



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

AUTOR: SÁNCHEZ MARTÍNEZ, JOSE CARLOS

TUTORA: SANTAMARINA SIURANA, MARÍA CRISTINA

COTUTOR:

Curso Académico: 2013-14

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de iluminación natural en una planta de producción de aceite de oliva situada en el municipio de Utiel, provincia de Valencia.

En la primera parte se analizará el contexto de la producción de aceite de oliva. Además se presentará la planta de producción objeto de estudio detallando su ubicación, distribución en planta, estructura y proceso productivo.

La segunda parte introduce los sistemas de iluminación y en particular los de iluminación natural. Se expondrán los distintos tipos que existen así como las ventajas de éstos sobre la iluminación artificial.

La tercera parte consistirá en el diseño del sistema de iluminación natural. Para ello se elaborarán una serie de propuestas basándose en los sistemas de aprovechamiento de luz natural antes mencionados. La determinación de superficies iluminantes se realizará a partir del método analítico que fundamenta la norma DIN 5034 de iluminación natural en el interior de recintos. A posteriori se valorarán las propuestas simulando su ambiente lumínico interior mediante el software específico de libre acceso (DIALux).

Finalmente se estudian las limitaciones prácticas y las ventajas de las propuestas al objeto de seleccionar una de ellas y se realiza un estudio sobre la viabilidad económica de la misma así como de su eficiencia energética

PRÓLOGO

El principal motivo por el cual he decidido desarrollar este Trabajo de Fin de Grado ha sido gracias a cursar la asignatura de construcción y arquitectura industrial de la rama de Diseño y Seguridad industrial del Grado en Ingeniería Química. Esta rama y en particular esta asignatura me hicieron darme cuenta de que el Ingeniero Químico no tiene porque renunciar a este tipo de proyectos de ingeniería.

En cuanto a este proyecto en particular me ha resultado realmente interesante el poder diseñar y estudiar un sistema de iluminación natural y adquirir los conocimientos que esto conlleva. Con ello he empezado a adentrarme en el diseño industrial y he podido comprobar el gran abanico de posibilidades de éste para la labor del ingeniero.

Finalmente quiero agradecer la gran labor de seguimiento de mi tutora sin la que este proyecto no habría sido posible.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
1. OBJETIVOS.....	5
2. ACEITE DE OLIVA.....	6
2.1 Contexto económico español del aceite de oliva.....	6
3. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA.....	9
3.1 Proceso productivo.....	9
3.1.1 Distribución en planta.....	14
3.1.2 Ubicación de la planta.....	15
4. ILUMINACION.....	17
4.1 Tipos de iluminación.....	17
4.2 Sistemas de iluminación natural.....	19
4.3 Requerimientos de la planta.....	20
4.4 Métodos de cálculo.....	22
4.4.1 Método analítico.....	22
4.4.2 Eficiencia energética en iluminación.....	25
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	26
5.1 Introducción.....	26
5.2 Establecimiento de los requerimientos de la planta.....	27
5.3 Estimación de superficie teórica de aperturas.....	28
5.4 Presentación de las propuestas.....	30
5.5 Determinación de los niveles de iluminación en los planos de trabajo.....	34
5.6 Selección de la propuesta más adecuada.....	45
5.7 Desarrollo de la propuesta seleccionada.....	49
5.8 Iluminación artificial.....	54
5.9 Eficiencia energética con el sistema de iluminación natural.....	58
6. Análisis económico.....	63
6.1 Presupuesto.....	63
6.2 Balance económico.....	66
6.2.1 Iluminación artificial.....	68
6.2.2 Iluminación mixta.....	71

6.2.3	<i>Análisis económico</i>	77
7.	CONCLUSIONES.	79
8.	BIBLIOGRAFIA.....	81
9.	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Producción de aceite de oliva en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.....	7
TABLA 2. Exportación de aceite de oliva en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.....	8
TABLA 3. Iluminación de las principales ciudades Europeas y del lugar de ubicación de la planta. FUENTE: Temario de Construcción y Arquitectura Industrial.....	22
TABLA 4. Especificaciones de la norma UNE para industria de Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo. Fuente NORMA UNE 12464.1.....	27
TABLA 5. Especificaciones de la norma UNE para salas de almacenamiento y almacenes frío. Fuente NORMA UNE 12464.1.....	27
TABLA 6. Especificaciones de la norma UNE zonas de tráfico. Fuente NORMA UNE 12464.1.....	28
TABLA 7. Requerimientos de luz.....	28
TABLA 8. Cálculo de valor de iluminación media para la planta.....	29
TABLA 9. Hipótesis previas del método analítico.....	29
TABLA 10. Resultados del método analítico.....	29
TABLA 11. Datos ubicación DIALux.....	35
TABLA 12. Coeficientes de reflexión.....	35
TABLA 13. Factores de luz diurna de DIALux.....	36
TABLA 14. Valores de Ea estimados por DIALux.....	36
TABLA 15. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 1.....	39
TABLA 16. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 1.....	39
TABLA 17. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 2.....	42
TABLA 18. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 2.....	42
TABLA 19. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 3.....	45
TABLA 20. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 3.....	45
TABLA 21. Valores óptimos de los factores de iluminación.....	46
TABLA 22. Comparación de las propuestas para las horas de menor iluminación invierno a las 10:00.....	47
TABLA 23. Comparación de las propuestas para verano a las 14:00.....	47
TABLA 24. Factores de luz diurna de DIALux.....	¡Error! Marcador no definido.
TABLA 25. Datos gráficos de valores (E) propuesta seleccionada.....	52
TABLA 26. Datos gráficos de valores (E) propuesta seleccionada.....	53
TABLA 27. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 1.....	55
TABLA 28. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 2.....	56
TABLA 29. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 3.....	57
TABLA 30. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.....	58
TABLA 31. Datos gráficos de valores (E) por zonas.....	59
TABLA 32. Resultados luminotécnicos zona 1 para el sistema de iluminación mixto.....	60
TABLA 33. Resultados luminotécnicos zona 2 para el sistema de iluminación mixto.....	61
TABLA 34. Comparación de valores de eficiencia energética antes y después de instalar el sistema de iluminación natural.....	62

