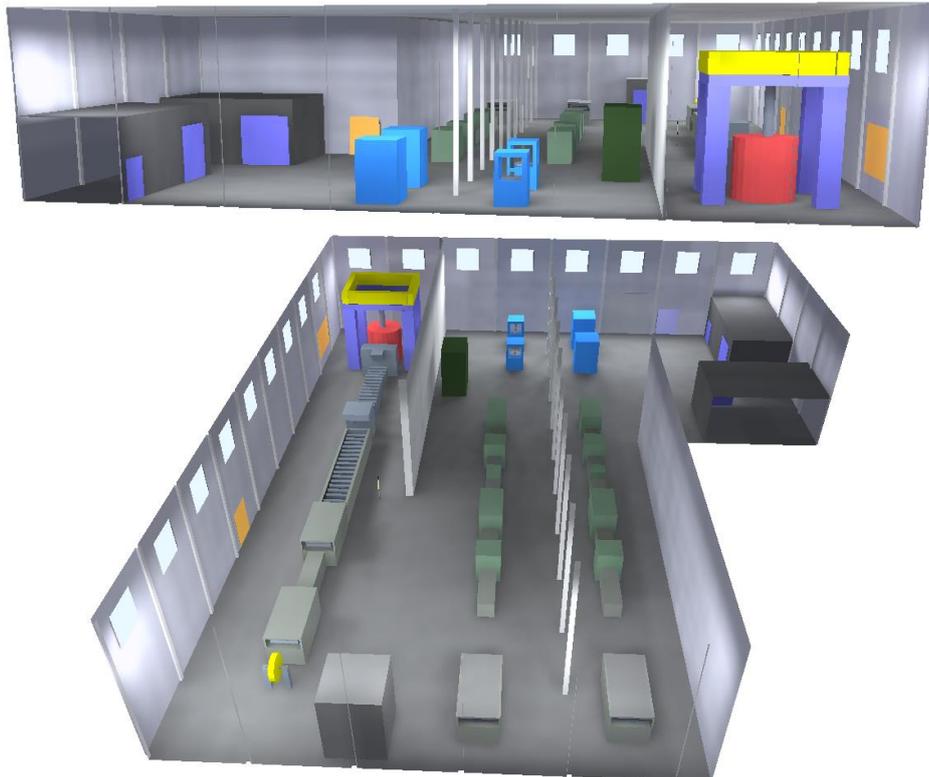


Figura 29. Disposición de aberturas en propuesta 1

#### 7.4.2.- PROPUESTA 2: El doble de superficie de ventanas que de lucernarios

En este caso, además de utilizar la fórmula será necesario establecer la condición de contorno que relaciona los dos tipos de aberturas.

$$E_{int} = E_a \cdot f_V \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_V}{S_S} + E_a \cdot f_H \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_H}{S_S}$$

$$S_V = 2 \cdot S_H$$

Donde

$$E_m = 165 \text{ lux} \quad E_a = 8.500 \text{ lux} \quad S_S = 1.594,7 \text{ m}^2$$

$$f_V = 0,5 \quad f_H = 0,99 \quad f' = 1 \quad \eta = 0,7$$

$$S_{V-2} = 44 \text{ m}^2$$

$$S_{H-2} = 22 \text{ m}^2$$

Las características de las aberturas instaladas son:

- 11 ventanales de 2x2 metros en las fachadas norte, este y oeste cada 10 metros.
- 11 lucernarios de 2x1 metros en cubierta, situados de forma no-simétrica.

La disposición se muestra en la Figura 30.

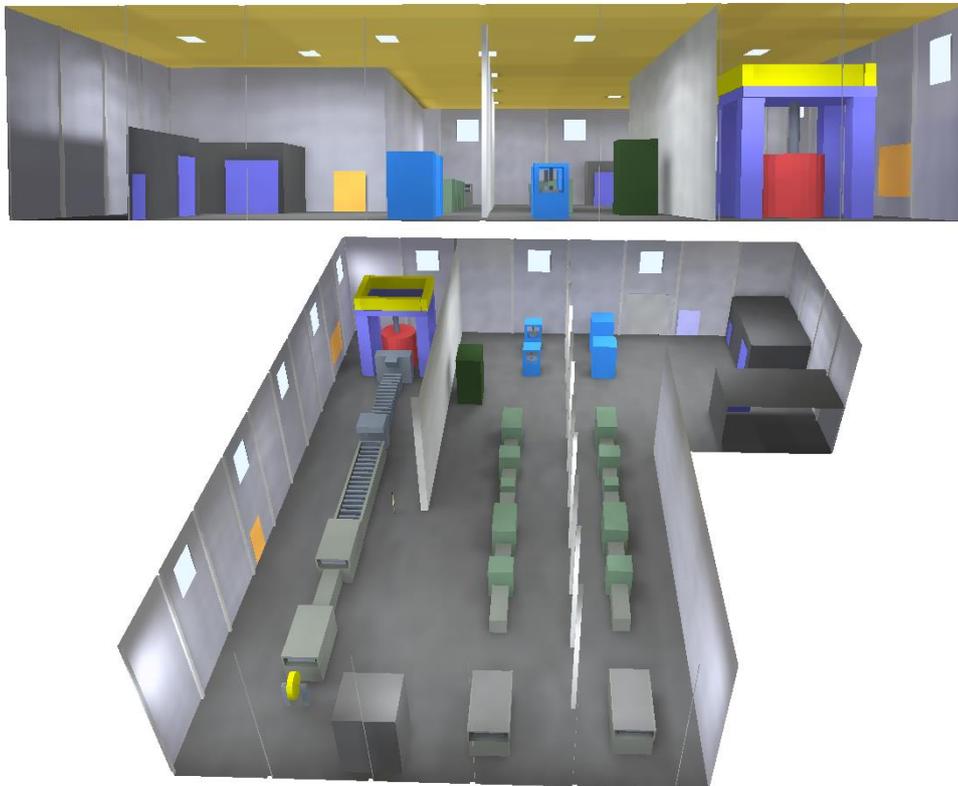


Figura 30. Disposición de aberturas en propuesta 2

### 7.4.3. - PROPUESTA 3: Todas las luminarias se encuentran en cubierta

El procedimiento es el mismo que en la primera propuesta, únicamente cambiando la posición de la abertura.

$$E_{int} = E_a \cdot f_H \cdot f' \cdot \eta \cdot \frac{S_H}{S_S}$$

$$E_m = 165 \text{ lux} \quad E_a = 8.500 \text{ lux} \quad S_S = 1.594,7 \text{ m}^2$$

$$f_V = 0,99 \quad f' = 1 \quad \eta = 0.7$$

$$S_{H-3} = 45 \text{ m}^2$$

En este caso, las aberturas practicadas son:

- 14 lucernarios de 2x2 metros, situados en una red de 10x11 metros.

La disposición se muestra en la Figura 31.

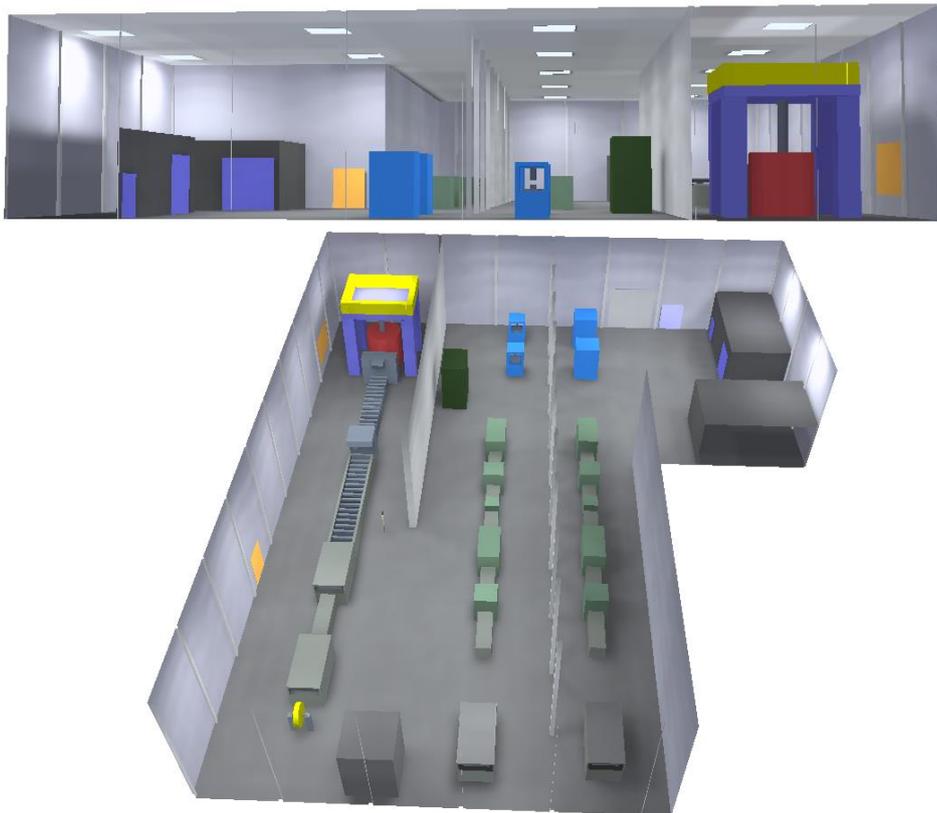


Figura 31. Disposición de aberturas en propuesta 3

## 7.5.- Elección de la mejor propuesta – Niveles de iluminación

### 7.5.1.- Condiciones de trabajo con DiaLux

Como la propia casa comercial reza en su página web, *DiaLux* es un software creado por planificadores para planificadores y por tanto, tiene en cuenta todos los matices necesarios para que las aproximaciones que compila sean precisas y de confianza. Esto hace necesario conocer las condiciones de trabajo en planta a fondo en caso de ser una planta real o, en caso de no serlo – como la aquí presente- tener una imagen clara de la meta que se persigue y saber cómo llegar a ella a partir de las herramientas que el programa proporciona.

Por tanto, para realizar la simulación, el programa requerirá los siguientes datos:

#### - **Coeficientes de reflexión**

Un factor importante a tener en cuenta para el diseño del sistema de iluminación es la reflexión de la luz sobre los distintos objetos de la planta. Cuanto mayor sea la cantidad de luz que reflejen, mayor será el nivel de iluminación para una misma superficie de luminarias.

El parámetro que mide esa capacidad de los objetos es el **índice de reflexión** y depende completamente del material. Por tanto, es importante asignar el material correcto a cada objeto ya que el programa DiaLux asigna el coeficiente de forma automática una vez conocido ese dato.

En la planta objeto, toda la maquinaria se encuentra recubierta por una pintura mate que reduce su capacidad de reflexión. Un tratamiento similar han recibido los pilares, pero con una pintura más metalizada. Por otro lado, las paredes son metálicas y el suelo de hormigón. Los pilares están recubiertos con pintura protectora mate. En la Tabla 10 se muestran los objetos que aparecen en el recinto y su coeficiente de reflexión.

Objeto	Coeficiente Reflexión (%)
Depósito refundición	30
Estructura horno	32
Maquinaria	32
Paredes	80
Pilares	50
Suelo	30

Tabla 10. Coeficientes de reflexión

Realmente, son coeficientes de reflexión bastante inferiores a los habituales para el diseño del sistema de iluminación. El motivo de esta elección se encuentra en la búsqueda de unas condiciones de trabajo lo más reales posibles, para que los resultados que se obtengan posean la máxima veracidad y aplicabilidad.

#### - **Factores de luz diurna de las aberturas**

Son aquellos coeficientes que matizan el funcionamiento de las aberturas, tanto verticales como horizontales.

- *Grado de transmisión*  
Cantidad de radiación (en %) que dejan pasar los cristales por las características cristalográficas del material empleado. Puesto que todos los ventanales son de policarbonato, un material amorfo, la transmisión será baja, de un **40%**.
- *Factor de contaminación*  
Es un parámetro que define la cantidad de radiación que sí consigue pasar a pesar de la contaminación, por lo que cuanto mayor sea su valor, menor es la suciedad del entorno.  
En esta planta, la contaminación no es uniforme, ya que abarca tanto actividades poco precisas de gran contaminación como la función como técnicas de gran precisión e higiene como la acuñación. Por tanto, es un factor que varía con la fase frente a la que se encuentre la abertura, como refleja la Tabla 11.

Fase	II	III	IV
Factor contaminación	0,4	0,6	0,8

Tabla 11. Factor de contaminación por fase

- *Factor de división por travesaños*  
Cuantifica la pérdida de espacio útil que sufre la radiación exterior al entrar por la abertura debido a las sujeciones al cerramiento que debe llevar el ventanal. Depende del material y de su movilidad. El valor te lo da el propio programa al elegir estas condiciones. En este caso concreto, los travesaños serán metálicos y fijos, por lo que nunca podrán abrirse, pero dejarán pasar una cantidad de luz mayor. El valor es, por tanto, de **0,9**.
- **Altura del plano de trabajo**  
Es la altura a la que se realizan las actividades del sistema productivo. Aunque en realidad cada actividad se desarrolla a distintas alturas, el **Real Decreto 486/97** marca una altura de uso general de **85 centímetros** y puede utilizarse para simplificar los cálculos.
  - **Orientación de la planta**  
Como se ha visto anteriormente, la exacta posición de las aberturas juega un papel fundamental en la cantidad de radiación exterior que entra a lo largo del día. Es esto que el programa pide la orientación de la fachada cuyo plano posea un menor ángulo con el norte. Este es un dato que ya obtuvo para el estudio de la localización. El resultado es de 37°.

### 7.5.2. - Procedimiento de diseño con DiaLux

Una vez modelada la planta con una somera precisión para no irrumpir en largos procesos de cálculo que poco valor añadido aportarían a los resultados, se simulan las tres escenas de iluminación mencionadas (dos de invierno y una de verano). De los resultados de cada una de ellas es posible extraer los niveles medio, mínimo y máximo de iluminación global. Son condiciones necesarias pero no suficientes que:

- En la escena con menos horas del día y menor radiación exterior (**invierno a las 10:00**), el nivel medio de iluminación iguale o supere el valor ponderado calculado en el apartado 6.2.2.

$$E_{m-Invierno,10:00} \geq E_{m-normativa}$$

- En la escena con un mayor número de horas y en el momento del día con mayor radiación exterior (**verano a las 12:00**), la iluminación máxima no debe pasar los 2000 lux, por normativa.

$$E_{m-verano,12:00} \leq 2000 \text{ lux}$$

- Puesto que en muchos, las condiciones de **invierno** extremas son muy restrictivas, se construye un tercer escenario de iluminación natural, el mismo día de menor horas de luz solar disponibles, pero en el a las **12:00**. Esta tercera escena permite un cumplimiento parcial de los requisitos de iluminación cuando las condiciones son casi inadmisibles con la configuración establecida.

$$E_{m-Invierno,12:00} \geq E_{m-normativa}$$

Pero quedarse tan sólo con los resultados globales no garantiza que todas las áreas vean satisfechas sus necesidades de iluminación particulares y es preciso realizar las mismas comprobaciones en las distintas áreas de la planta. Para esta comprobación se va a utilizar la **zonificación por fases**, una sectorización menos precisa que por actividades pero suficiente.

De entre los resultados se obtendrá una matriz de la superficie de la planta con la iluminación en cada pequeña porción de área encierra. Es esta tabla la que se zonifica por fases y a partir de la cual se realizan las mismas comprobaciones que en la situación global.

Por otro lado, los deslumbramientos se calcularán tan sólo en las propuestas que presenten ventanas laterales utilizando la relación trigonométrica expuesta anteriormente. Todos los puestos de trabajo que se encuentren a una distancia mayor a la crítica sufrirán deslumbramientos, pues el ángulo será menor que 30°.

### 7.5.3.- PROPUESTA 1: Resultados y modificaciones

La simulación con la superficie de ventanas es totalmente infructuosa, como se observa en la Figura 32. En invierno a las 10:00 a.m. valor medio es de 7,55 lux, mientras que en verano a las 12:00, el máximo es de 151. Es decir, ni el caso con más horas de sol llega a la iluminación media requerida en el caso con menos horas de sol. En primera estancia, esta propuesta parece quedar descartada.

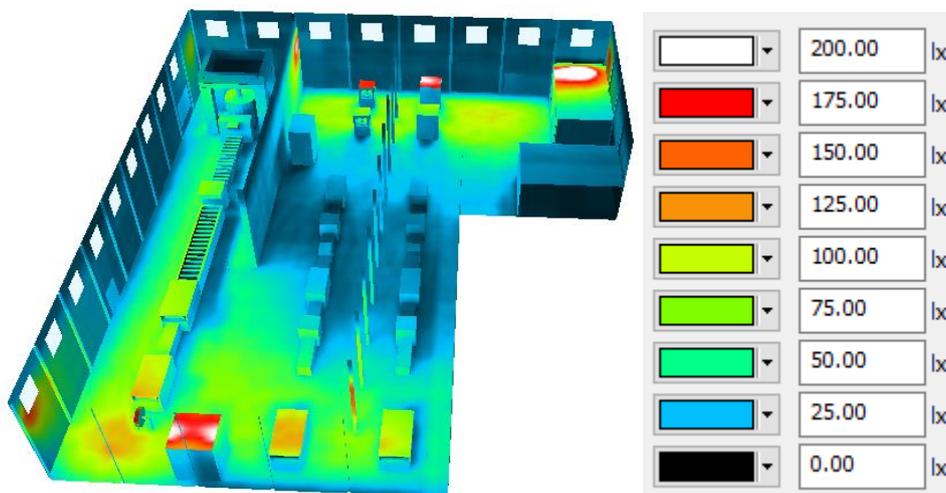
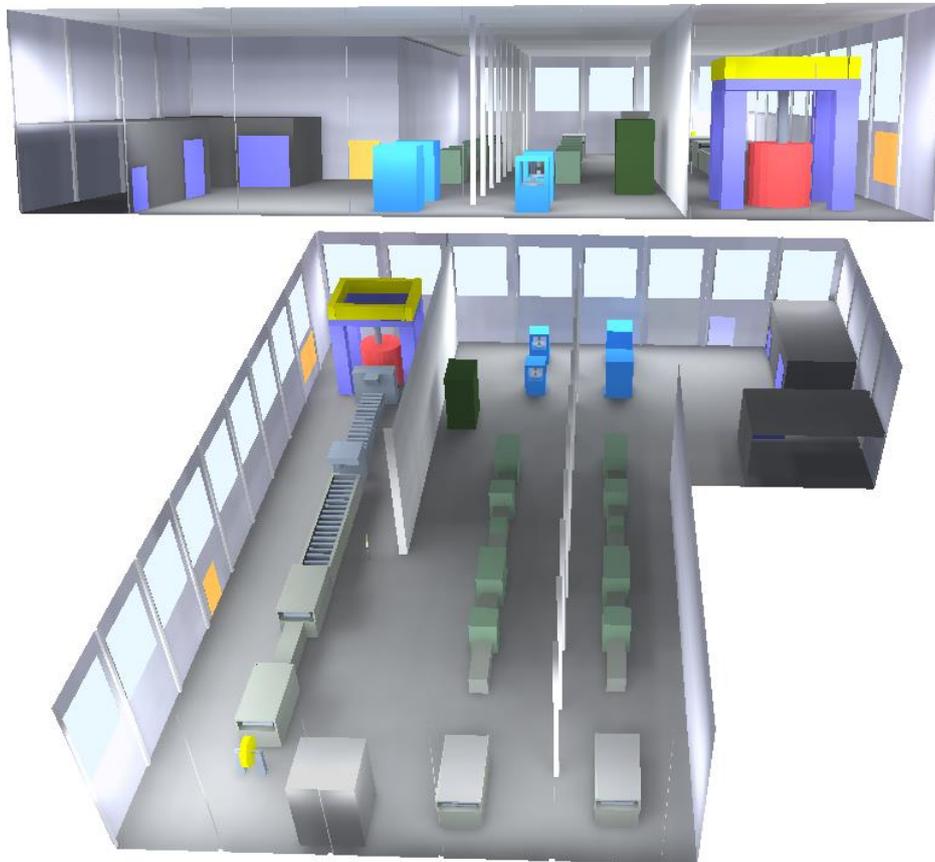


Figura 32. Propuesta 1 original – Resultados Verano

Pero antes de desechar la propuesta, se va a modificar la superficie de aberturas de la planta, duplicando las dimensiones de las aberturas en un intento por preservarla. En la Figura 33 se muestra la disposición.