TABLA 35. Valores de eficiencia energética para la planta completa.	62
TABLA 36. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural.	64
TABLA 37. Cuadro de mediciones de la instalación del sistema de iluminación natural. .	65
TABLA 38. Presupuestos parciales de la instalación del sistema de iluminación natural. .	65
TABLA 39. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural.....	66
TABLA 40. Potencias parciales y total.	67
TABLA 41. Coste del consumo en iluminación empleando solo artificial.....	69
TABLA 42. Cuadro de precios descompuestos renovación luminarias.....	70
TABLA 43. Cuadro de mediciones renovación luminarias.	70
TABLA 44. Presupuesto parcial para la renovación de luminarias.	70
TABLA 45. Presupuesto Final para la renovación de luminarias.	71
TABLA 46. Coste sistemas de iluminación artificial.....	71
TABLA 47. Facturación con sistema de iluminación natural suponiendo 10% de artificial.	74
TABLA 48. Facturación con sistema de iluminación natural suponiendo 30% de artificial.	75
TABLA 49. Cuadro de precios descompuestos de mantenimiento del sistema de iluminación natural.	75
TABLA 50. Cuadro de mediciones de mantenimiento del sistema de iluminación natural..	75
TABLA 51. Presupuesto parcial de mantenimiento del sistema de iluminación natural... ..	75
TABLA 52. Presupuesto final de mantenimiento del sistema de iluminación natural..	76
TABLA 53. Gasto anual total tras instalación del sistema de iluminación natural suponiendo 10% de artificial	76
TABLA 54. Gasto anual total tras instalación del sistema de iluminación natural suponiendo 30% de artificial.	76
TABLA 55. Tabla comparativa de gastos.	77
TABLA 56. VAN y TIR.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Evolución producción de aceite de oliva en. España en los últimos años. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.	7
Figura 2. Evolución exportación de aceite de oliva en España en los últimos años. Fuente: Ministerio de agricultura, gobierno de España.	9
Figura 3. Distribución de la planta objeto de estudio.	14
Figura 4. Plano del polígono industrial NUEVO TOLLO y detalle de las parcelas seleccionadas. Fuente: Sepiva GV.	15
Figura 5. Parcela, planta y edificios anexos.	16
Figura 6. Tipos de iluminación artificial según la colocación de las aberturas.	19
Figura 7. Factor de ventanas.	24
Figura 8. Disposición de aperturas PROPUESTA 1.	31
Figura 9. Disposición de aperturas PROPUESTA 2.	32
Figura 10. Disposición de aperturas PROPUESTA 3.	33
Figura 11. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación.	35
Figura 12. Gráficos de valores (E) para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en invierno.	37
Figura 13. Gama de grises para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en invierno.	37
Figura 14. Gráficos de valores (E) para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en verano.	38
Figura 15. Gama de grises para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en verano.	38
Figura 16. Gráficos de valores (E) para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en invierno.	40
Figura 17. Gama de grises para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en invierno.	40
Figura 18. Gráficos de valores (E) para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en verano.	41
Figura 19. Gama de grises para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en verano.	41
Figura 20. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en invierno.	43
Figura 21. Gama de grises para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en invierno.	43
Figura 22. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en verano.	44
Figura 23. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en verano.	44
Figura 24. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación artificial.	49
Figura 25. Gráficos de valores (E) para la propuesta a las 10 h y 14 h en invierno.	50
Figura 26. Gama de grises para la propuesta a las 10 h y 14 h en invierno.	51
Figura 27. Gráficos de valores (E) para la propuesta a las 10 h y 14 h en verano.	51
Figura 28. Gama de grises para la propuesta a las 10 h y 14 h en verano.	52
Figura 29. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación artificial.	54
Figura 30. Iluminación artificial para la zona 1.	55
Figura 31. Iluminación artificial para la zona 2.	56
Figura 32. Iluminación artificial para la zona 3.	57
Figura 33. Disposición de las luminarias de la propuesta de iluminación artificial.	58
Figura 34. Propuesta de iluminación artificial para la zona 1.	60
Figura 35. Propuesta de iluminación artificial para la zona 1.	61
Figura 36. Discriminación horaria.	68
Figura 37. Disponibilidad de luz natural.	72

1. OBJETIVOS.

Los objetivos de este trabajo son:

- Estudiar los sistemas de iluminación natural existentes y seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades de la planta objeto de estudio.
- Diseñar el sistema de iluminación natural de una planta de producción de aceite de oliva conforme a un método científico: el método analítico. Estudiar las limitaciones prácticas y ventajas del sistema de iluminación natural comparándolas con los sistemas de iluminación artificial.
- Adquirir destreza en la utilización de software específico para proyectar instalaciones de iluminación natural de recintos.
- Estudiar la normativa vigente en materia de eficiencia energética en instalaciones de iluminación natural y aplicarla a la planta objeto de estudio.
- Justificar la viabilidad económica de la propuesta seleccionada.

2. ACEITE DE OLIVA

El aceite de oliva es un aceite vegetal de uso principalmente culinario que se extrae del fruto recién recolectado del olivo. El principal componente del aceite de oliva son los ácidos grasos, pudiendo ser estos saturados (ácido palmítico) e insaturados (ácido oleico, linoleico y α -linoleico).

Es extraído por procedimientos mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones que no produzcan la alteración del producto. Además de para su uso culinario también se ha empleado para otros fines como la fabricación de cosméticos o productos farmacéuticos entre otros.

El aceite de oliva es uno de los principales componentes de la dieta mediterránea. Por sus cualidades organolépticas (olor, color y sabor) y su capacidad antioxidante lo convierten en el mejor de los aceites tanto para uso gastronómico como para la salud. Es un alimento con alto contenido en sustancias antioxidantes y vitaminas, especialmente la vitamina E (tocoferol). También es rico en otros compuestos naturales como los carotenos y polifenoles, cuya concentración varía en función de la madurez de la aceituna y la tecnología de obtención.

2.1 Contexto económico español del aceite de oliva.

Atendiendo al marco económico del aceite de oliva, España es el primer productor y exportador mundial.

Por lo que respecta a la producción el aceite de oliva es uno de los productos más representativos de la exportación agroalimentaria española.

España es el primer productor mundial de aceite de oliva, teniendo una producción media anual en los últimos años (periodo 2009-2014) de entre 1.300.000 y 1.700.000 toneladas.

Los datos de producción de aceite de oliva en España en los últimos años se recogen a continuación:

PRODUCCIÓN EN ESPAÑA

Mes	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
OCTUBRE	0.0	6.3	18.6	6.6	8.8
NOVIEMBRE	133.1	97.8	170.2	87.7	168.9
DICIEMBRE	273.3	431.3	655.4	296.3	589.9
ENERO	457.2	548.4	577.8	158.9	480.4
FEBRERO	224.3	255.8	149.4	49.1	298.1
MARZO	264.5	44.0	33.9	10.3	206.0
ABRIL	42.0	3.6	4.4	5.1	
MAYO	7.1	4.7	5.3	4.2	
JUNIO	0.0	0.0	0.0	0.0	
JULIO	0.0	0.0	0.0	0.0	
AGOSTO	0.0	0.0	0.0	0.0	
SEPTIEMBRE	0.0	0.0	0.0	0.0	
TOTAL	1401.5	1391.9	1615.0	618.2	1752.1

TABLA1. Producción de aceite de oliva en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.

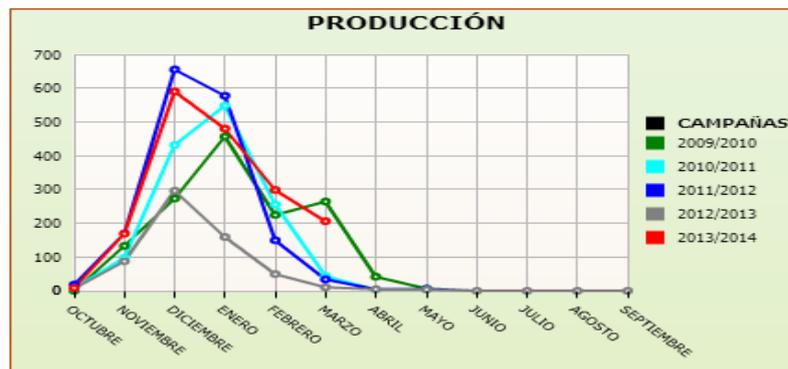


Figura 1. Evolución producción de aceite de oliva en España en los últimos años. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.

España cuenta con más 300 millones de olivos repartidos en más de 2 millones de hectáreas de distintas zonas geográficas, esta superficie cultivada representa el 25% de la superficie olivarera mundial. Además se cuenta con una amplia variedad de tipos de olivo (más de 260 variedades) que dan lugar tanto a aceites mono-varietales como a mezclas que permiten asociar las cualidades y sabores complementarios de distintas variedades.

La Comunidad Valenciana se encuentra en fase de crecimiento en cuanto a las exportaciones, con un aumento del 36,7 % en 2013, y que cuenta con una superficie de olivar de más de 92.000 hectáreas y con una producción anual media entorno a 20.000 toneladas.

Por lo que respecta a la exportación el aceite de oliva español es exportado a más de 100 países en los 5 continentes, llegando a exportarse en torno al 50% de la producción. La dirección de las exportaciones varía según se exporte a granel, dirigidas principalmente a países de la Unión Europea, o en envases inferiores a 5 litros, que tienen un mercado más selectivo dirigido directamente a consumidores, restaurantes, establecimientos y las mejores tiendas gourmet de todo el mundo.