*Figura 33. Propuesta 1 Final. Disposición de aberturas*

Ahora las aberturas utilizadas son:

- 22 ventanales de 4x4 en las fachadas norte, este y oeste cada 5 metros.

La superficie total de ventanas ahora es de 352 m<sup>2</sup>, en vez de los 88 m<sup>2</sup> iniciales. Se mantiene la condición del uso exclusivo de ventanas verticales.

Los resultados luminotécnicos para cada escena de iluminación de encuentran en las Figuras 34, 35 y 36.

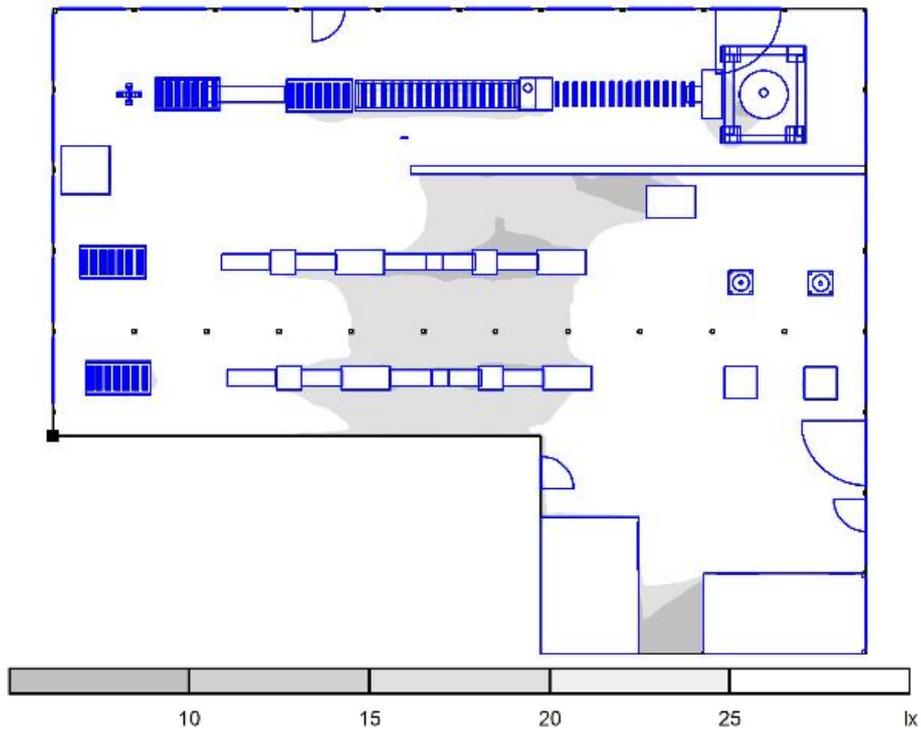


Figura 34. Propuesta 1 Final – 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

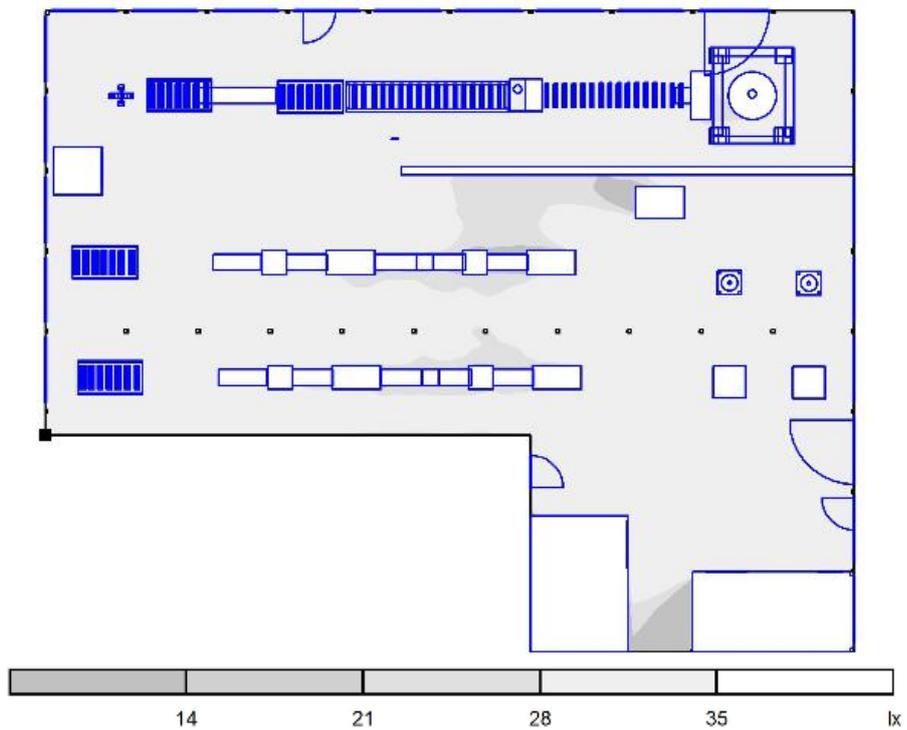


Figura 36. Propuesta 1 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

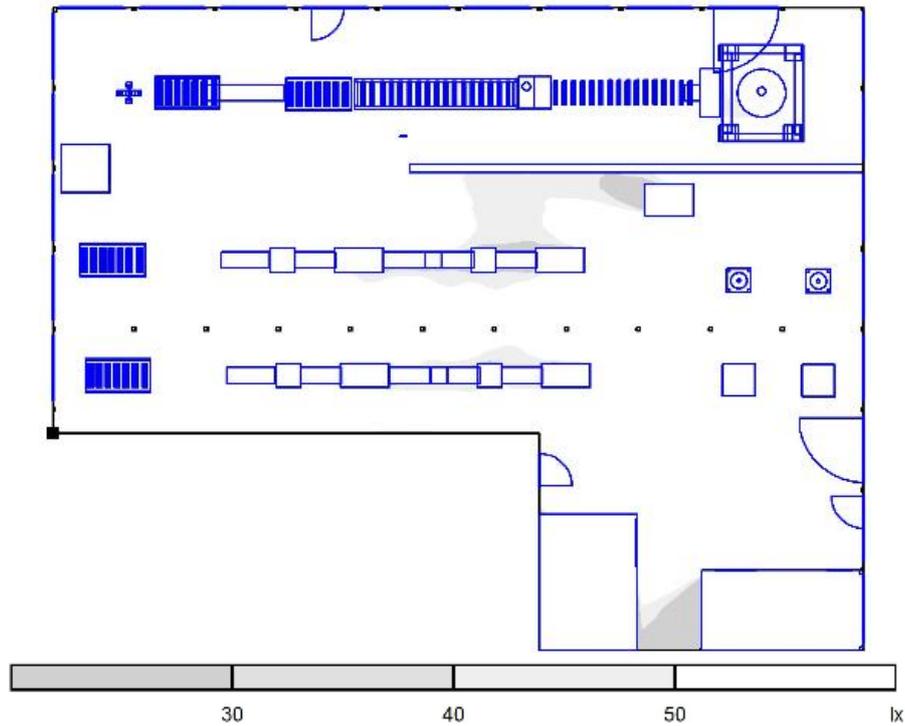


Figura 35. Propuesta 1 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

Por otro lado, al existir ventanas laterales, es necesario calcular la distancia de deslumbramiento.

$$tg \alpha = \frac{H_{ventana} - H_{persona}}{D_{deslumbramiento}}$$

Si

$$H_{ventana} = 4 \text{ m} \quad H_{persona} = 1,68 \text{ m} \quad \alpha = 30^\circ$$

Entonces

$$D_{deslumbramiento-1} = 4,02 \text{ m}$$

Toda la línea de trabajo que abarca la fase II y parte de la fase III se encuentra a 5,3 metros. Por tanto, sí existen deslumbramientos.

En la siguiente tabla se muestran los valores globales para la propuesta 1.

Época	$E_m$ (lux)	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$E_{mín}/E_m$	$E_{mín}/E_{máx}$	Deslumbramientos
10/12 – 10:00	73	8,36	274	0,114	0,031	SÍ
10/12 – 12:00	118	13	441	0,114	0,031	SÍ
23/06 – 12:00	219	25	818	0,114	0,031	SÍ

Tabla 12. Propuesta 1 Final. Resultados gráficos globales

Y realizando el estudio por fases se obtiene la Tabla 13.

Zona	Época	$E_m$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	10/12 – 10:00	69,99	10	123	0,143	0,081
	10/12 – 12:00	112,64	16	197	0,142	0,081
	23/06 – 12:00	208,93	30	366	0,144	0,082
2	10/12 – 10:00	77,36	11	274	0,142	0,040
	10/12 – 12:00	124,54	18	441	0,145	0,041
	23/06 – 12:00	231,01	33	818	0,143	0,040
3	10/12 – 10:00	71,23	10	208	0,140	0,048
	10/12 – 12:00	113,17	13	335	0,115	0,039
	23/06 – 12:00	209,91	25	621	0,119	0,040

Tabla 13. Propuesta 1 Final. Resultados gráficos por zonas

Comparando con los mínimos establecidos por normativa:

Zona	$E_m$ - Normativa	$E_{min}/E_m$ - Normativa	Deslumb - Normativa
Global	165,00	0,2	NO
1	141,53	0,2	NO
2	157,73	0,2	NO
3	188,25	0,2	NO

Tabla 14. Resumen requerimientos normativa

El cálculo de la iluminación media mínima por zona se encuentra en el Anexo 2.

La siguiente tabla, la Tabla 15, muestra el número de escenarios que cumplen la normativa por zona.

Zona	$E_m$ - Nº Escenarios ok	$E_{min}/E_m$ - Nº Escenarios ok	Deslumb - Nº Escenarios ok
Global	1/3	0/3	0/3
1	0/3	0/3	0/3
2	1/3	0/3	0/3
3	3/3	0/3	0/3

Tabla 15. Propuesta 1 Final. Zonas que cumplen la normativa

A la vista de los resultados, se puede concluir que se ha tocado techo con esta propuesta, ya que ni cuadruplicando la superficie de ventana se llega a los valores deseados en invierno. Además, los hándicaps que constituyen el hecho de que la fachada sur sea ciega y que las aberturas deban estar en fachada en esta propuesta, hacen imposible iluminar correctamente la zona central de la planta.

Por otro lado, los deslumbramientos son constantes en toda la planta y para todos los escenarios, poniendo en peligro la seguridad de los trabajadores.

#### 7.5.4.- PROPUESTA 2: Resultados y modificaciones

En esta propuesta, además de combinar ventanas laterales con lucernarios, se incluye una segunda novedad: el efecto de la asimetría en la disposición de los lucernarios. El objetivo que persigue esta distribución es compensar las carencias en iluminación generadas por las ventanas laterales.

Los resultados de la simulación con la superficie de aberturas teórica se muestran en la Figura 37.

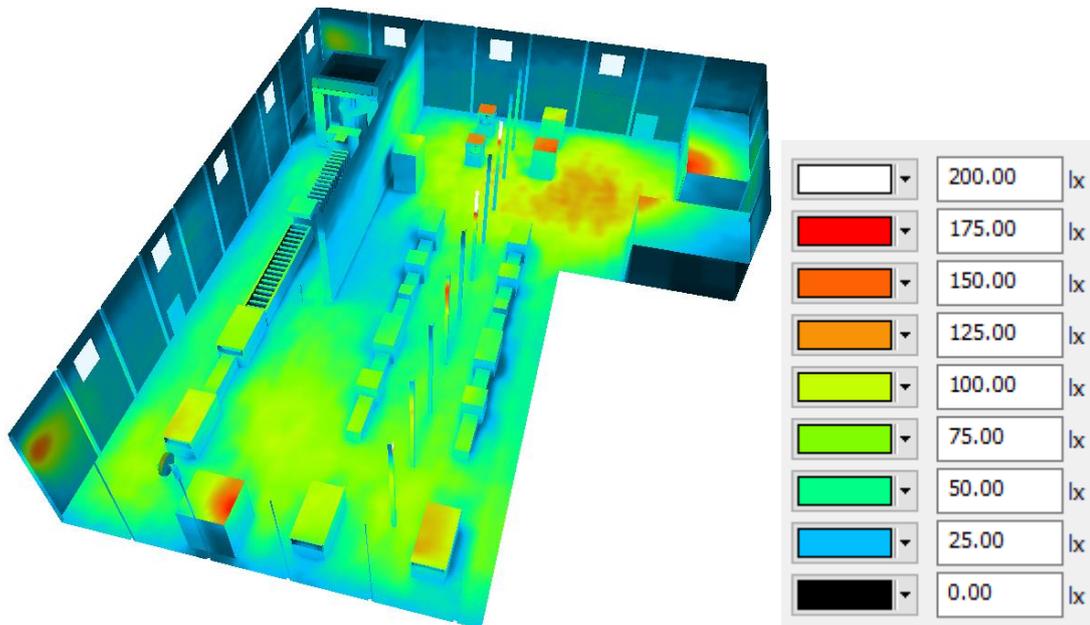


Figura 37. Propuesta 2 original – Resultados Verano

En este caso, ni tan siquiera el nivel de iluminación máximo de la planta alcanza el nivel medio mínimo requerido de 165 lux, quedándose en 128 lux.

De nuevo, esta cantidad y tamaño de ventanales no es suficiente ya que los lucernarios son demasiado pequeños. El siguiente paso es, por tanto, duplicar su superficie buscando aumentar tanto el nivel de iluminación media como la uniformidad. Las aberturas instaladas son:

- 11 ventanales de 2x2 metros en las fachadas norte, este y oeste cada 10 metros.
- 11 lucernarios de 2x2 metros en cubierta, situados de forma no-simétrica.

La nueva superficie de aberturas es de 88 m<sup>2</sup> en vez de los 66 m<sup>2</sup> iniciales.

Tras la primera modificación, los valores de iluminación medio siguen muy por debajo del mínimo establecido y se decide aumentar de nuevo la superficie de lucernarios y también la de ventanales.

- 11 ventanales de 2x3 metros en las fachadas norte, este y oeste cada 10 metros.
- 12 lucernarios de 4x4 metros en cubierta, situados de forma no-sistemática.

Queda una superficie de abertura de 258 m<sup>2</sup>, más del triple que la inicial.

La Figura 38 muestra la disposición de aberturas final

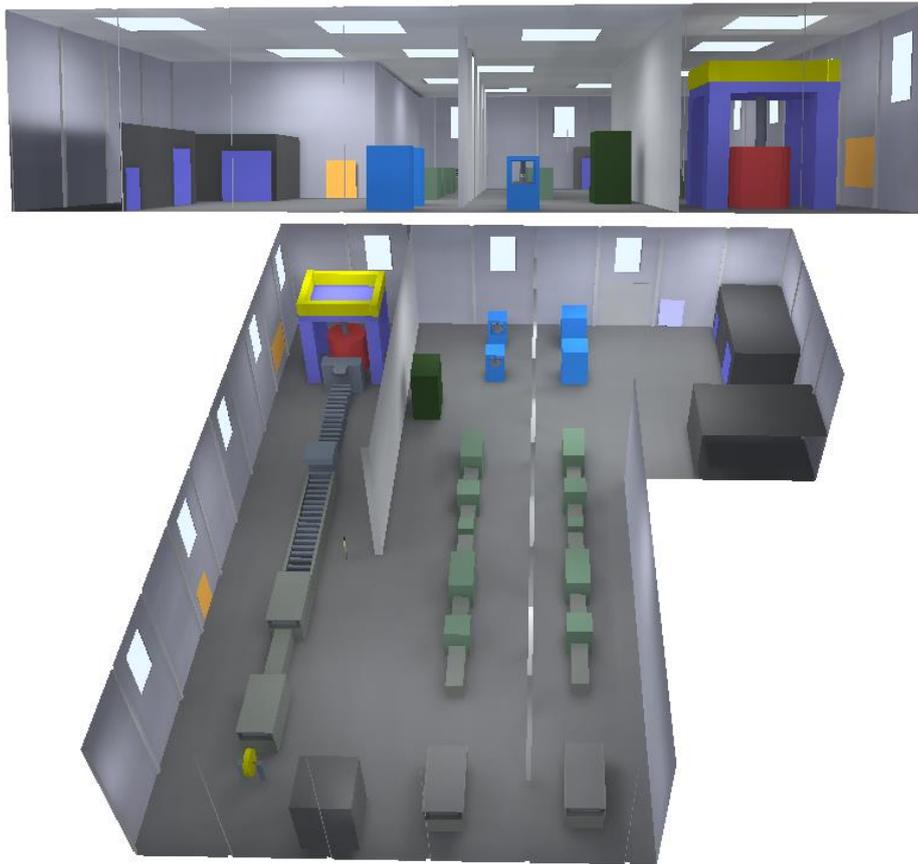


Figura 38. Propuesta 2 Final. Disposición de aberturas

Los resultados se observan en las figuras 39, 40 y 41.