Mes	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
OCTUBRE	49.9	79.3	82.8	68.6	78.5
NOVIEMBRE	51.1	75.1	77.3	62.3	78.6
DICIEMBRE	48.0	60.9	68.6	47.4	78.7
ENERO	58.8	56.9	59.3	43.6	85.6
FEBRERO	65.3	63.1	63.1	38.6	103.4
MARZO	69.1	69.0	74.5	38.0	90.0
ABRIL	68.1	60.3	59.5	41.0	
MAYO	67.1	76.8	80.5	43.9	
JUNIO	74.6	66.7	75.0	52.0	
JULIO	82.2	71.7	80.0	59.6	
AGOSTO	67.5	69.3	75.3	64.1	
SEPTIEMBRE	78.4	78.8	79.6	70.9	
TOTAL	780.1	827.9	875.5	630.0	514.8

TABLA 2. Exportación de aceite de oliva en España. Fuente: Ministerio de agricultura, Gobierno de España.



Figura 2. Evolución exportación de aceite de oliva en España en los últimos años. Fuente: Ministerio de agricultura, gobierno de España.

3. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA.

3.1 Proceso productivo

A continuación se describe el proceso de producción del aceite de oliva de la planta en la que se va a instalar el sistema de aprovechamiento de luz natural.

Se explicará el proceso desde la recepción de la aceituna hasta que se obtiene el producto final. El proceso utilizado es el proceso continuo mediante centrifugación:

- **Recepción y almacenamiento:** Lo principal y más importante en el proceso de producción de aceite de oliva es una buena materia prima, a partir de la cual obtener un aceite de calidad

Cien kilogramos de aceituna contienen aproximadamente entre un 40 y 60 % de aceite, un 40 y un 60 % de agua y el resto es orujo, que es prácticamente celulosa que actúa como tejido soporte.

Tras la recolección de la aceituna es transportada en camiones y almacenada en la almazara. Lo ideal sería que la aceituna fuera molida en el mismo día que llega a la planta pero esto resulta imposible por motivos de economía y organización industrial. Por ello la aceituna al llegar es almacenada en “trojes” (montones de entre 20-30 cm de altura). Se almacena en una superficie prevista al efecto.

- **Tolvas de recepción:** Para el inicio de la producción del aceite de oliva la aceituna es elevada mediante un tornillo sin fin a las tolvas. De estas tolvas la aceituna pasará por una cinta transportadora a la fase de lavado y secado de la aceituna.
- **Lavado y secado de la aceituna:** En esta fase se pretende eliminar hojas, ramillas y otras materias vegetales y minerales (tierra, polvo y piedras). Para ello se utilizará una despalladora. Una vez lavada la aceituna es muy importante que ésta se seque bien ya que la presencia de agua puede provocar una menor capacidad de extracción del aceite debido a la adhesión de ésta a la pasta de molienda.
- **Selección de la aceituna:** Lavada y secada la aceituna se procede a eliminar el destrío. Ésta pasa por una cinta transportadora sobre la que se lleva a cabo la selección de aquellas unidades que se encuentren dañadas por plagas o golpes. Esta aceituna de destrío pasa a una zona de almacenamiento específico. Éste subproducto se utiliza para la producción de un aceite de menor calidad con el fin de que la pérdida económica sea menor. Aquella que no dé tiempo a utilizar se vende.
- **Molienda:** La primera fase de producción es la molienda de la aceituna. En la aceituna el aceite se encuentra distribuido en su pulpa alojado dentro de ciertas células denominadas vacuolas. También se extraerá aceite del hueso.

La molienda consiste en romper la estructura vegetal de la aceituna y extraer el aceite. De este proceso se obtiene una pasta compuesta por una fase sólida (formada por restos de tejido vegetales) y otra fase líquida, de aceite y agua. Para la trituración de las aceitunas se utilizarán molinos metálicos. Las características de esta molienda y el grado de trituración del hueso tienen una particular importancia ya que los fragmentos de hueso harán la función de filtro natural en una posterior operación de centrifugado.

- **Batido:** Una vez se ha obtenido a partir de la molienda una pasta, es conveniente calentarla suavemente (entorno a 35°) al tiempo que se bate con una batidora de paletas de eje horizontal. Con esto se consigue la aglutinación del aceite fluido lo que permitirá en la fase de centrifugado separarlo de las partes sólidas de la pasta. El calentamiento facilita este proceso al reducir la viscosidad.
- **Centrifugado:** El centrifugado constará de dos fases:
 - **Centrifugado horizontal o decánter:** Este equipo pone en rotación la masa batida procedente de la batidora, de forma que el aceite de oliva virgen, menos denso que el agua, la piel, la pulpa y el hueso, forma un anillo central que tiene una salida independiente del resto de anillos que en su salida del decánter forma lo que se denomina alpeorajo.

- **Centrifugado vertical:** El aceite de oliva virgen que sale del decánter presenta un porcentaje de pulpa y humedad todavía importante, por lo que antes de dejarlo decantar, se le somete a una segunda centrifugación en este elemento. Esta centrífuga vertical aplica un chorro de agua en el centro que por acción de la fuerza centrífuga atraviesa el anillo de aceite de oliva virgen exterior, arrastrando gran cantidad de impurezas.
- **Filtrado:** La filtración es el proceso por el cual las partículas de la fruta de la oliva se eliminan del aceite. Si no se produce esta filtración los aceites de oliva van dejando un poso en el fondo del envase que pasado un tiempo puede ser desagradable.
- **Refinado:** Los aceites vírgenes reciben su clasificación de acuerdo con el grado de acidez y sus cualidades organolépticas o sensoriales. Los aceites de oliva virgen de acidez superior a 1,5° deben refinarse para eliminar los sabores, olores y aromas que hacen que sean excesivamente “recios”. En la fase de refinado se llevará a cabo neutralización y la desodoración del aceite.
- **Almacenamiento:** El aceite se almacenará en bidones en una zona de la planta acondicionada para evitar la oxidación. Ésta se considera una de las principales causas de pérdida de calidad del aceite de oliva y es el factor determinante para la caducidad del mismo. Se trata de un proceso que ocurre cuando el aceite está expuesto a la luz directa o se encuentra en contacto con el oxígeno. La temperatura de conservación influye sobre el proceso de oxidación y está demostrado que las bajas temperaturas pueden frenar el deterioro del aceite provocado por la oxidación. Por estas razones el aceite se conserva evitando la luz directa, el oxígeno y preservándolo en lugares frescos.
- **Embotellado y etiquetado:** Finalmente el aceite puede ser envasado, etiquetado y almacenado para su comercialización.
- **Control de calidad:** El trabajo de laboratorio para el control de calidad es muy importante, y se realizará en varias fases del proceso productivo, con el fin de llevar a cabo un control riguroso de la calidad del producto, así como poder saber de manera rápida si hay algún problema en cualquier fase del proceso.

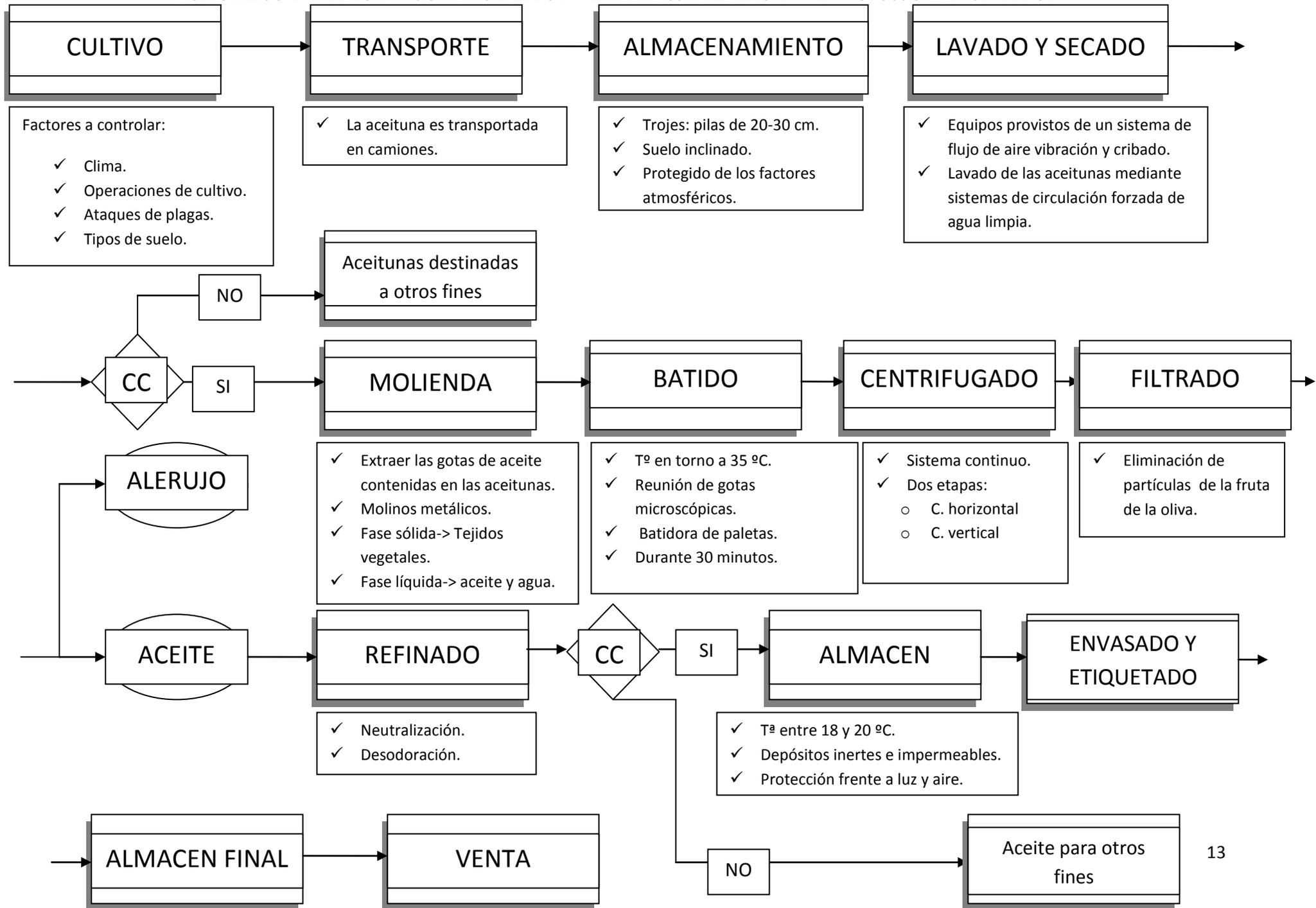
La planta objeto de estudio tiene una capacidad de producción de aceite de oliva durante la campaña de 500 L/hr. Como se puede observar en la **tabla 1** de los datos de producción en España, las campañas abarcan aproximadamente desde octubre hasta marzo. En la Comunidad Valenciana la campaña del aceite comienza el uno de noviembre extendiéndose hasta marzo, lo que suponen a efectos estimativos 150 días de producción.