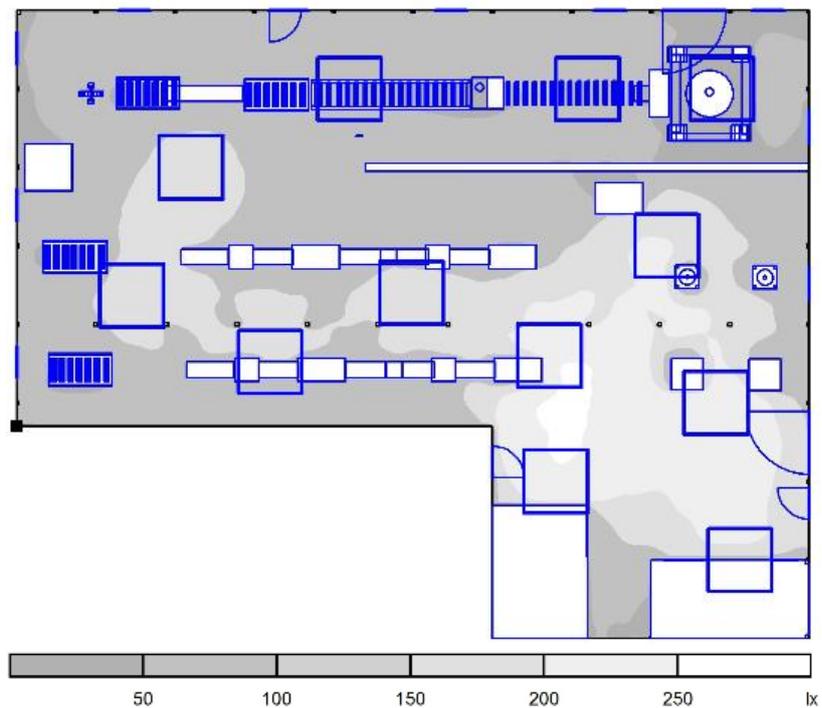


Figura 39. Propuesta 2 Final– 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

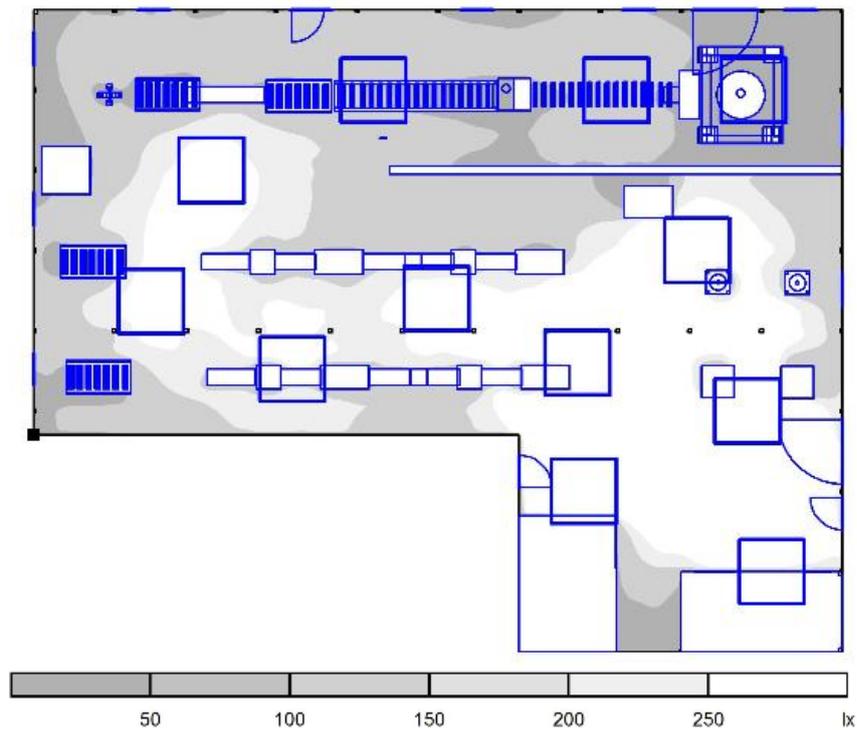


Figura 40. Propuesta 2 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

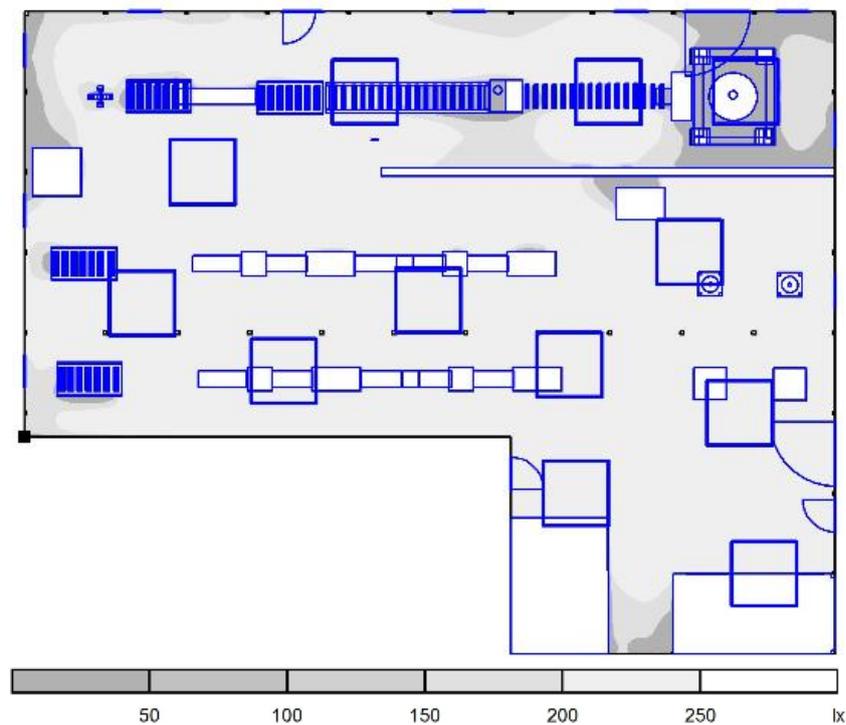


Figura 41. Propuesta 2 Final– 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises

En el caso de la propuesta 2, los marcos inferiores de los ventanales laterales se encuentran a 5 m de altura.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_{\text{ventana}} - H_{\text{persona}}}{D_{\text{deslumbramiento}}}$$

Si

$$H_{\text{ventana}} = 5 \text{ m} \quad H_{\text{persona}} = 1,68 \text{ m} \quad \alpha = 30^\circ$$

Entonces

$$D_{\text{deslumbramiento}} = 5,75 \text{ m}$$

Aquí, los puestos de trabajo que se encuentran a una distancia mayor que la de deslumbramiento son los relacionados con el procesado de la chapa (segunda parte de la fase III).

Los resultados globales de la propuesta 2 final se encuentran en la Tabla 16 y los parciales en la Tabla 17.

Época	$E_m$ (lux)	$E_{\min}$ (lux)	$E_{\max}$ (lux)	$E_{\min}/E_m$	$E_{\min}/E_{\max}$	Deslumbramientos
10/12 – 10:00	129	7,6	261	0,059	0,029	SÍ
10/12 – 12:00	207	12	421	0,059	0,029	SÍ
23/06 – 12:00	384	23	781	0,059	0,029	SÍ

Tabla 16. Propuesta 2 Final. Resultados gráficos globales

Zona	Época	$E_m$ (lux)	$E_{\min}$ (lux)	$E_{\max}$ (lux)	$E_{\min}/E_m$	$E_{\min}/E_{\max}$
1	10/12 – 10:00	066,04	11	121	0,167	0,091
	10/12 – 12:00	105,68	12	195	0,113	0,062
	23/06 – 12:00	196,50	23	362	0,117	0,064
2	10/12 – 10:00	117,75	15	184	0,127	0,110
	10/12 – 12:00	189,55	24	296	0,127	0,081
	23/06 – 12:00	351,59	45	549	0,128	0,082
3	10/12 – 10:00	173,38	19	261	0,110	0,073
	10/12 – 12:00	279,11	30	421	0,107	0,071
	23/06 – 12:00	571,72	56	781	0,108	0,072

Tabla 17. Propuesta 2 Final. Resultados gráficos por zonas

En la Tabla 18 se recoge el número de escenarios por zona que cumplen la normativa, mostrada en la Tabla 14.

Zona	$E_m$ - Nº Escenarios ok	$E_{\min}/E_m$ - Nº Escenarios ok	Deslumb - Nº Escenarios ok
Global	2/3	0/3	0/3
1	1/3	0/3	0/3
2	2/3	0/3	0/3
3	3/3	0/3	0/3

Tabla 18. Propuesta 2 Final. Zonas que cumplen la normativa

Con esta propuesta en dos de los tres escenarios se cumplen los requisitos de iluminación media global, mientras que la iluminación media por zonas tan sólo se cumple por completo (en las tres escenas de luz) para la zona 3.

Por otro lado, en ninguno de los escenarios se cumple ni la relación entre la iluminación mínima y media ni la condición de no-deslumbramiento.

Además, no sólo estos resultados grises se encuentran en su contra: la distribución de los lucernarios no es simétrica, complicando su instalación y disminuyendo la uniformidad. No se trata, cabe recalcar, de una característica eliminatoria pero sí penalizadora.

Por tanto, la elección de esta propuesta está condicionada por la bondad de la siguiente.

### 7.5.5.- PROPUESTA 3: Resultados y modificaciones

En esta propuesta se introduce la simetría de nuevo la simetría, característica muy valorada en los sistemas de iluminación. Además, todas las aberturas son lucernarios.

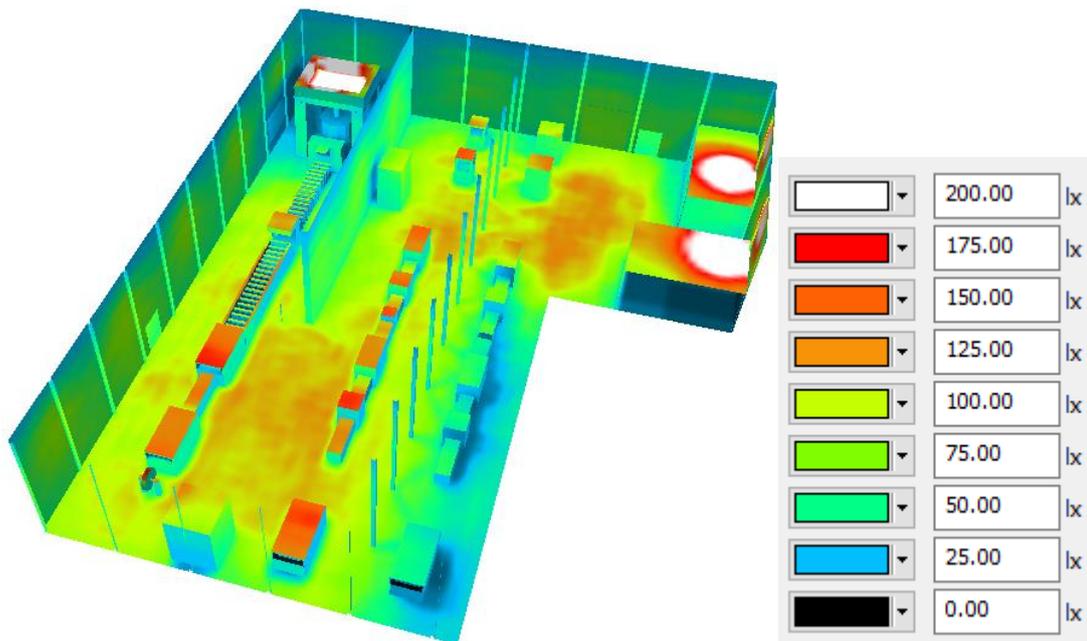


Figura 42. Propuesta 3 original – Resultados Verano

Si bien los resultados son mejores que en la situación original de las dos propuestas anteriores, todavía quedan algunos aspectos a perfeccionar: debido a que el horno se encuentra justo debajo del lucernario, hace sombra a esa zona.

Por tanto, se desplaza la red, manteniendo la separación entre lucernarios y su tamaño. Pero este nuevo sistema tampoco consigue la iluminación suficiente, y es necesario aumentar el tamaño de lucernarios, quedando:

- 14 lucernarios de 3x3 m, situados en una red de 10x11 m

La superficie de aberturas pasa de 45 m<sup>2</sup> a 126. De nuevo, la superficie real ha triplicado a la teórica.

La Figura 43 ilustra la nueva distribución y las Figuras 44, 45 y 46, los resultados generados.



Figura 43. Propuesta 3 Final. Disposición de aberturas

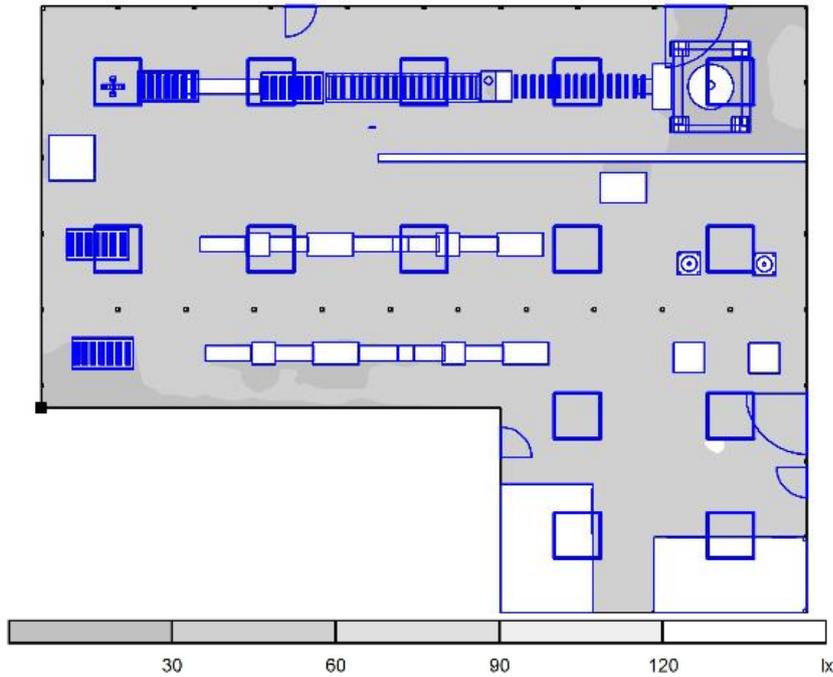


Figura 44. Propuesta 3 Final– 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grises



Figura \_. Propuesta 3 Final– 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises.

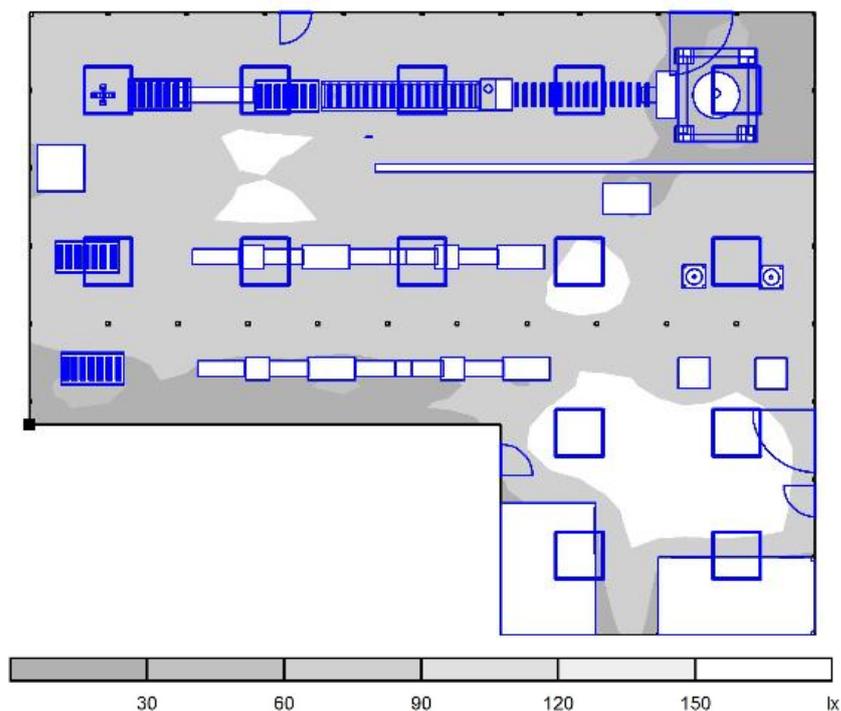


Figura 45. Propuesta 3 Final– 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grise.

En este caso, el estar todas las aberturas situadas en cubierta es condición suficiente para garantizarla condición de no-deslumbramiento en los tres escenarios.

Los resultados globales se la propuesta 2 final se encuentran en la Tabla 19 y los parciales en la Tabla 20.

Época	$E_m$ (lux)	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$E_{mín}/E_m$	$E_{mín}/E_{máx}$	Deslumbramientos
10/12 – 10:00	73	5,4	122	0,075	0,044	NO
10/12 – 12:00	117	8,7	196	0,074	0,044	NO
23/06 – 12:00	217	16	364	0,074	0,044	NO

Tabla 19. Propuesta 3 Final. Resultados gráficos globales

Zona	Época	$E_m$ (lux)	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$E_{mín}/E_m$	$E_{mín}/E_{máx}$
1	10/12 – 10:00	56,44	10	96	0,177	0,104
	10/12 – 12:00	89,67	12	155	0,134	0,077
	23/06 – 12:00	164,99	16	287	0,097	0,056
2	10/12 – 10:00	69,68	11	108	0,158	0,102
	10/12 – 12:00	112,20	18	174	0,160	0,103
	23/06 – 12:00	208,12	33	322	0,159	0,102
3	10/12 – 10:00	85,05	12	122	0,141	0,098
	10/12 – 12:00	136,31	19	196	0,139	0,097
	23/06 – 12:00	252,85	35	364	0,138	0,096

Tabla 20. Propuesta 3 Final. Resultados gráficos por zonas

De nuevo, al comparar los resultados con los mínimos establecidos en la Tabla 21.

Zona	$E_m$ - Nº Escenarios ok	$E_{min}/E_m$ - Nº Escenarios ok	Deslumb - Nº Escenarios ok
Global	1/3	0/3	3/3
1	1/3	0/3	3/3
2	1/3	0/3	3/3
3	1/3	0/3	3/3

Tabla 21. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa

En este caso, los niveles medios de iluminación son pobres y tan sólo en el caso con más horas de luz, se cumple ese requisito. Pero esta propuesta posee una gran ventaja ya que, estar todas las aberturas en cubierta, no se producen deslumbramientos.

### 7.5.6- Elección de la mejor propuesta

Para elegir la mejor propuesta se compararán, zona a zona, las condiciones fundamentales de las tres propuestas. En azul queda remarcado el mejor dato de cada variable para cada escena diurna.

Estas comparaciones se realizarán en las tablas 22, 23, 24 y 25.

#### Global

Fecha	Propuesta	$E_m$		Uniformidad		Deslumbramientos
		$E_{m-minima}$ (lux)	$E_{m-real}$ (lux)	$U_{minima}$	$U_{real}$	
10/12 – 10:00	1	165	73	0,2	<b>0,114</b>	SÍ
	2	165	<b>129</b>	0,2	0,059	SÍ
	3	165	73	0,2	0,075	<b>NO</b>
10/12 – 12:00	1	165	118	0,2	<b>0,114</b>	SÍ
	2	165	<b>207</b>	0,2	0,059	SÍ
	3	165	117	0,2	0,074	<b>NO</b>
23/06 – 12:00	1	165	<b>219</b>	0,2	<b>0,114</b>	SÍ
	2	165	207	0,2	0,059	SÍ
	3	165	217	0,2	0,074	<b>NO</b>

Tabla 22. Global. Comparación de las propuestas

Así, en todas las escenas, la mejor uniformidad la posee la propuesta 1, mientras que la 3 es la única que garantiza la no existencia de deslumbramientos. El mejor nivel medio en invierno es mayor en la propuesta 2, pero en verano, el valor máximo se lo lleva la propuesta 1. No es de extraña que la propuesta 1 posea la mayor uniformidad: sencillamente no existen grandes contrastes entre zonas claras y oscuras porque todas son oscuras.

#### Zona 1

Fecha	Propuesta	$E_m$		Uniformidad		Deslumbramientos
		$E_{m-minima}$ (lux)	$E_{m-real}$ (lux)	$U_{minima}$	$U_{real}$	
10/12 – 10:00	1,	141,53	<b>66,99</b>	0,2	0,143	SÍ
	2	141,53	66,04	0,2	0,167	SÍ
	3	141,53	56,44	0,2	<b>0,177</b>	<b>NO</b>
10/12 – 12:00	1	141,53	<b>112,64</b>	0,2	<b>0,142</b>	SÍ
	2	141,53	105,68	0,2	0,113	SÍ
	3	141,53	89,67	0,2	0,134	<b>NO</b>
23/06 – 12:00	1	141,53	<b>206,93</b>	0,2	0,140	SÍ
	2	141,53	196,50	0,2	0,117	SÍ
	3	141,53	164,99	0,2	<b>0,141</b>	<b>NO</b>

Tabla 23. Comparación de las propuestas. Zona 1

En la zona 1, toda la ventaja se la llevan las propuestas 1 (con respecto al nivel de iluminación medio) y 3 (en lo referente a uniformidad y deslumbramientos). Esto es debido a que en la zona 1 se encuentran más ventanales para la propuesta 1 que para la 2 y la 3 y, por tanto, la iluminación será mayor. La mayor uniformidad de la propuesta 3 se debe a la disposición simétrica de los lucernarios. En cualquier caso, los niveles mínimos de iluminación en la zona tan sólo son satisfechos en verano.

### Zona 2

Fecha	Propuesta	Em		Uniformidad		Deslumbramientos
		Em-mínima (lux)	Em-real (lux)	U <sub>mínima</sub>	U <sub>real</sub>	
10/12 – 10:00	1	157,73	77,36	0,2	0,142	SÍ
	2	157,73	<b>117,75</b>	0,2	0,127	SÍ
	3	157,73	69,68	0,2	<b>0,158</b>	<b>NO</b>
10/12 – 12:00	1	157,73	124,54	0,2	0,145	SÍ
	2	157,73	<b>189,55</b>	0,2	0,127	SÍ
	3	157,73	112,20	0,2	<b>0,159</b>	<b>NO</b>
23/06 – 12:00	1	157,73	231,01	0,2	<b>0,143</b>	SÍ
	2	157,73	<b>351,59</b>	0,2	0,128	SÍ
	3	157,73	252,85	0,2	0,138	<b>NO</b>

Tabla 24. Comparación de las propuestas. Zona 2

En la zona 2, los resultados varían según el escenario. El valor medio siempre es máximo en la propuesta 2, pues es la que más lucernarios concentra en la zona en cuestión. Así, es la única propuesta que alcanza el nivel mínimo requerido de la zona, tanto en verano como en invierno, aunque en la segunda estación deba alcanzarse el mediodía para ello. Los resultados de uniformidad vuelven a ser mayores en invierno para la propuesta 3 gracias a su distribución simétrica.

### Zona 3

Fecha	Propuesta	Em		Uniformidad		Deslumbramientos
		Em-mínima (lux)	Em-real (lux)	U <sub>mínima</sub>	U <sub>real</sub>	
10/12 – 10:00	1	188,25	71,23	0,2	0,141	SÍ
	2	188,25	<b>173,38</b>	0,2	0,110	SÍ
	3	188,25	85,05	0,2	<b>0,142</b>	<b>NO</b>
10/12 – 12:00	1	188,25	113,17	0,2	0,115	SÍ
	2	188,25	<b>279,11</b>	0,2	0,107	SÍ
	3	188,25	136,31	0,2	<b>0,139</b>	<b>NO</b>
23/06 – 12:00	1	188,25	209,91	0,2	0,119	SÍ
	2	188,25	<b>571,72</b>	0,2	0,108	SÍ
	3	188,25	252,85	0,2	<b>0,138</b>	<b>NO</b>

Tabla 25. Comparación de las propuestas. Zona 3

Como en la zona 2, la uniformidad y la condición de no-deslumbramiento son mejores en la propuesta 3 y el nivel medio en la 2.

Con todo lo visto, se ha decidido que la mejor alternativa es la tercera pues es la única que garantiza la condición de no-deslumbramiento y posee la mayor uniformidad. Si bien es cierto que no siempre cumple los niveles de iluminación requeridos, esto puede solucionarse más adelante aumentando el tamaño de los lucernarios.

## 7.6.- Desarrollo de la propuesta seleccionada

Como se ha concluido en el apartado anterior, la mejor propuesta es la tercera ya que es la que posee una mejor uniformidad y no presenta deslumbramientos en todas las escenas de luz.

No obstante, los niveles de iluminación no son de todo satisfactorios todavía se va a trabajar un poco más sobre la propuesta, buscando resultados más próximos a los establecidos por la normativa. Para ello se aumentará el tamaño de los lucernarios, pues no se llegaba al nivel de iluminación necesario y se desplazará ligeramente la red hacia la fachada sur, ya que la segunda línea de obtención y tratamiento de cospeles quedaba en penumbra. Esto ha acarreado la eliminación de los dos tragaluces que se encontraban justo sobre las habitaciones aisladas (taller, laboratorio y almacén), pues sobresalían del recinto (algo físicamente imposible) y la única forma de mantenerlos dentro del diseño era rompiendo la simetría.

Así, los nuevos ventanales que se utilizan en esta propuesta son

- 12 lucernarios de 4x4 m, situados en una red de 10x11 m

En este caso, la superficie total de aberturas es de 192 m<sup>2</sup> y su disposición se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Propuesta 3 Final Mejorada. Disposición de aberturas

Por otro lado, los resultados de cada escenario de luz se reflejan en las figuras 48, 49 y 50.

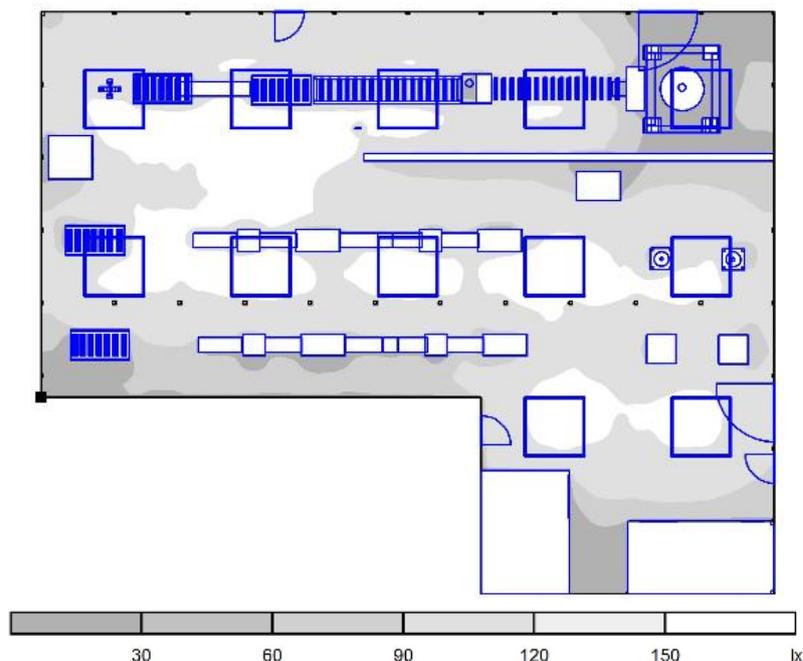


Figura 48. Propuesta 3 Final Mejorada – 10:00 del 10/12 – Resultados gama de grise.

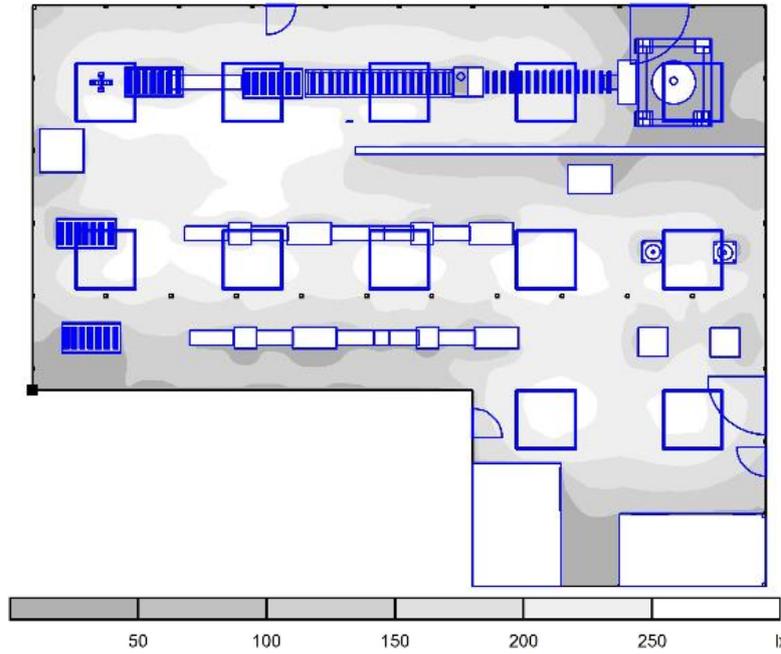


Figura 49. Propuesta 3 Final Mejorada – 12:00 del 10/12 – Resultados gama de grises

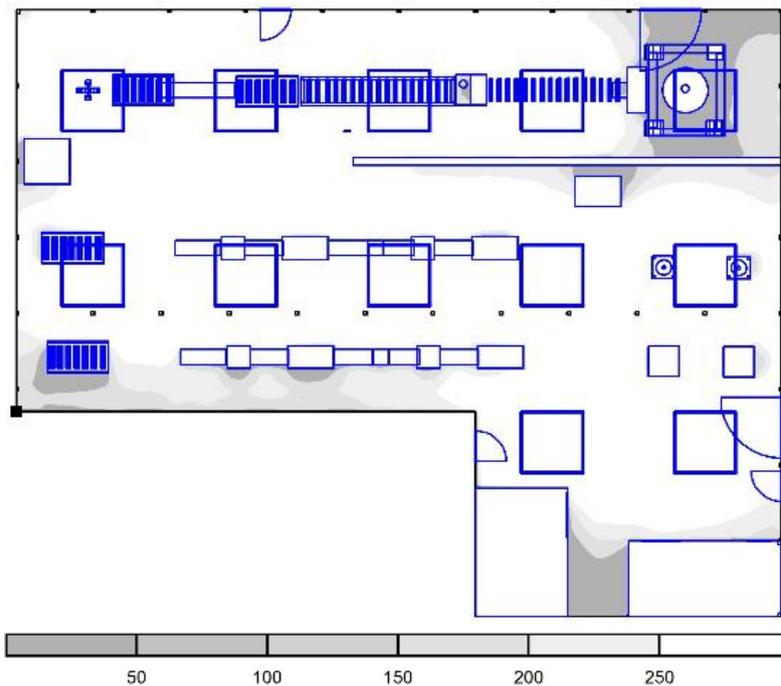


Figura 50. Propuesta 3 Final Mejorada – 12:00 del 23/06 – Resultados gama de grises

Los resultados globales de esta mejora se encuentran en la Tabla 26, mientras que los parciales están en la Tabla 27.

Época	$E_m$ (lux)	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$E_{mín}/E_m$	$E_{mín}/E_{máx}$	Deslumbramientos
10/12 – 10:00	117	10	185	0,087	0,055	NO
10/12 – 12:00	188	16	298	0,087	0,055	NO
23/06 – 12:00	348	30	553	0,087	0,055	NO

Tabla 26. Propuesta 3 Final Mejorada. Resultados gráficos globales

Zona	Época	$E_m$ (lux)	$E_{mín}$ (lux)	$E_{máx}$ (lux)	$E_{mín}/E_m$	$E_{mín}/E_{máx}$
1	10/12 – 10:00	96,81	10	169	0,103	0,059
	10/12 – 12:00	155,85	16	272	0,103	0,059
	23/06 – 12:00	289,08	30	505	0,104	0,059
2	10/12 – 10:00	123,37	20	185	0,162	0,108
	10/12 – 12:00	198,61	31	298	0,156	0,104
	23/06 – 12:00	368,41	58	553	0,157	0,105
3	10/12 – 10:00	119,13	15	182	0,126	0,082
	10/12 – 12:00	191,78	24	292	0,125	0,082
	23/06 – 12:00	355,74	45	542	0,126	0,083

Tabla 27. Propuesta 3 Final Mejorada. Resultados gráficos por zonas

Si se vuelven a comparar los resultados con la normativa, la cantidad de escenarios que cumplen los requisitos se muestra en la Tabla 28.

Zona	$E_m$ - Nº Escenarios ok	$E_{mín}/E_m$ - Nº Escenarios ok	Deslumb - Nº Escenarios ok
Global	2/3	0/3	3/3
1	2/3	0/3	3/3
2	2/3	0/3	3/3
3	2/3	0/3	3/3

Tabla 28. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa

Así, con la mejora de la propuesta 3 se ha alcanzado el número de escenarios que cumplen la normativa que proporcionaba la propuesta 2, aparentemente mejor en ese aspecto, a la vez que se ha garantizado la condición de no-deslumbramiento en toda la planta.

Por otro lado, ha sido imposible llegar en ningún caso a la uniformidad deseada, pero al tratarse de una nave industrial, la diafanidad del espacio permitirá que al ojo humano una adaptación gradual. En cualquier caso, lo que sí es seguro es que con esta propuesta, la uniformidad es mayor que con las otras dos.

En cualquier caso, estos resultados han sido obtenidos a partir de unas condiciones de trabajo muy restrictivas. De hecho, en invierno sí se llega a la iluminación mínima, pero no a una tan temprana como las 10:00. Puesto que a las 12:00 del día 10/12 sí se llega a la  $E_m$  mínima que marca la normativa, puede contarse este como el único escenario de luz diurna en invierno, relajando apenas el nivel de exigencia. Además, en algunos casos, la uniformidad hallada se acerca mucho a la mínima necesaria. Si se vuelven a rebajar un poco los límites, sí se obtienen algunos cumplimientos de esa condición, tal y como se muestra en la Tabla \_

Zona	$E_m$ - Nº Escenarios ok	$E_{mín}/E_m$ - Nº Escenarios ok	Deslumb - Nº Escenarios ok
Global	2/2	0/2	2/2
1	2/2	0/2	2/2
2	2/2	1/2	2/2
3	2/2	1/2	2/2

Tabla 29. Propuesta 3 Final. Zonas que cumplen la normativa

En conclusión, dentro de los límites que suponen las condiciones de trabajo establecidas, la propuesta 3 es la única que cumple con los requisitos de iluminación.

## 7.7.- Iluminación artificial

Por muy optimizado que se encuentre un sistema de iluminación natural, es necesario por normativa instalar uno de iluminación artificial. Como no es objeto del trabajo entrar en grandes detalles en este respecto, se va a utilizar *DiaLux Light*, una variante del mismo software libre *DiaLux* especializada en iluminación artificial.

En este campo, ya no se habla de aberturas, sino de luminarias y las condiciones de trabajo son mucho más estables, únicamente condicionadas por los costes de energía. Además, un sistema de iluminación artificial es mucho más flexible, ya que los tipos y las disposiciones de luminarias son prácticamente infinitas.

Para conocer el sistema de iluminación artificial adecuado para la planta, en el programa se introducen las dimensiones del local y el nivel de iluminación medio requerido (165 lux). El hecho de que no requiera ningún dato sobre los lucernarios instalados demuestra la total independencia de ambos sistemas.

El programa también requiere de grados de reflexión de paredes, suelo y techo, ciertos parámetros del local y, lo más interesante, el tipo de luminaria. Su elección podría basarse en un gran estudio económico y de iluminación, pero esto no entra dentro del alcance de este trabajo. Por tanto, el criterio a seguir se ha simplificado en escoger la luminaria cuya área de iluminación sea mayor, resultando escogida la luminaria SDL 102-400 GESCHLOSEEN (potencia de 420 KW). La introducción de los datos se encuentra en la Figura 51.

Asistente de iluminación DIALux

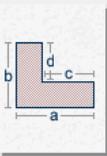
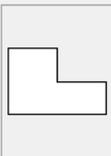
**Entrada de datos**  
Escriba aquí todos los valores necesarios para el local y seleccione su luminaria y el tipo de montaje.

**Geometría del local**

Longitud (a): 5.400 m  
 Anchura (b): 3.600 m  
 Altura: 2.800 m

Utilizar local en L

c: 2.700 m  
 d: 1.800 m

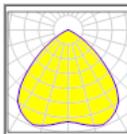
Boceto:  Prueba: 

**Selección de luminarias**

Luminaria: DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN 

Seleccione aquí el equipamiento: DIAL

Emisión de luz 1

Lámparas: HST 400W  

Modifique aquí el flujo luminoso predeterminado para la luminaria:

Flujo: 55500 lm  
 Potencia: 420 W

**Grado de reflexión**

Techo: 70 % Techo estándar  
 Paredes: 80 % Definido por el usuario  
 Suelo: 30 % Definido por el usuario

**Parámetros del local**

Valores de referencia:  
 Instalación interior o este

Factor de degradación: 0.50

**Plano útil**

Altura: 0.850 m  
 Zona marginal: 0.000 m

**Montaje de luminarias**

Tipo de montaje: Adosado

Modifique la altura de montaje mediante uno de los parámetros siguientes:

Longitud de suspensión: 0.000 m  
 Altura del punto de luz: 1.530 m  
 Altura de montaje: 2.800 m

Dimensiones (L x B x H): 0.420 x 0.420 x 0.420 m

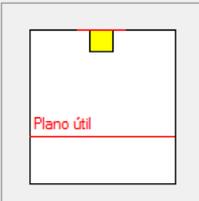


Figura 51. Inserción de datos en *DiaLux Light*  
Fuente: *DiaLux Light*, 2015

Las características de la luminaria se encuentran en el Anexo 3.