La jornada laboral de estas campañas es de aproximadamente 12 horas, desde las 8:00 hasta las 20:00. Durante estos 150 días y estimando una producción de 50 L/hr:

$$P \text{ anual} = 500 \frac{L}{h} \cdot 12 \frac{h}{d} \cdot 150 \frac{d}{\text{campaña}} = 900 \text{ t de aceite por campaña}$$

En la siguiente página se adjuntan el diagrama de bloques ampliado correspondiente al proceso de producción del aceite de oliva.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA



3.1.1 Distribución en planta

El plano de la distribución en planta con dimensiones reales se puede consultar en el **Anexo 1**:

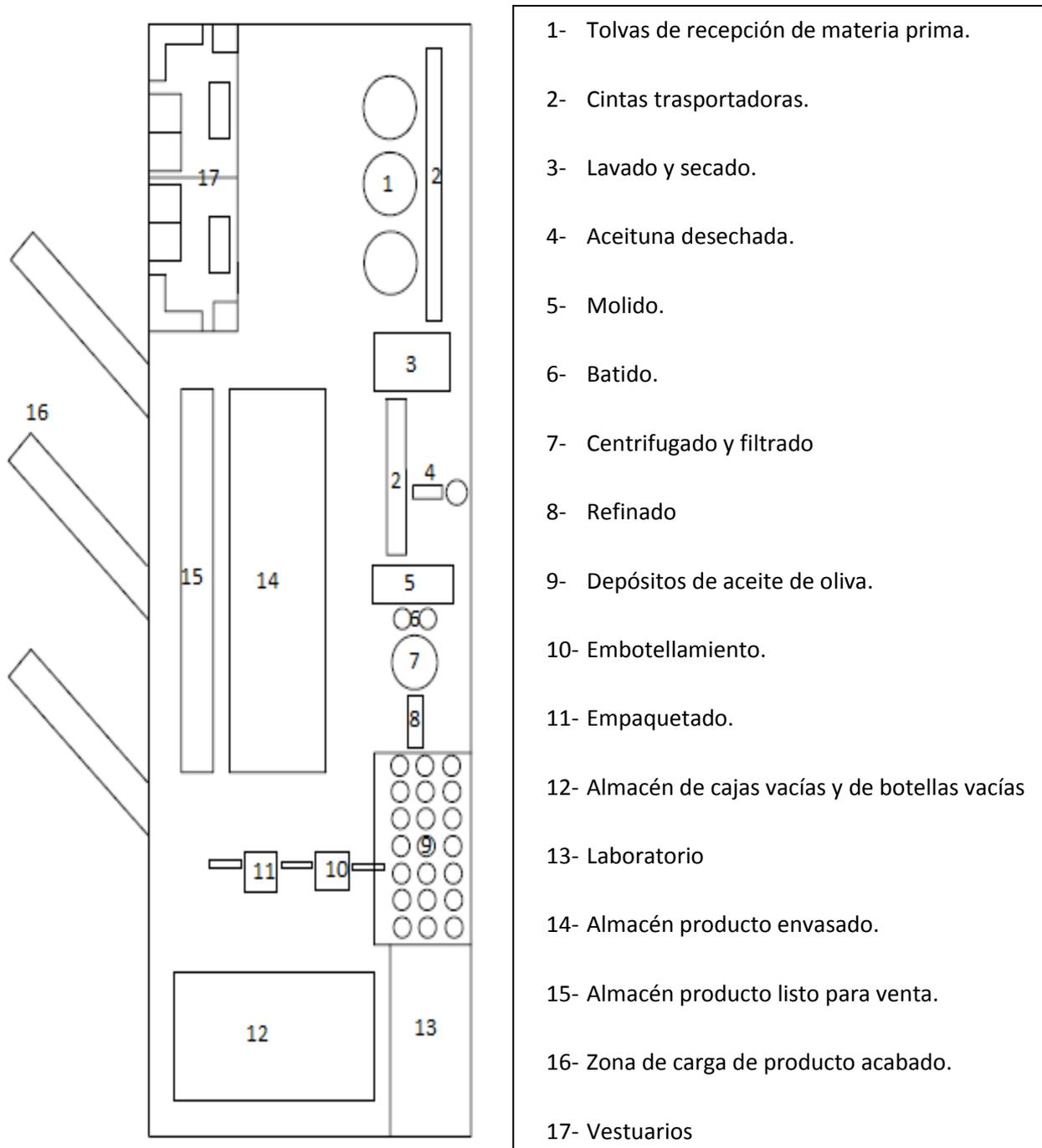


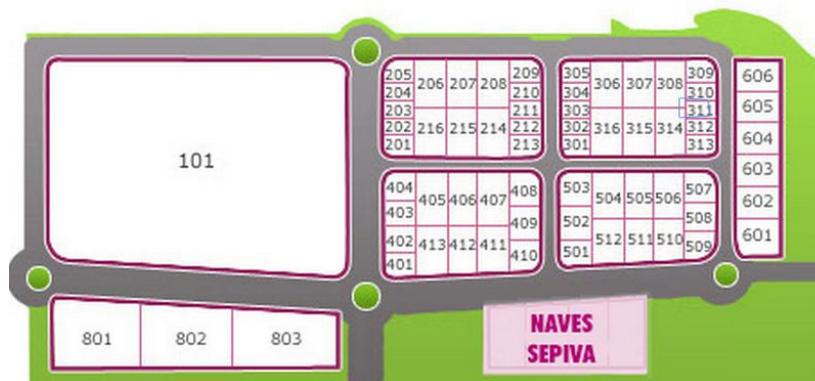
Figura 3. Distribución de la planta objeto de estudio.

Además de la planta de producción, se cuenta con una zona de recepción de aceituna y un edificio de oficinas. En cuanto a la tipología estructural de la nave.

- La estructura es a base de pórticos a dos aguas con una crujía de 5 metros y una luz de 20 metros.
- La cubierta es a base de dos aguas.
- La altura de pilares es de 8 metros y la altura de cumbrera de 9 metros.
- La superficie total construida (planta, oficinas y zona de recepción) es de 1386 m².
- Carece de sistema de iluminación natural.

3.1.2 Ubicación de la planta.

La planta está ubicada en la provincia de UTIEL, perteneciente a la Comunidad Valenciana. Ésta se sitúa en el polígono industrial NUEVO TOLLO - FASE I. Las dimensiones de la planta han requerido la agregación de las dos parcelas numeradas como 602 y 603.

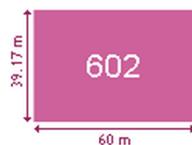


Número de la parcela: 602

Superficie: 2.350,17 m²

Precio: 122.208,84 €

Plano:



Número de la parcela: 603

Superficie: 2.350,17 m²

Precio: 122.208,84 €

Plano:

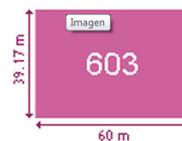


Figura 4. Plano del polígono industrial NUEVO TOLLO y detalle de las parcelas seleccionadas. Fuente: Sepiva GV.

Uniando las dos parcelas se obtiene una superficie total de 4700 m². La distribución en la parcela se puede ver con más detalle en el **Anexo 2**:

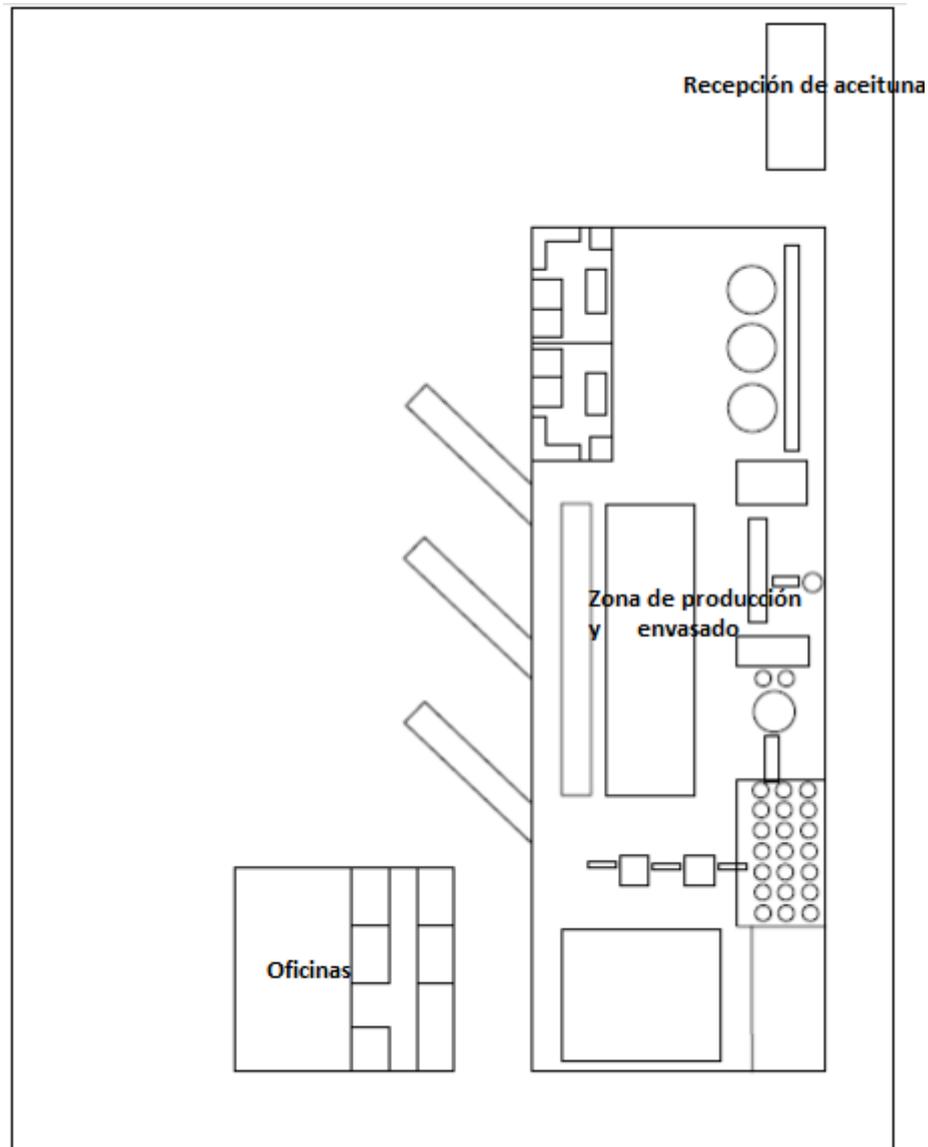


Figura 5. Parcela, planta y edificios anexos.

4. ILUMINACION.

La iluminación en los lugares de trabajo debe permitir desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores. Los niveles de luz afectan tanto a las funciones visuales fisiológicas como a las psicológicas, el confort visual conlleva una mínima fatiga visual. El empleo de la luz natural lleva consigo un importante ahorro energético así como ventajas sobre la salud humana.

El nivel de iluminación de cada zona de trabajo dependerá de la precisión de la tarea que se vaya a desempeñar, dependiendo de factores como la distancia del ojo a los objetos observados, el tamaño de los objetos, la movilidad de los objetos etc.

4.1 Tipos de iluminación.

En cuanto a la iluminación dependiendo del origen de ésta existen tres tipos básicos:

- **Iluminación artificial:** Es la fuente de luz que se suministra por fuentes luminosas artificiales.
- **Iluminación natural:** Es aquella que se obtiene por la luz diurna.
- **Iluminación mixta:** Es aquella en la que se combina la luz natural con la artificial.

Además también se puede diferenciar entre:

- **General:** Luz repartida de manera uniforme por toda la superficie de trabajo.
- **Localizada:** Luz enfocada a iluminar una zona en particular por requerir una mayor precisión.

La concepción arquitectónica de un edificio industrial (forma, volumen, cerramientos, cobertura etc.) se debe realizar intentando aprovechar al máximo las ventajas que ofrece la iluminación natural. También se deben estudiar con detalle las limitaciones de ésta al objeto de complementarla con iluminación artificial.

En este estudio se pretende alcanzar este objetivo de manera que la planta pueda iluminarse al 100% mediante iluminación natural en la mayor parte de las horas del día durante todo el año puesto que el edificio por sí mismo es un inmueble de gran valor económico.

Los beneficios económicos que supone la iluminación natural se pueden resumir en:

- Importantes ahorros de consumo de electricidad en un contexto de precios energéticos en alza.
- Retornos de la inversión.