Con todo esto, da como resultado una red de 16 luminarias, cuya distribución se muestra en la Figura 52.

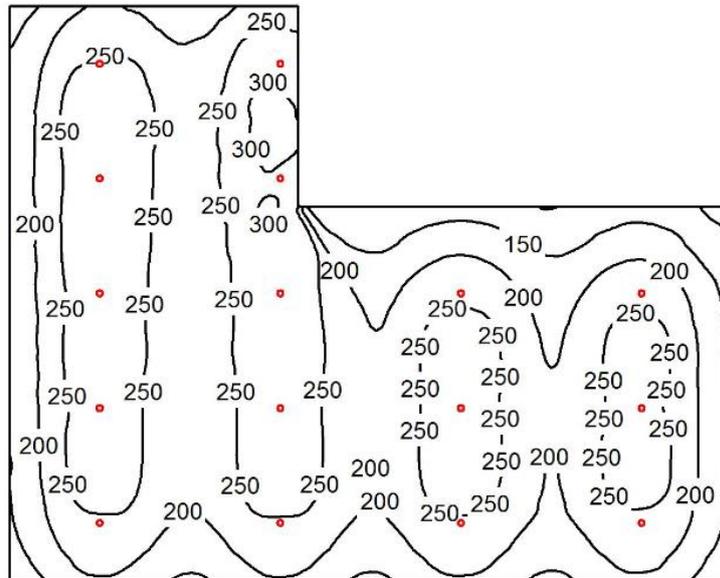


Figura 52. Distribución de las luminarias

Todos los resultados luminotécnicos obtenidos se encuentran en el Anexo 4.

Pero lo que aquí importa son los valores de eficiencia energética de las 16 luminarias

Potencia total (W)	Superficie (m <sup>2</sup> )	VEEI (W/m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI Normalizado [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]
6.720	1.580	4,25	225	1,89

Tabla 30. VEEI 100% Iluminación artificial

## 7.8.-Eficiencia energética del sistema de iluminación

Pese a que en la normativa se establece, como ya se ha mencionado con anterioridad, que el aprovechamiento de la luz natural debe ser máxima, es poco realista pensar que con las horas de luz natural bastará para satisfacer la demanda durante toda la jornada laboral. No solo eso sino que, además, debido a la posición geográfica, tan sólo entre el 60% y el 80% de la luz natural que llega es aprovechable.

Por tanto, será necesario instalar un sistema de iluminación mixto. Para determinar la combinación óptima de porcentajes de cada tipo de luz se realizarán varias pruebas y se compararán en base al **valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI)** obtenido.

El VEEI se define como la cantidad de potencia necesaria para iluminar un metro cuadrado de superficie con un nivel de iluminación de 100 lux.

Las combinaciones propuestas son:

- 100% Iluminación artificial + 0% Iluminación natural
- 40% Iluminación artificial + 60% Iluminación natural
- 20% Iluminación artificial + 80% Iluminación natural

La primera de las combinaciones no es una combinación en sí, pero servirá para establecer un punto de partida de la eficiencia a partir del cual ir mejorando a base de disminuir la potencia consumida por la iluminación artificial.

Se recuerda que el VEEI se calcula utilizando la fórmula

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

Donde:

- **P** es la potencia conjunta de la lámpara y el equipo auxiliar (W).
- **S** es la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).
- **E<sub>m</sub>** es la iluminancia media mantenida (lux).

### 7.8.1. - Supuesto 1: 100% iluminación artificial

Realmente, este supuesto únicamente se utiliza como sistema de referencia para reconocer los cambios que conlleva el uso de iluminación natural. El cálculo se muestra en la Tabla 30.

Potencia total (W)	Superficie (m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI (W/m <sup>2</sup> )	VEEI Normalizado [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]
6.720	1.580	225	4,25	1,89

Tabla 31. VEEI 100% Iluminación artificial

### 7.8.2. - Supuesto 2: 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural

Caso más favorable, donde la radiación solar aprovechable es del 80% (verano). En este caso, la iluminación media no será la proporcionada por las luminarias, si no la requerida por normativa para iluminación natural. El cálculo se plasma en la Tabla 31.

Potencia total (W)	Superficie (m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI Normalizado [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]
2.688	1.580	165	1,03

Tabla 32. VEEI 40% Iluminación artificial + 60% Iluminación natural

### 7.8.3.- Supuesto 3: 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural

Por el contrario, este es el caso más desfavorable de aprovechamiento (invierno), con un uso de iluminación natural del 60%. El cálculo se muestra en la Tabla 32.

Potencia total (W)	Superficie (m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI Normalizado [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]
1.344	1.580	165	0,52

Tabla 33. VEEI 20% Iluminación artificial + 80% Iluminación natural

### 7.8.4.- Elección del mejor sistema de iluminación mixto

En la Tabla 33, se recogen los resultados de los últimos apartados:

Propuesta	% Iluminación artificial	% Iluminación natural	VEEI Normalizado [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]
1	100	00	1,89
2	40	60	1,03
3	20	80	0,52

Tabla 34. Resumen VEEI

Según la definición de VEEI, la optimización de este valor haría que tendiera a 0, pues cuanto menor sea la potencia consumida para alcanzar el mismo nivel de iluminación, menor será el coste eléctrico. Esta minimización de los costes pasa, por tanto, por la maximización del uso de radiación solar y en consecuencia, el mejor sistema de iluminación mixto vendrá dado por el supuesto 3: 20% iluminación artificial y 80% iluminación natural.

No obstante, habrá ocasiones en el que las condiciones meteorológicas no permitan esta combinación y deba utilizarse una mayor cantidad de iluminación artificial. Esto no será grave, pues, como se ha comprobado con el supuesto 2, con cualquier porcentaje de iluminación natural que se utilice, la eficiencia aumentará.

## 8. – ANÁLISIS ECONÓMICO

Todo proyecto, por pequeño que pueda parecer, supone unos costes y su viabilidad económica debe de haber sido probada y/u optimizada. Para ello se van a presupuestar los distintos supuestos presentados en el apartado de eficiencia energética

Cabe aclarar que, aunque los porcentajes de luz natural y artificial varíen, la superficie de ventanas a instalar es la seleccionada con anterioridad, en el apartado \_\_\_\_\_. Esto se debe a que los porcentajes corresponden al aprovechamiento una vez realizada la instalación, que variarán dependiendo de si se consume una mayor o menor potencia eléctrica.

### 8.1.- Presupuesto para la instalación de lucernarios

Como se acaba de exponer, este presupuesto corresponde tan sólo a las labores de albañilería y carpintería metálica. Los precios unitarios vienen determinados por *Instituto Valenciano de la Edificación* (IVE) y han sido extraídos de su base de datos con fecha del 16 de noviembre de 2015. Por contra, los rendimientos son definidos por el proyectista. Todos los precios descompuestos se encuentran en la Tabla 34.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Realización del hueco</b>				
	hr	Oficial 1ª vidrio	0,3	12,91	3,87	
	hr	Ayudante vidrio	0,3	11	3,30	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	8,85	0,177	
						9,02
01.02	m <sup>2</sup>	<b>Colocación carpintería</b>				
	m <sup>2</sup>	Perfil de aluminio	1	8,37	8,37	
	hr	Oficial 1ª carpintería	0,2	16,49	3,30	
	hr	Ayudante carpintería	0,2	12,95	2,59	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	15,93	0,32	
						16,25

Tabla 35. Precios descompuestos

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.03	m <sup>2</sup>	<b>Colocación policarbonatos</b>				
	m <sup>2</sup>	Panel	1	32,82	32,82	
	hr	Oficial 1ª carpintería	0,2	16,49	3,30	
	hr	Ayudante carpintería	0,2	12,95	2,59	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	40,38	0,81	
01.04	m <sup>2</sup>	<b>Soldado</b>				
	hr	Especialista metal	0,3	14,1	4,23	
	hr	Ayudante de vidrio	0,3	11	3,30	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	9,20375	0,18	

Tabla 35. Precios descompuestos (continuación)

Una vez conocido el precio por metro cuadrado de cada actividad, se calculan los metros de ventana para cada una conforme a la Tabla 35.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Realización del hueco</b>					
	m <sup>2</sup>	Ventanales	0			0	
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	12	4	4	192	
							192
01.02	m <sup>2</sup>	<b>Colocación carpintería</b>					
	m <sup>2</sup>	Ventanales	0			0	
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	12	4	4	192	
							192
01.03	m <sup>2</sup>	<b>Colocación policarbonatos</b>					
	m <sup>2</sup>	Ventanales	0			0	
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	12	4	4	192	
							192
01.04	m <sup>2</sup>	<b>Soldado</b>					
	m <sup>2</sup>	Ventanales	0			0	
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	12	4	4	192	
							192

Tabla 36. Dimensiones por actividades

Acto seguido se calculan los presupuestos parciales, que se muestran en la Tabla 36.

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Realización del hueco</b>	1.732,54752	
01.02	<b>Colocación carpintería</b>	3.120,07392	
01.03	<b>Colocación policarbonatos</b>	7.908,36192	
01.04	<b>Soldado</b>	1.802,4624	
			14.563,45

Tabla 37. Presupuestos parciales

Finalmente, se obtienen los presupuestos generales:

- El **Presupuesto de Ejecución Material** es la suma de todos los presupuestos parciales.

$$PEM (\text{€}) = \sum_{i=1}^n P_i$$

- En el **Presupuesto de Ejecución por Contrata** se incluyen los **Gastos Generales** y el **Beneficio Industrial**.

$$GG(\text{€}) = 15\% \cdot PEM$$

$$BI(\text{€}) = 6\% \cdot PEM$$

$$PEC (\text{€}) = PEM + GG + BI$$

- En el **Presupuesto Base de Licitación** se tiene en cuenta el **Impuesto de Valor Añadido**.

$$IVA(\text{€}) = 21\% \cdot PEC$$

$$PBL (\text{€}) = PEC + IVA$$

Todos estos presupuestos pueden verse en la Tabla 37.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)</b>	14.563,45
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€)</b>	17.621,77
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b>	21.322,34

Tabla 38. Presupuestos generales

## 8.2.- Balance económico

Una vez conocido el coste de la instalación de aberturas, es el momento de estudiar la viabilidad económica del proyecto. La gran diferencia entre el uso de iluminación natural o artificial estriba en el consumo eléctrico. Para poder apreciarla bien, los consumos a calcular serán anuales.

### 8.2.1.- Punto de partida

El estudio económico se inicia decidiendo el tipo de tarifa eléctrica a contratar que mejor se ajuste a la situación de la factoría.

Por un lado, debido a las altas temperaturas que debe alcanzar el horno eléctrico, este se mantiene siempre en marcha, forzando a que en esa parte (fase II) de la producción se trabaje a tres turnos de 8 horas. En el resto de las fases se trabaja a dos turnos de 8 horas, de lunes a viernes los meses de mayor producción (de noviembre a abril) y de un turno de 8 horas de lunes a viernes el resto de meses. Es una factoría que trabaja prácticamente todos los días del año, a excepción del mes de Agosto, en el que se cierra por mantenimiento y descanso de los trabajadores. Así, será recomendable una tarifa con discriminación horaria.

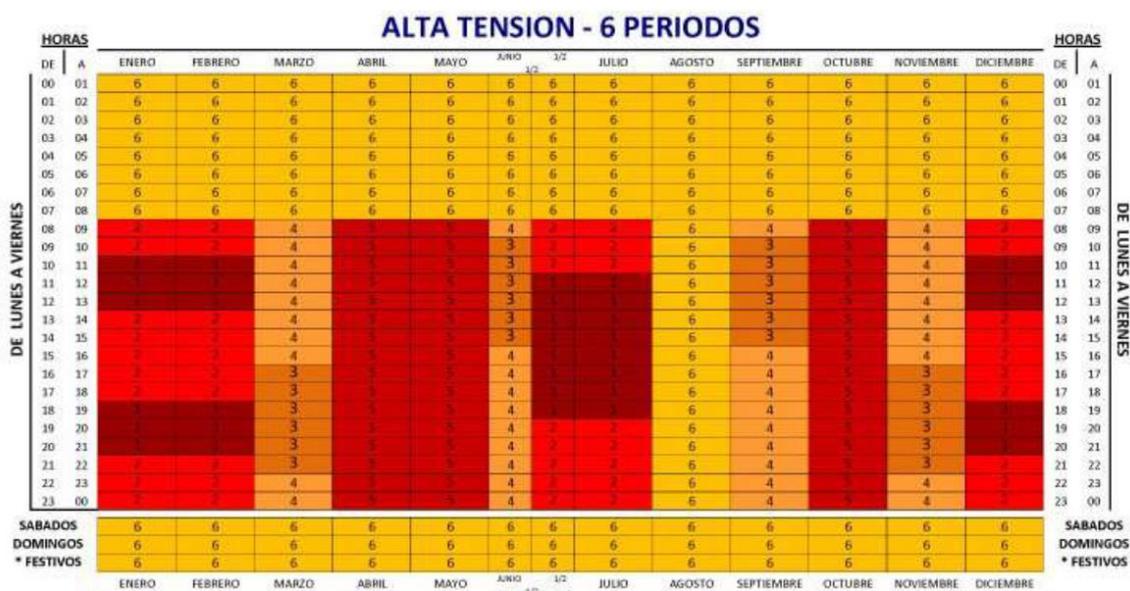
Por otro lado, una vez determinado el horario laboral, es necesario conocer también la potencia eléctrica a contratar para poder elegir el mejor tipo de tarifa. Se han de registrar el consumo de todos los aparatos eléctricos, desde las luminarias y maquinaria, hasta las tomas de corriente. Esto incluye la fase I, por ser parte del proceso productivo aunque se encuentre en el exterior.

	Nombre	Ud	Potencia/ud (kW)	Potencia (kW)
Fase I	Cinta pesada	4	15	60
	Cinta ligera	11	8	88
	Compuerta almacén	9	2	18
	Tolva mezcladora	1	15	15
Fase II	Horno eléctrico	1	300	300
	Guillotina	1	12	12
	Ducha	1	4	4
Fase III	Molino desbastador	2	12	24
	Bobinadora	1	6	6
	Troqueladora	2	12	24
	Acoronadora	2	12	24
	Horno pequeño	2	45	90
	Bañera agitadora	2	4	8
	Secadora	2	4	8
Fase IV	Seleccionadora	2	4	8
	Prensa	2	12	24
	Empaquetadora	2	8	16
Otros	Luminarias	16	0,42	6,72
	Batería de carretillas elevadoras	2	4	8
	Tomas de corriente	20	3	60
	Tomas de corriente trifásica	50	8	400
<b>TOTAL</b>				<b>1.203,72</b>

Tabla 39. Consumo de potencia demandada

Como se observa, a nivel de potencia, la fase que más consume es la II, en la que se emplea el horno eléctrico. Esta fase es la que trabaja de continuo y es, por tanto, la responsable de la elección de tarifa. Por tanto, a partir de la misma, se puede decir que la planta trabaja unos 320 días al año, descontando, el mes de vacaciones y algunas festividades nacionales. Puesto que la potencia demandada es superior a los 400 KW, será necesaria una tarifa de alta tensión.

Por todo lo anteriormente visto, la tarifa eléctrica empleada es de tipo 6.1A de alta tensión. Es una tarifa basada en la discriminación horaria, diaria y mensual. La bondad de esta tarifa reside el abaratamiento del precio de la energía tanto en fines de semana como en la franja horaria menos atractiva para la producción tradicional como es la madrugada.



\* Festivales de ámbito nacional, excluidos tanto los festivos sustituibles como los que no tienen fecha fija.  
 Figura 53. Discriminación horaria

8.2.2.- Iluminación artificial

En una factura de electricidad, si no se tienen en cuenta los distintos impuestos y tasas, el consumo se reparte en dos términos: el **término de potencia** y el **término de energía eléctrica**. El primero de los términos es el precio que se paga por contratar cierta cantidad de potencia, es decir, por tenerla siempre disponible. Es un coste fijo durante todo el año, que no varía con la producción. El segundo, es el precio de la energía que realmente se consume y sí depende del horario laboral y de las épocas del año.

Ambos precios dependen de la tarifa contratada. En este caso al tratarse de una tarifa 6.1A, el precio de cada uno de los términos viene desglosado por periodos, que se reflejan en la Tabla 39.

Periodo	Termino eléctrico (€/kWh)	Termino potencia (€/kWañ)
1	0,026674	39,139427
2	0,019921	19,586654
3	0,010615	14,334178
4	0,005283	14,334178
5	0,003411	14,334178
6	0,002137	6,540177

Tabla 40. Precio por periodo

Por tanto, es importante conocer las horas de trabajo diarias que se realizan en cada periodo en cada mes del año.

Mes	P1 (h)	P2 (h)	P3 (h)	P4 (h)	P5 (h)	P6 (h)
Enero	6	10	0	0	0	8
Febrero	6	10	0	0	0	8
Marzo	0	0	6	10	0	8
Abril	0	0	0	0	16	8
Mayo	0	0	0	0	16	8
Junio – 1ª quincena	0	0	6	10	0	8
Junio – 2ª quincena	8	8	0	0	0	8
Julio	8	8	0	0	0	8
Agosto	0	0	0	0	0	24
Septiembre	0	0	6	10	0	8
Octubre	0	0	0	0	16	8
Noviembre	0	0	6	10	0	8
Diciembre	6	10	0	0	0	8

Tabla 41. Horas trabajadas según la tarifa contratada

Tan solo falta mencionar que, aunque la máxima potencia consumida es la dada por la Tabla 39, en realidad, el consumo varía en función del periodo, por lo que la potencia real consumida para cada periodo es la que presenta la Tabla 42.

Periodo	Potencia consumida (kW)
1	403
2	540
3	311
4	376
5	823
6	1047

Tabla 42. Potencia consumida por periodo

Con todo esto, ya puede realizarse la facturación del sistema de iluminación completamente artificial.

### FACTURACIÓN ANUAL

Como se ha mencionado antes, en la facturación se incluyen dos términos:

#### **Término de potencia**

$$TP (\text{€}) = \sum_{i=1}^6 PP_i \cdot Pot_i \cdot N_i$$

Donde

- **PP<sub>i</sub>** es el precio de la potencia para ese periodo
- **Pot<sub>i</sub>** es la potencia para ese periodo
- **N<sub>i</sub>** es el número de horas trabajadas en ese periodo

El cálculo por meses se encuentra en la Tabla 43.

Mes	Término de potencia (€)
Enero	11.126,47
Febrero	10.049,72
Marzo	11.126,47
Abril	3.892,50
Mayo	11.126,47
Junio – 1ª quincena	5.383,78
Junio – 2ª quincena	5.383,78
Julio	11.126,47
Agosto	11.126,47
Septiembre	10.767,55
Octubre	11.126,47
Noviembre	10.767,55
Diciembre	11.126,47
<b>TOTAL</b>	<b>124.130,18</b>

Tabla 43. Término de potencia

Dado que este término es constante, no tiene ningún interés en este estudio económico y no se incluirá en los cálculos, ya que no haría más que empañar los resultados intermedios obtenidos.

**Término de energía eléctrica**

$$TE (\text{€}) = \sum_{i=1}^6 PE_i \cdot E_i \cdot N_i$$

Donde

- $PE_i$  es el precio de la energía eléctrica para ese periodo
- $E_i$  es la energía eléctrica para ese periodo
- $N_i$  es el número de horas trabajadas en ese periodo

El cálculo por meses se encuentra en la Tabla 44.

Mes	Término de energía eléctrica (€)
Enero	4.447,85
Febrero	4.014,21
Marzo	1.481,36
Abril	1.596,74
Mayo	1.256,31
Junio – 1ª quincena	633,28
Junio – 2ª quincena	2.089,51
Julio	4.368,97
Agosto	536,99
Septiembre	1.266,57
Octubre	1.381,94
Noviembre	1.423,79
Diciembre	4.584,12
<b>TOTAL</b>	<b>29081,62</b>

Tabla 44. Término de energía eléctrica

**Impuestos sobre la electricidad**

Por un lado, la empresa tiene contratado un alquiler para el contador y habrá que tener en este gasto mensual en cuenta. El **precio del alquiler del equipo de medida** varía en función de la tarifa, el tipo de contador y la comunidad autónoma.

En la Comunidad Valenciana, con una tarifa 6.1A, el precio será:

$$PAEM = 98\text{€}$$

Por otro lado, además del IVA que posteriormente se incluirá, la electricidad posee un impuesto especial, tanto al consumo como a la potencia. No obstante, por ser constante, el término de potencia no se tiene en cuenta

$$\text{Impuesto Eléctrico (€)} = TE \cdot 1,05113 \cdot 4,864\%$$

El cálculo por meses se encuentra en la Tabla 45.

Mes	IE (€)
Enero	218,80
Febrero	197,47
Marzo	72,87
Abril	78,55
Mayo	61,80
Junio – 1ª quincena	31,15
Junio – 2ª quincena	102,79
Julio	214,92
Agosto	26,42
Septiembre	62,31
Octubre	67,98
Noviembre	70,04
Diciembre	225,51
<b>TOTAL</b>	<b>1.430,61</b>

Tabla 45. Impuesto sobre electricidad

### Impuesto de Valor Añadido

Como último impuesto, se incluye el IVA

$$IVA (\text{€}) = (TE + IE + PAEM) \cdot 0,21$$

El cálculo por meses se encuentra en la Tabla 46.

Mes	TE + IE + PAEM(€)	IVA(€)
Enero	4.764,65	1.000,58
Febrero	4.309,68	905,03
Marzo	1.652,23	346,97
Abril	1.773,28	372,39
Mayo	1.416,11	297,38
Junio – 1ª quincena	762,44	160,11
Junio – 2ª quincena	2.290,30	480,96
Julio	4.681,89	983,20
Agosto	661,40	138,89
Septiembre	1.426,87	299,64
Octubre	1.547,92	325,06
Noviembre	1.591,83	334,28
Diciembre	4.907,62	1.030,60
<b>TOTAL</b>	<b>31.786,23</b>	<b>6.675,11</b>

Tabla 46. Impuesto de Valor Añadido

### Resultados de facturación

Finalmente, la facturación eléctrica por meses se encuentra en la Tabla 47.

Mes	Total factura eléctrica (€)
Enero	5.765,23
Febrero	5.214,71
Marzo	1.999,20
Abril	2.145,67
Mayo	1.713,50
Junio – 1ª quincena	922,55
Junio – 2ª quincena	2.771,26
Julio	5.665,09
Agosto	800,30
Septiembre	1.726,52
Octubre	1.872,99
Noviembre	1.926,11
Diciembre	5.938,23
<b>TOTAL</b>	<b>38.461,34</b>

Tabla 47. Total factura eléctrica

### Presupuesto de mantenimiento y renovación de un sistema de iluminación artificial

En cualquier balance económico responsable, no basta con hallar los gastos producidos por los aparatos eléctricos, también debe tenerse en cuenta el mantenimiento y sustitución de las luminarias, una de los elementos con menor vida útil de la factoría.

En este caso, las luminarias instaladas son del tipo SDK 102-400 GESCHLOSSEN, con una vida útil de uso en continuo de entre 9.000 y 11.000 horas, por lo que se toma el valor medio, 10.000 horas para calcular el tiempo de vida con las horas trabajadas al año.

Si se trabaja durante 320 días año las 24 horas, son un total de 7.680 horas de trabajo al año.

Por tanto

$$vida\ útil = \frac{10.000\ horas}{7.680 \frac{horas}{año}} = 1,3\ años$$

Así, si la iluminación de la planta fuera únicamente artificial, la renovación de las luminarias sería casi anual. El coste de este mantenimiento y renovación va a presupuestarse seguidamente, utilizando los datos del Instituto Valenciano de la Edificación.

El cuadro de precios descompuestos se encuentra en la Tabla 48.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>				
	Ud	Luminaria	1	6	6,00	
	hr	Oficial 1ª electricidad	0,2	14,14	2,83	
	hr	Peón electricidad	0,2	13,18	2,64	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	13,14	0,26	

Tabla 48. Cuadro de precios descompuestos con iluminación 100% artificial

La Tabla 49 muestra el cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	16			16	

Tabla 49. Cuadro de mediciones con iluminación 100% artificial

Los presupuestos parciales se reflejan en la Tabla 50.

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Colocación luminarias</b>	214,41	
			214,41

Tabla 50. Presupuestos parciales con iluminación 100% artificial

Y, finalmente, los presupuestos generales donde se incluyen Gastos Generales, Beneficio Industrial e Impuesto sobre Valor Añadido se calculan en la Tabla 51.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)</b>	214,41
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€)</b>	259,43
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b>	313,91

Tabla 51. Presupuestos generales con iluminación 100% artificial

En conclusión, como se muestra en la Tabla 52, con un sistema de iluminación 100% artificial, el gasto anual eléctrico es de

<b>COSTE ELECTRICIDAD (€)</b>	38.461,34
<b>COSTE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN ANUAL (€)</b>	313,91
<b>TOTAL (€)</b>	<b>38.775,25</b>

Tabla 52. Coste total electricidad con iluminación 100% artificial

### 8.2.3.- Iluminación mixta

Como se ha visto anteriormente, cuanto mayor sea el porcentaje de iluminación natural, mayor será el valor de la eficiencia energética de la instalación. Pero como no siempre se podrá trabajar en el punto óptimo, se va a realizar el presupuesto tanto para la combinación más favorable como para la más desfavorable.

Para poder calcular los costes de las combinaciones, en primer lugar habrá que hallar el coste que supone la iluminación natural. Por provenir de una fuente de radiación gratuita, este coste se resume en su presupuesto de mantenimiento y renovación.

#### Presupuesto de mantenimiento y renovación de un sistema de iluminación natural

Todo el presupuesto se encuentra en las tablas 53, 54, 55 y 56.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Mantenimiento lucernarios</b>				
	hr	Operario	0,1	12	1,20	
	día	Plataforma elevadora articulada	0,0125	133,9	1,67	
	%	Costes Directos	0,02	4,07	0,057	

Tabla 53. Cuadro de precios mantenimiento lucernarios

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Mantenimiento lucernarios</b>					
	m <sup>2</sup>	Lucernarios	12	4	4	192	
							192

Tabla 54. Cuadro de mediciones mantenimiento lucernarios

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Mantenimiento lucernarios</b>	562,80	
			562,80

Tabla 55. Presupuestos parciales mantenimiento lucernarios

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)</b>	562,80
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€)</b>	680,98
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b>	823,99

Tabla 56. Presupuestos generales mantenimiento lucernarios

Puesto que el mantenimiento de los lucernarios se realiza cada cinco años, el coste anual es todavía menor, quedando en 164,80 €.

Ahora sí, se procede a calcular los costes de los distintos supuestos planteados con anterioridad.

*Supuesto 1: 100% iluminación artificial*

Estos costes ya han sido calculado pues se trata de un sistema de iluminación artificial puro.

<b>COSTE ELECTRICIDAD (€)</b>	38.461,34
<b>COSTE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN ANUAL (€)</b>	313,91
<b>TOTAL (€)</b>	<b>38.775,25</b>

*Tabla 51. Coste total electricidad con iluminación 100% artificial*

*Supuesto 2: 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural*

A efectos prácticos, el que se utilice un 40% de iluminación artificial significa que, de las 16 luminarias instaladas, tan sólo estarán en funcionamiento 7.

Con esta modificación, con esta cambia la potencia consumida y con ella, el término de energía eléctrica.

**Potencia consumida real con 40% artificial – 60% natural**

La Tabla 57 muestra las nuevas potencias consumidas reales

Periodo	Potencia consumida (kW)
1	391
2	534
3	299
4	367
5	808
6	1.036

*Tabla 57. Potencia consumida por periodo 40% artificial + 60% natural*

**Cálculos del coste eléctrico con 40% artificial – 60% natural**

Puesto que todos los cálculos ya han sido explicados, en la Tabla 58 se resumen los resultados.

Mes	TE (€)	IE + PAEM (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
Enero	4.372,34	321,54	985,72	5.679,60
Febrero	3.945,87	299,74	891,58	5.137,19
Marzo	1.447,69	172,02	340,14	1.959,85
Abril	1.572,33	178,39	367,65	2.118,37
Mayo	1.236,18	161,20	293,45	1.690,83
Junio – 1ª quincena	617,58	129,57	156,90	904,05
Junio – 2ª quincena	2.048,75	202,75	472,81	2.724,31
Julio	4.283,76	317,02	966,16	5.566,93
Agosto	531,34	125,17	137,87	794,38
Septiembre	1.235,15	161,15	293,22	1.689,53
Octubre	1.359,80	167,52	320,74	1.848,05
Noviembre	1.391,55	169,15	327,75	1.888,44
Diciembre	4.505,87	328,37	1.015,19	5.849,44
<b>TOTAL</b>	<b>28.548,22</b>	<b>2.733,58</b>	<b>6.569,18</b>	<b>37.850,98</b>

*Tabla 58. Cálculos del coste eléctrico con 40% artificial – 60% natural*

**Presupuesto de mantenimiento y renovación de luminarias con 40% artificial – 60% natural**

La Tabla 59 muestra el cuadro de mediciones

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	7			7	
							7

Tabla 59. Cuadro de mediciones con 40% artificial – 60% natural

Los presupuestos parciales se reflejan en la Tabla 60.

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Colocación luminarias</b>	93,80	
			93,80

Tabla 60. Presupuestos parciales con iluminación 40% artificial – 60% natural

Y, finalmente, los presupuestos generales donde se incluyen Gastos Generales, Beneficio Industrial e Impuesto sobre Valor Añadido se calculan en la Tabla 61.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)</b>	93,80
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€)</b>	113,5
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b>	137,34

Tabla 61. Presupuestos generales con 40% artificial – 60% natural

En conclusión, como se muestra en la Tabla 62, con un sistema de iluminación 40% artificial y 60% natural, el gasto anual eléctrico es de

<b>COSTE ELECTRICIDAD (€)</b>	37.850,98
<b>COSTE RENOVACIÓN LUMINARIAS ANUAL (€)</b>	137,34
<b>COSTE MANTENIMIENTO LUCERNARIOS ANUAL (€)</b>	164,80
<b>TOTAL (€)</b>	38.153,12

Tabla 62. Coste total electricidad con 40% artificial – 60% natural

*Supuesto 3: 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural*

Se repite el procedimiento del supuesto 2 pero utilizando únicamente el 20% de las luminarias, es decir, 4 luminarias. Todos los cálculos se encuentran en las tablas 63, 64, 65, 66, 67 y 68.

**Potencia consumida real con 20% artificial – 80% natural**

Periodo	Potencia consumida (kW)
1	385
2	522
3	297
4	356
5	794
6	1.028

Tabla 63. Potencia consumida por periodo 20% artificial + 80% natural

**Cálculos del coste eléctrico con 20% artificial – 80% natural**

Mes	TE (€)	IE + PAEM (€)	IVA (€)	TOTAL (€)
Enero	4.334,75	317,52	968,33	5.579,41
Febrero	3.911,81	296,09	875,82	5.046,39
Marzo	1.434,91	170,98	335,67	1.934,11
Abril	1.558,00	177,29	362,91	2.091,08
Mayo	1.223,89	160,28	289,47	1.667,91
Junio – 1ª quincena	611,59	129,10	154,85	892,23
Junio – 2ª quincena	2.033,98	200,87	464,73	2.677,73
Julio	4.252,86	313,10	949,26	5.469,53
Agosto	529,29	124,96	136,96	789,16
Septiembre	1.223,19	160,20	289,12	1.665,88
Octubre	1.346,28	166,51	316,36	1.822,85
Noviembre	1.379,31	168,15	323,47	1.863,78
Diciembre	4.466,83	324,19	997,12	5.745,33
<b>TOTAL</b>	<b>28.306,69</b>	<b>2.709,24</b>	<b>6.464,07</b>	<b>37.245,38</b>

Tabla 64. Cálculos del coste eléctrico con 20% artificial – 80% natural

**Presupuesto de mantenimiento y renovación de luminarias con 20% artificial – 80% natural**

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	<b>Colocación luminarias</b>					
	Ud	Luminaria	4			4	
							4

Tabla 65. Cuadro de mediciones con 20% artificial – 80% natural

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	<b>Colocación luminarias</b>	53,60	
			53,60

Tabla 66. Presupuestos parciales con iluminación 20% artificial – 80% natural

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) (€)</b>	53,60
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) (€)</b>	64,86
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (€)</b>	78,48

Tabla 67. Presupuestos generales con 20% artificial – 80% natural

<b>COSTE ELECTRICIDAD (€)</b>	37.245,38
<b>COSTE MANTENIMIENTO Y RENOVACIÓN ANUAL (€)</b>	78,48
<b>COSTE MANTENIMIENTO LUCERNARIOS ANUAL (€)</b>	164,80
<b>TOTAL (€)</b>	<b>37.488,66</b>

Tabla 68. Coste total electricidad con 20% artificial – 80% natural

### 8.2.4.- Análisis económico

Aunque de forma intuitiva ya se han podido ver las ventajas económicas que la instalación de un sistema de iluminación natural reporta, es importante cuantificar es ahorro.

Supuesto	Coste (€)	Ahorro (€)
100% Artificial + 0% Natural	38.775,25	-
40% Artificial + 60% Natural	38.153,12	622,13
20% Artificial + 80% Natural	37.488,66	1.286,59

Tabla 69. Análisis económico

Si bien es cierto que a simple vista puede parecer que el ahorro es superfluo, esto se debe al hecho de que en la producción, los costes eléctricos son muy altos ya que se utilizan máquinas con grandes resistencias térmica (como los hornos) y mecánicas (como las aplanadoras).

Por otro lado, al ser una nave de tamaño más bien reducido, la cantidad de luminarias también es pequeña, por lo que el ahorro debido a la utilización parcial de las mismas también es menor.

Para completar el análisis económico con un estudio de viabilidad del proyecto, se van a calcular el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el Periodo de Retorno del Capital o Pay-Back (PB).

#### Valor Actual Neto

Representa el valor actual de unos flujos de caja (en este caso, de las cantidades recuperadas cada año) futuros, causados por una inversión.

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

Donde

- $r_t$  es el movimiento de fondos de cada periodo (€)
- $T$  es el horizonte temporal
- $t$  es cada periodo
- $i$  es el interés
- $I_0$  es la inversión inicial.

#### Tasa Interna de Rentabilidad

El proyecto será rentable cuando el VAN sea positivo. Por tanto, el TIR es el interés que hace nulo el VAN. Se trata de un límite superior para el interés.

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

Por tanto, se trata de un cálculo iterativo y se obtendrá únicamente para los supuestos que han generado un ahorro.

La inversión inicial a la que se refieren las fórmulas es únicamente a la de la instalación del sistema de iluminación, por lo tanto.

$$I_0 = 14.563,45 \text{ €}$$

Si se supone que el tiempo de vida de los lucernarios es de 25 años.

$$T = 25 \text{ años}$$

Por otro lado, la anualidad (la cantidad recuperada cada año) es el ahorro anual obtenido al utilizar un sistema de iluminación mixto.

$$r_{40-60} = 622,13\text{€} \quad r_{20-80} = 1.286,59\text{€}$$

En la Tabla 70 se observan los resultados iterativos del cálculo del TIR

Supuesto	$I_0$ (€)	$r$ (€)	VAN 1% (€)	VAN 2% (€)	VAN 4% (€)	VAN 8% (€)	VAN 10% (€)	TIR (%)
2	14.563,45	622,13	-6.254,22	-6.269,70				
3	14.563,45	1.286,59	14.054,67	11.057,61	6.339,73	269,34	-1.717,18	8,24

Tabla 70. Cálculos VAN y TIR

De la tabla se extrae que el supuesto 2 (40% de iluminación artificial y 60% de natural) es inviable, ya que para alcanzar un VAN nulo, el TIR debería ser negativo. Y si una tasa de rentabilidad es negativa, significa que se está perdiendo dinero con la inversión.

Por otro lado, el supuesto 3 (20% de iluminación artificial y 80% de natural) sí es rentable hasta unos intereses del 8,24%. Es un valor aceptable de rentabilidad, que da una cierta flexibilidad a los porcentajes de luz natural y artificial utilizables. Es decir, si no siempre se consigue esta iluminación sino una un poco menos deficiente (con más iluminación artificial), la inversión todavía resulta rentable.

#### Periodo de Retorno del Capital

Contabiliza los años necesarios para recuperar la inversión.

$$R = \frac{I}{r}$$

Donde

- $R$  es el periodo de retorno del capital
- $I$  es la inversión total del proyecto

La inversión total incluye tanto la instalación de lucernarios como su mantenimiento y la renovación de las luminarias.

Supuesto	Inversión total (€)	Anualidad (€/año)	PAY-BACK (años)
2	14.865,59	622,13	23,9
3	14.806,73	1.286,59	11,5

Tabla 71. Periodo de Retorno del Capital

De todo esto se puede concluir que

- El supuesto 2 prácticamente no es rentable porque el Pay-Back se acerca mucho a la vida útil de los lucernarios. El margen de beneficios es de un año aproximadamente, demasiado poco para las molestias que puedan causar la búsqueda de profesionales cualificados, la instalación de los lucernarios y el mantenimiento, en el día a día de una empresa.
- El supuesto 3 sí es rentable porque en la mitad de la vida útil de los lucernarios ya se ha recuperado la inversión.

Por tanto, la viabilidad de este proyecto queda muy supeditada a las condiciones atmosféricas que, por suerte, en la zona en la que la planta se encuentra, son casi siempre muy favorables.

## 9.- CONCLUSIONES

- De entre todos los métodos de cálculo del nivel de iluminación, se ha escogido el *método analítico* por ser de los más precisos y sencillos a la vez.
- Debido a la gran cantidad de pasillos y a que la mayoría de las actividades de la zona de producción no requieren de un gran nivel de iluminación, la iluminación media mínima establecida por normativa ( $E_m$ ) es de 165 lux en toda la planta.
- Se han realizado simulaciones los días 23/06 y 10/12 por ser los días con más y menos horas de luz solar del año y, por tanto, los casos extremos a solucionar.
- Si se utilizan aberturas en cerramientos verticales (y se les da un tamaño medio-alto), las probabilidades de que se sufran deslumbramientos en las zonas de trabajo son muy altas. Por el contrario, con la instalación en exclusiva de lucernarios, se garantiza la condición de no-deslumbramiento.
- No es extraño que la superficie final de ventanas triplique o cuadruple la superficie teórica dada por el método analítico pues las condiciones de reflexión interna y de transmisión de ventanas son muy restrictivas.
- Cuanto mayores sean los coeficientes de reflexión, mayor será el nivel de iluminación para una misma superficie de aberturas. No obstante, hay que tener especial cuidado con el coeficiente de reflexión del suelo pues existe peligro de reflexiones interiores muy molestas.
- El diseño es un método iterativo lento y que requiere de gran potencia de cálculo, por lo que la creatividad y la experiencia son fundamentales para agilizar el proceso de cálculo.
- De entre los tres sistemas de iluminación propuestos, tan sólo del tercero (con todas las aberturas en cubierta), y tras cuadruplicar su superficie de ventana, se han obtenido valores de iluminación media por zonas aceptables y el estado de no-deslumbramiento deseado. Los mínimos en uniformidad se han alcanzado únicamente relajando las restricciones al respecto. Esto se debe a que existen muchas ventanas y muchas sombras.
- Al tratarse de una nave de tamaño medio-bajo, con 16 luminarias ha bastado para conseguir una iluminación artificial media de 225 lux.
- Cuanto mayor es el porcentaje de luz natural utilizada, menor es el valor de eficiencia energética de la instalación y, por tanto, menor es el coste por lux suministrado a la planta.
- Debido a las condiciones climatológicas y al hecho de que la planta trabaja las 24 horas del día, no es posible utilizar un sistema de iluminación 100% natural.

- Puesto que la planta está operativa durante todo el día y toda la noche, la tarifa eléctrica contratada poseerá discriminación horaria, para aprovechar la disminución de precios de los fines de semana y festivos.
- Dentro del estudio de viabilidad económica es importante incluir los presupuestos instalación, mantenimiento y renovación tanto de lucernarios como de luminarias.
- Tan sólo si el porcentaje de iluminación natural es mayor del 60%, la inversión es viable, pues la Tasa Interna de Rendimiento es negativa para ese porcentaje. Sin embargo, con un 80% de iluminación natural, sí es rentable realizar la inversión, pues si TIR es de 8,24%.
- Con un 60% de iluminación natural, el Periodo de Retorno del Capital es de 24 años, haciendo poco necesario (y prácticamente inviable) el proyecto. No obstante, cuando el porcentaje de iluminación natural asciende al 80%, en la mitad de la vida útil de los lucernarios (12 años), ya se ha recobrado la inversión.
- En general, un sistema de iluminación natural sí es ventajoso, aunque, si se es lo suficientemente fiel a la realidad, es difícil ver esta ventaja a corto plazo o incluso, como en este caso, sacar una gran rentabilidad económica de la inversión. Pero esta rentabilidad irregular se suple con los beneficios que esta clase de iluminación reporta a los trabajadores, ya que, aun sin existir normativas que lo regulen, sí es cierto que la luz natural proporciona una mayor sensación de bienestar que la artificial

## 10.- REFERENCIAS

- UNE 12464.1. “Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.” Agencia Española de Normativa. 2012
- Clainche, R.M.L. “Curso de Teoría Monetaria y Política Financiera”. Universidad Nacional de México.
- IVE. “Bases de precios 2015” Instituto Valenciano de la Edificación. Valencia. 2015
- IDEA. “Guía técnica: Aprovechamiento de la luz natural” Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. 2015
- Daloz, J.p. “Monnaie”. Encyclopaedia Universalis. Vol 11. París. S.f.
- Laszlo, C. “Manual de luminotecnia”. [www.laszlo.com.ar](http://www.laszlo.com.ar). 06/11/2015
- [www.huellacarbono.es](http://www.huellacarbono.es) – 09/11/2015
- RAE. “Diccionario de la lengua española”. Real Academia Española. Espasa. Madrid, 2015
- Pérez, J. “Fabricando Made in Spain - La fabricación de una moneda”. Radiotelevisión Española. Madrid, 2013.
- Martín, “M. Manual de ILUMINACIÓN -Manuales de diseño ICARO”. 2006.
- Ramírez, J. “Luminotecnia. Enciclopedia CEAC de electricidad” Barcelona, 1986.
- Santamarina, M. C. “Iluminación natural”. Universitat Politècnica de València. S.f.

## **ANEXO 1. ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN**

La forma más sencilla de encontrar un terreno industrial disponible es a través de promotores de suelo, tanto de ámbito público como privado.

Se ha elegido la antigua sociedad pública promotora de suelo SEPIVA, ahora incluida dentro del IVACE (*Institut Valencià de Competitivitat Empresarial*). Esta promotora ofrece terrenos en diferentes partes de la comunidad valenciana, indicando sus dimensiones y ofreciendo el acceso a toda la documentación necesaria.

La información más importante a la hora de decidir la parcela es el tamaño de la planta, incluyendo todas las instalaciones exteriores necesarias. A grandes rasgos, la planta proyectada posee unas dimensiones de 75 m x 60 m, como se muestra en la Figura \_\_, haciendo un total de 4500 m<sup>2</sup> de superficie.

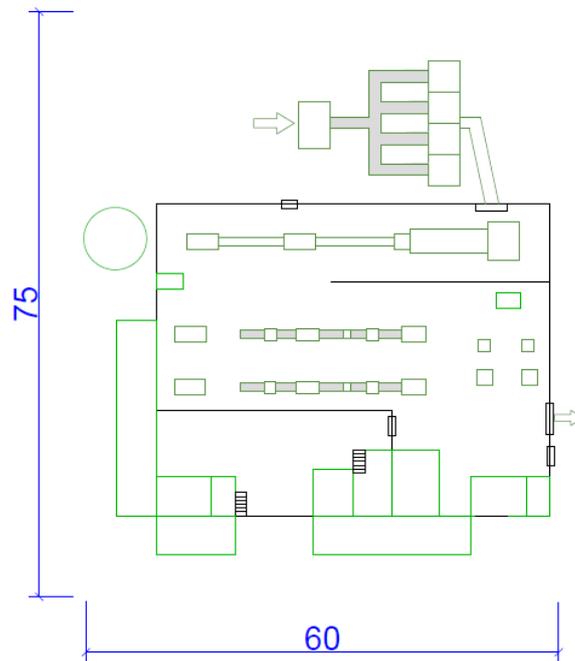


Figura \_\_. Dimensionado industria

Y no sólo eso, puesto que en toda normativa se especificarán unas separaciones mínimas de la edificación a los lindes (retranqueos), es conveniente anticiparse multiplicando la superficie necesaria por un coeficiente de seguridad.

$$\text{Área}_{total} = 4500 \cdot 1.4 = 6300 \text{ m}^2$$

Otro requerimiento a tener en cuenta es la cantidad de calles a las que ha de dar la factoría, que dependerá de dónde se encuentren la entrada de materia prima y la salida de producto acabado. En este caso, puesto que se encuentran en lados diferentes de la parcela, harán falta dos calles.

Las características de la superficie requerida fuerzan a una remodelación de parcelas, es decir, a unir dos parcelas contiguas.

Tras realizar varias búsquedas en los diferentes parques empresariales disponibles (*El Campaner, Nuevo Tollo, etc*), se han escogido las parcelas **F2** y **F3** de *L'Espartal III*, un parque situado en el municipio de Xixona, tal y como aparece en la Figura \_\_ y en la Figura \_\_.

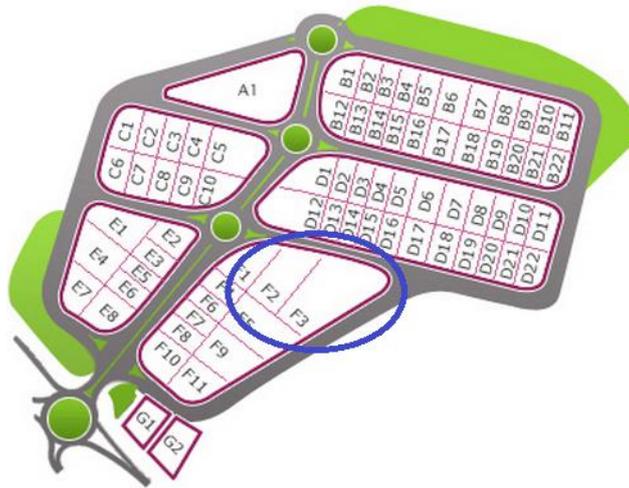


Figura . Localización de la parcela

Donde la parcela F2 mide 2.740,16 m<sup>2</sup> y F3, 4.769,78 m<sup>2</sup>, haciendo un total de 7.509,94 m<sup>2</sup>.



Figura . Dimensiones de cada parcela  
Fuente: SEPIVA, 2015

Aplicando el coeficiente de seguridad de nuevo, es posible conocer de forma aproximada la superficie de parcela ocupable.

$$\text{Área}_{\text{parcela ocupable}} = \frac{7509.94}{1.4} = 5364.24 \text{ m}^2$$

Como esta superficie es mayor que la necesitada de forma teórica (4500 m<sup>2</sup>), en un principio, parece ser un buen candidato.

Para determinar si la parcela es válida, debe comprobarse que todas las condiciones impuestas por las Normas Urbanísticas se cumplen.

No obstante, como la comprobación de todos los parámetros urbanísticos no es el objeto de este informe, tan sólo se justificarán tres de ellos.

### 1. Coeficiente de ocupación

Mide la ocupación máxima y se haya como la relación entre la superficie *ocupable* y la superficie de la parcela.

$$\% \text{ Ocupación} = \frac{\text{Área ocupable}}{\text{Área total}}$$

El apartado 2 del artículo 4.5 (*Parámetros de emplazamiento*) del Título cuarto, establece que deberá ser menor al 75%.

La **superficie ocupable** se define como la superficie restante tras la aplicación de las distancias a lindes (retranqueos) que, según el apartado 1 del artículo 4.5 (*Parámetros de emplazamiento*) del Título cuarto, serán de 6 m respecto de la alineación exterior y 4 respecto de la interior.

Así, la superficie pasa a ser de 4.864 m<sup>2</sup> y el nivel de ocupación

$$\% \text{ Ocupación} = \frac{4.864}{7.509,94} \times 100 = 64,77\%$$

✓ SÍ CUMPLE

### 2. Edificabilidad

Es el valor máximo total, expresado en metros cuadrados de techo, de la edificación sobre la rasante que podrá realizarse en un terreno.

Para determinar este parámetro se establece el **coeficiente de edificabilidad**, la relación entre la superficie edificable total y la superficie de la proyección horizontal en el ámbito de referencia

$$\text{Edificabilidad} = \frac{\text{Área de techo}}{\text{Área de suelo bruto}}$$

Según el apartado 3 del artículo 4.6 (*Condiciones de volumen y forma de los edificios*) del Título cuarto, el coeficiente de edificabilidad máximo será de 1 mt/m<sup>2</sup>sup.

El **área de techo** es la suma de todos los techos dentro del recinto: esto incluye tanto el techo asociado a la cubierta como el asociado a los forjados.

$$\text{Área de techo} = \text{Área cubierta} + \text{Área forjados} = 2000 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 27.5$$

$$\text{Área de techo} = 3.612,5 \text{ m}^2$$

Por otro lado, el **área de suelo bruto** hace referencia al área total disponible para la industria.

$$\text{Área de suelo bruto} = 4.864 \text{ m}^2$$

Así,

$$\text{Edificabilidad} = \frac{3.612,5}{4.864} = 0,74 \text{ m}^2 \text{ techo} / \text{m}^2 \text{ suelo}$$

✓ SÍ CUMPLE

### 3. Máxima altura de cornisa

Altura máxima que pueden tomar los pilares de los pórticos y dependerá de la altura de los elementos del proceso productivo.

Según el apartado 1 del artículo 4.6 (*Condiciones de volumen y forma de los edificios*) del Título cuarto, la máxima altura de cornisa es de 14 metros.

En este caso, el elemento más alto es el horno eléctrico de 7.5 metros de alto, por lo que, dejando un margen de metro y medio, la altura máxima de cornisa es de 9 metros.

✓ SÍ CUMPLE

Puesto que la parcela elegida cumple los tres, queda probada su validez y tan sólo resta la determinación de la orientación de la planta en el plano.

Para ello, se toma el Plano de Ordenación del Parque Empresarial, se sitúa la nave y se calcula el ángulo de la dirección del plano frontal con el norte.

En la Figura \_ se observa que el ángulo obtenido es de 37°.

## **ANEXO 2. NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMA MEDIO POR ZONAS**

Conociendo el área que ocupa cada fase productiva

Fase	Área (m <sup>2</sup> )
II	298
III	665
IV	630

Dadas las áreas de cada actividad de la zona productiva

Actividad sistema productivo	Área (m <sup>2</sup> )	Actividad sistema productivo	Área (m <sup>2</sup> )
6. Fundición	34.57	15. Recocido	24
7. Moldeado	73.37	16. Decapado	6
8. Corte	13.5	17. Secado	12,24
9 + 10. Enfriamiento + Limpieza	22.39	18. Selección	26,2
11. Aplanamiento I	25.52	19. Acuñaición	15,18
12. Aplanamiento II	23.71	21. Empaquetado	32,2
13. Troquelado	38.31	X. Pasillo	964,84
14. Rebordeado	13,46	Y. Cinta transportadora	100,08

y de algunos otros elementos

Elemento	Área (m <sup>2</sup> )
Almacén producto intermedio	9
Depósito de refundición	19,12
Almacén producto acabado	51
Taller + Almacén maquinaria	50

Si se contabiliza el área de cintas transportadoras en cada zona

Cina en Fase	Área (m <sup>2</sup> )
II	0
III	84,86
IV	15,22

es posible obtener la superficie de pasillos

$$A_{pasillo} = A_{total} - A_{cinta} - A_{objetos}$$

Fase	Área total (m <sup>2</sup> )	Área cinta (m <sup>2</sup> )	Área objetos (m <sup>2</sup> )	Área pasillo(m <sup>2</sup> )
II	298	0	143,83	154,17
III	665	84,86	275,41	389,59
IV	630	15,22	208,92	421,08

Una vez que se conocen las áreas exactas de todas las actividades y elementos, tan sólo queda separarlos por fases y hallar la iluminación media mínima según la normativa.

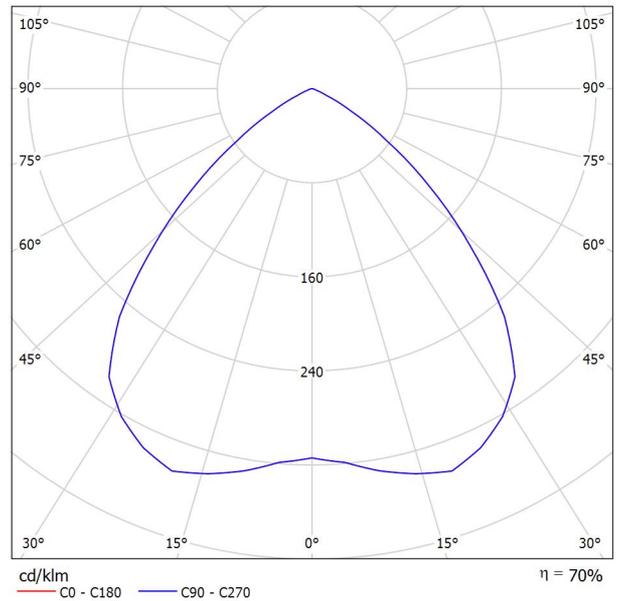
Fase	Actividad sist productivo	Código	$E_m$ -normativa(lux)	Área (m <sup>2</sup> )	$E_m$ ponderado (lux)
II	6	17.3	200	34,57	23,20
	7	8.3	200	73,37	49,24
	8	17.4	300	13,5	13,59
	9+10	17.5	50	22,39	3,76
	Pasillos Fase II	1.1	100	154,17	51,73
	Cinta Fase II	17.5	50	0	0,00
	TOTAL				298
III	11	17.4	300	25,52	11,67
	12	17.4	300	23,71	10,84
	13	13.8	300	76,62	35,04
	14	13.8	300	13,46	6,16
	15	17.3	200	24	7,32
	16	13.15	750	6	6,86
	17	13.15	750	12,24	13,99
	Pasillos Fase III	1.1	100	389,59	59,39
	Cinta Fase III	17.5	50	84,86	6,47
TOTAL				656	157,74
IV	18	17.7	500	26,2	25,69
	19	13.16	2000	15,18	59,54
	21	4.2	300	32,2	18,95
	Pasillos Fase IV	1.1	100	421,08	82,58
	Cinta Fase IV	17.5	50	15,22	1,49
	TOTAL				509,88

## **ANEXO 3. LUMINARIA**

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



Emisión de luz 1:



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

Emisión de luz 1:

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

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

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

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

Integrierte Universal-Aluminium-Montageschiene. Anschlußfertig verdrahtet mit wärmebeständigen Leitungen, fest montierte Schraubanschlussschleife 5 x 4 mm<sup>2</sup>. Leitungseinführung durch Kabelverschraubung PG16. Durchgangsverdrahtung über ausbrechbare Öffnung für zweite PG16-Verschraubung möglich.

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

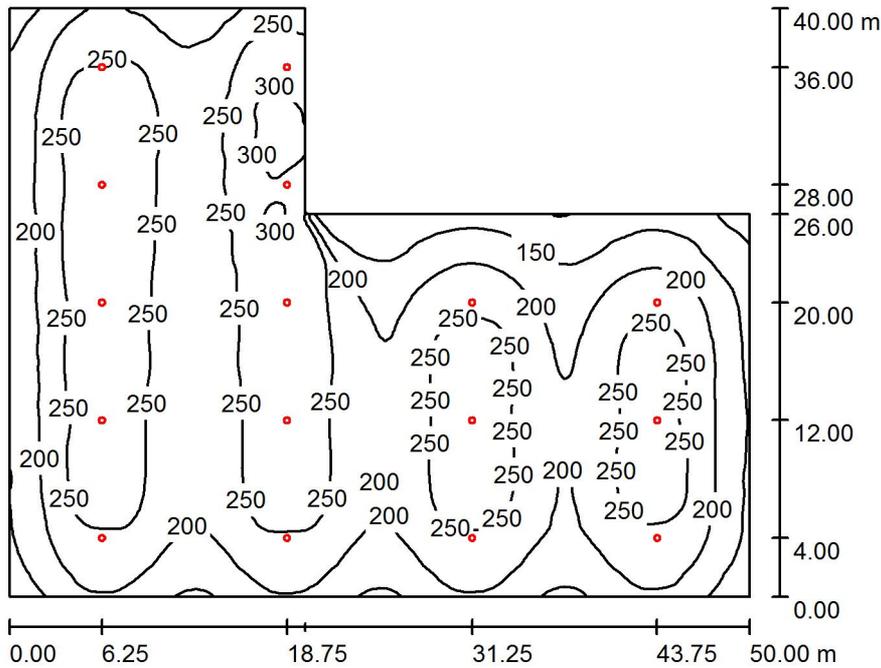
Offene Ausführung:  
Zwangsventilation im Reflektor/Leuchtenkörper durch ausbrechbare Öffnungen im Kunststoffgehäuse oberhalb der Keramikfassung E 40 erlaubt den Einsatz in Umgebungstemperaturen bis 45°C. Gleichzeitiger Selbstreinigungseffekt durch vertikale Staubableitung.

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

IP 22 (IP54), Schutzklasse I, VDE

## **ANEXO 4. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL**

## Fábrica de moneda metálica / Resumen



Altura del local: 9.000 m, Altura de montaje: 9.000 m, Factor mantenimiento: 0.50

Valores en Lux, Escala 1:514

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	225	80	323	0.354
Suelo	30	223	100	301	0.448
Techo	70	71	48	137	0.671
Paredes (6)	80	101	49	1278	/

### Plano útil:

Altura: 0.850 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

### Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ (Luminaria) [lm]	$\Phi$ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	16	DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN (1.000)	38934	55500	420.0
			Total: 622951	Total: 888000	6720.0

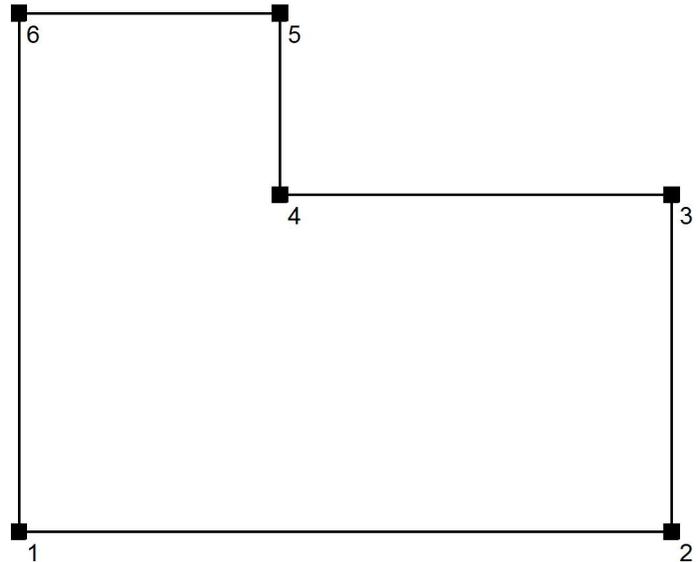
Valor de eficiencia energética:  $4.25 \text{ W/m}^2 = 1.89 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base: 1580.00 m<sup>2</sup>)

### Fábrica de moneda metálica / Protocolo de entrada

Altura del plano útil: 0.850 m  
 Zona marginal: 0.000 m

Factor mantenimiento: 0.50

Altura del local: 9.000 m  
 Base: 1580.00 m<sup>2</sup>

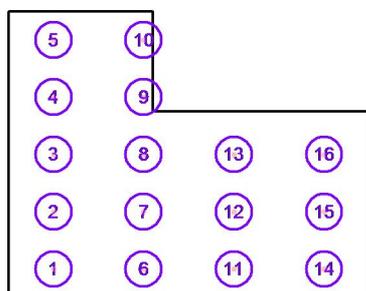


Superficie	Rho [%]	desde ( [m]   [m] )	hacia ( [m]   [m] )	Longitud [m]
Suelo	30	/	/	/
Techo	70	/	/	/
Pared 1	80	( 0.000   0.000 )	( 50.000   0.000 )	50.000
Pared 2	80	( 50.000   0.000 )	( 50.000   26.000 )	26.000
Pared 3	80	( 50.000   26.000 )	( 20.000   26.000 )	30.000
Pared 4	80	( 20.000   26.000 )	( 20.000   40.000 )	14.000
Pared 5	80	( 20.000   40.000 )	( 0.000   40.000 )	20.000
Pared 6	80	( 0.000   40.000 )	( 0.000   0.000 )	40.000

### Fábrica de moneda metálica / Luminarias (lista de coordenadas)

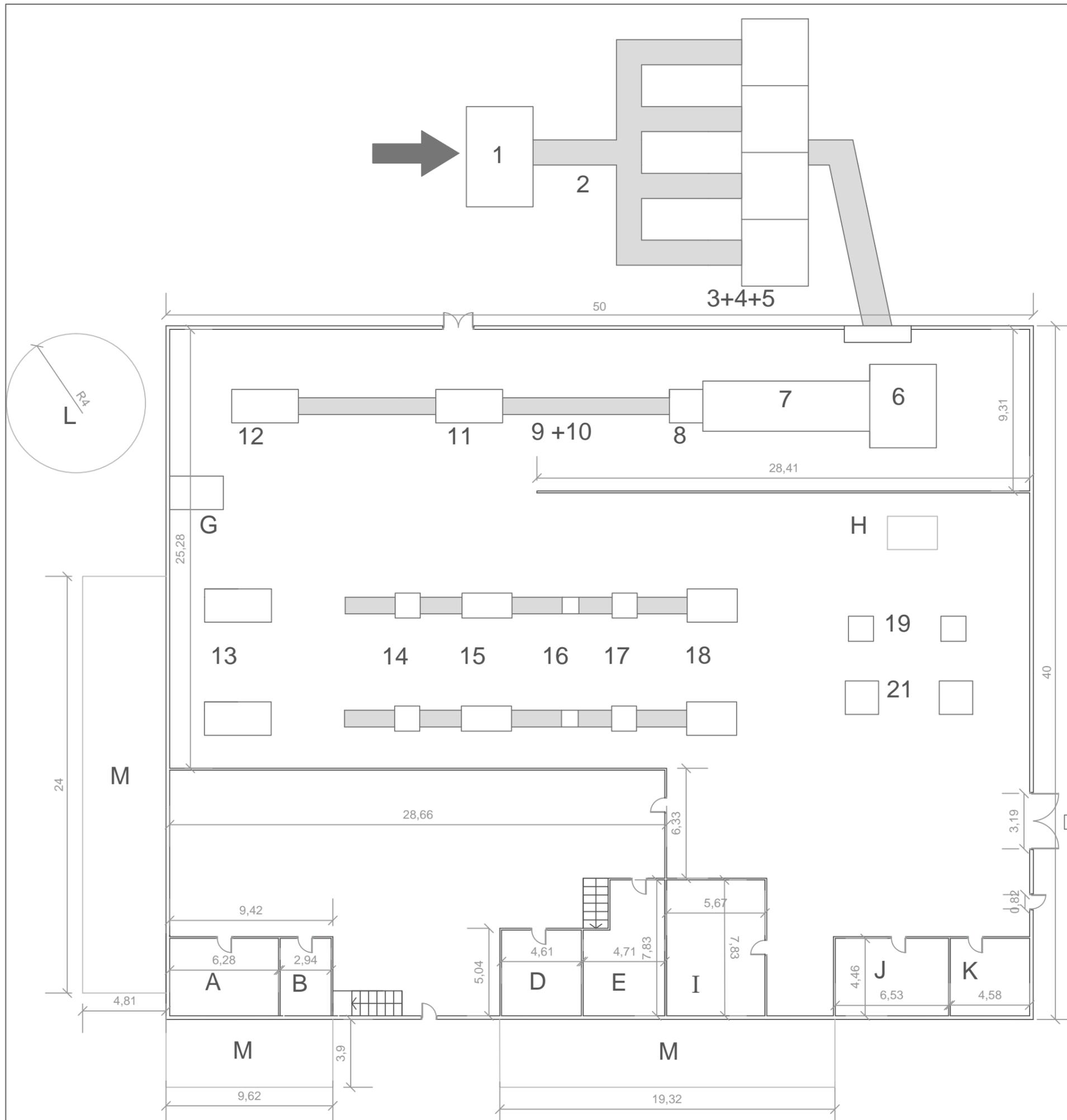
#### DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN

38934 lm, 420.0 W, 1 x 1 x HST 400W (Factor de corrección 1.000).



N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	6.250	4.000	9.000	0.0	0.0	90.0
2	6.250	12.000	9.000	0.0	0.0	90.0
3	6.250	20.000	9.000	0.0	0.0	90.0
4	6.250	28.000	9.000	0.0	0.0	90.0
5	6.250	36.000	9.000	0.0	0.0	90.0
6	18.750	4.000	9.000	0.0	0.0	90.0
7	18.750	12.000	9.000	0.0	0.0	90.0
8	18.750	20.000	9.000	0.0	0.0	90.0
9	18.750	28.000	9.000	0.0	0.0	90.0
10	18.750	36.000	9.000	0.0	0.0	90.0
11	31.250	4.000	9.000	0.0	0.0	90.0
12	31.250	12.000	9.000	0.0	0.0	90.0
13	31.250	20.000	9.000	0.0	0.0	90.0
14	43.750	4.000	9.000	0.0	0.0	90.0
15	43.750	12.000	9.000	0.0	0.0	90.0
16	43.750	20.000	9.000	0.0	0.0	90.0

## ANEXO 5. PLANOS



# ELEMENTOS

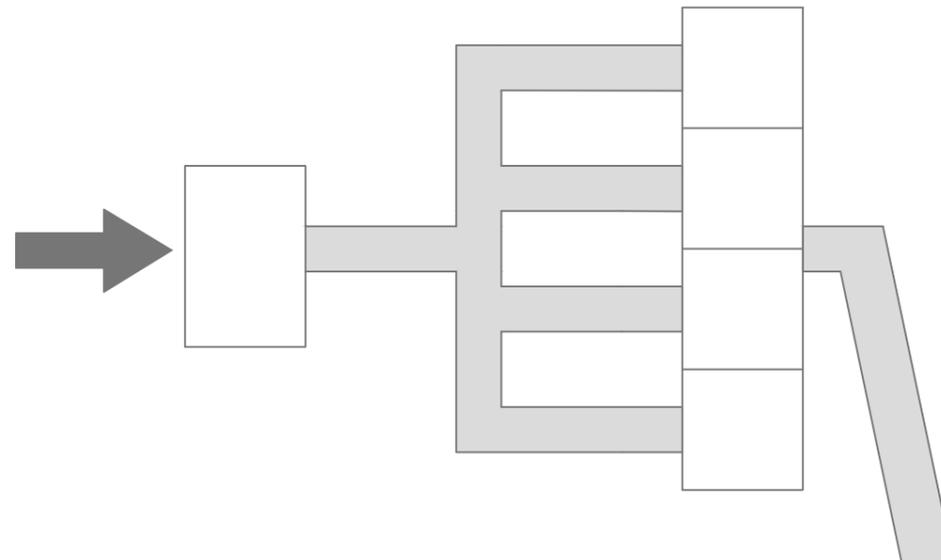
## Proceso productivo

1. Recepción materia prima
2. Transporte a almacén
3. Almacenamiento
4. Dosificación
5. Mezcla
6. Fundición
7. Moldeado
8. Corte
9. Enfriamiento
10. Limpieza
11. Aplanamiento I
12. Aplanamiento II
13. Troquelado
14. Rebordeado
15. Recocido
16. Decapado y pulido
17. Secado
18. Selección
19. Acuñación
20. Control de calidad
21. Empaquetado

## Servicios

- A. Vestuarios
- B. Baños
- C. Comedor
- D. Sala primeros auxilios
- E. Oficinas
- F. Laboratorio
- G. Almacén prod. intermedio
- H. Almacén de refundición
- I. Almacén prod. acabado
- J. Almacén maquinaria y herramientas
- K. Taller
- L. Gestión de residuos
- M. Aparcamiento

Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente. Planta de producción de moneda metálica		
	Nombre del plano Plano de distribución planta baja	Número del plano 1
	Autor M <sup>a</sup> Cristina Domínguez López	Curso académico 2015-2016
	Tutor M <sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana	Escala 1:150
Nombre del centro E.T.S.de Ingenieros Industriales		



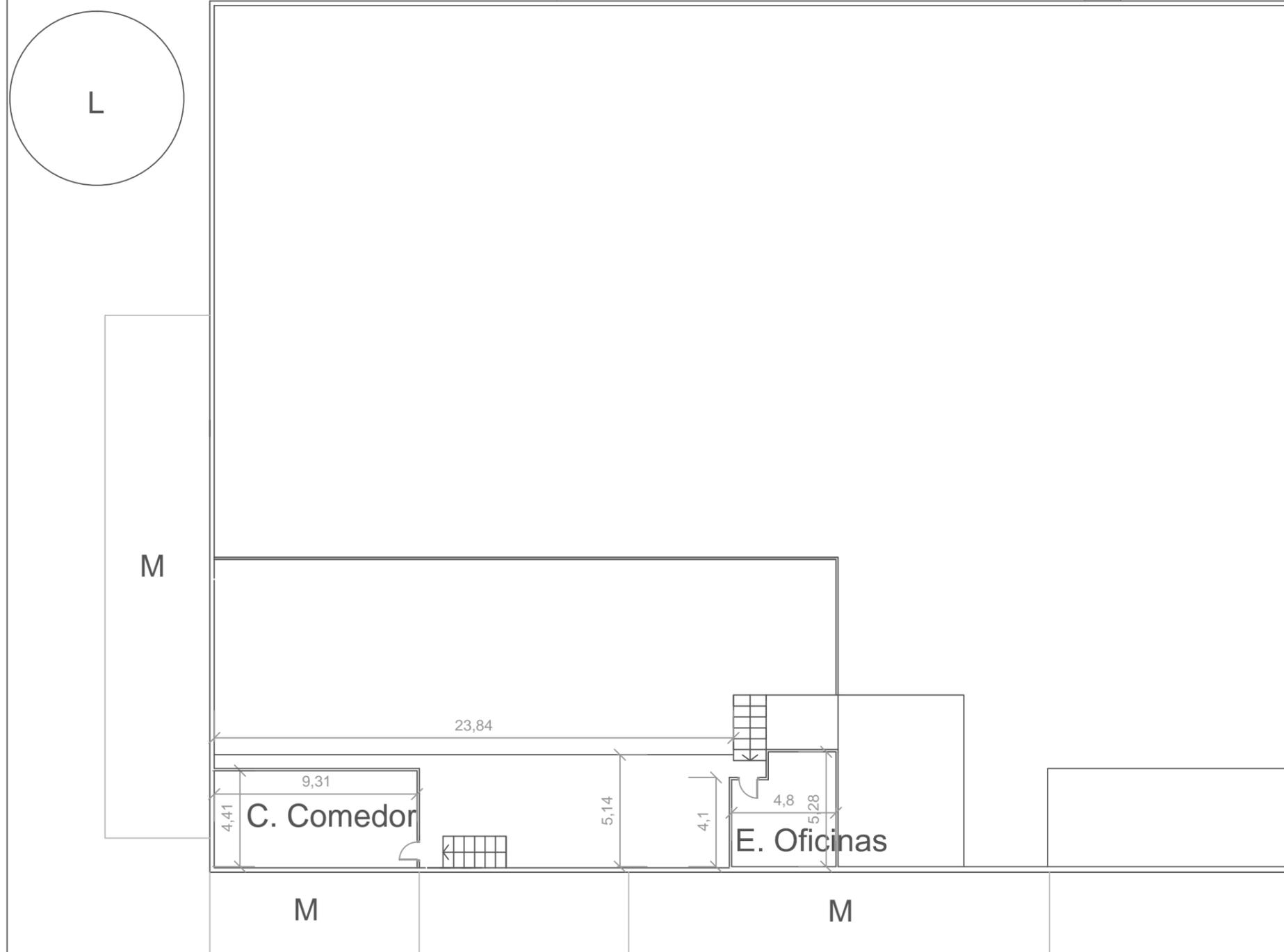
## ELEMENTOS

### Proceso productivo

1. Recepción materia prima
2. Transporte a almacén
3. Almacenamiento
4. Dosificación
5. Mezcla
6. Fundición
7. Moldeado
8. Corte
9. Enfriamiento
10. Limpieza
11. Aplanamiento I
12. Aplanamiento II
13. Troquelado
14. Rebordeado
15. Recocido
16. Decapado y pulido
17. Secado
18. Selección
19. Acuñación
20. Control de calidad
21. Empaquetado

### Servicios

- A. Vestuarios
- B. Baños
- C. Comedor
- D. Sala primeros auxilios
- E. Oficinas
- F. Laboratorio
- G. Almacén prod. intermedio
- H. Almacén de refundición
- I. Almacén prod. acabado
- J. Almacén maquinaria y herramientas
- K. Taller
- L. Gestión de residuos
- M. Aparcamiento



Diseño y simulación de un sistema de iluminación natural energéticamente eficiente. Planta de producción de moneda metálica		
	Nombre del plano Plano de distribución planta 1ª	Número del plano 2
	Autor Mª Cristina Domínguez López	Curso académico 2015-2016
	Tutor Mª Cristina Santamarina Siurana	
Nombre del centro E.T.S.de Ingenieros Industriales	Escala 1:150	