- Aumento de la vida útil de la instalación eléctrica de iluminación y reducción de sus gastos de mantenimiento.
- Aumento de la productividad en entornos laborales.
- Posibilidad de obtención de ayudas y subvenciones, así como de financiación privilegiada para la instalación.

La priorización de la iluminación natural frente a la artificial, no sólo tiene repercusión económica. El que la zona de trabajo esté iluminada con luz natural propicia un mejor ambiente de trabajo, así como beneficios fisiológicos y psicológicos para los operarios:

- Condiciones seguras de trabajo, mejora de la salud y seguridad laboral.
- Luz cálida y color perfecto.
- Disminución de la fatiga visual.
- Aporte de luz natural: Principal fuente de vitamina D.
- Aporta imagen de sostenibilidad.

Además de los beneficios para el medio ambiente que supone no consumir energía eléctrica y consumir la luz solar, fuente inagotable de energía:

- Ayuda para consecución de objetivos de eficiencia energética.
- Mejora en la calificación energética del edificio.
- Contribuye a reducir emisiones de CO₂.

4.2 Sistemas de iluminación natural

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

- **Iluminación lateral:** La iluminación se obtiene a partir de aberturas ubicadas en fachadas laterales. En este tipo de iluminación la radiación directa que recibe el plano de trabajo situado cerca de la ventana es muy alta. Al separarse de la apertura lateral rápidamente la proporción de radiación directa disminuye aumentando la proporción de radiación difusa.
- **Iluminación cenital:** La iluminación se obtiene a partir de aberturas situadas en las cubiertas. En este tipo de iluminación se consigue una mayor distribución de la luz en el plano de trabajo debido a la altura en la que se colocan las aberturas. De esta manera la luz queda menos localizada.
- **Iluminación mixta:** En la iluminación combinada hay aberturas en fachadas y cubiertas.

Algunas disposiciones típicas de las aberturas para la obtención de luz natural son las que se muestran a continuación:

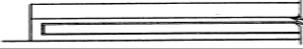
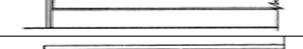
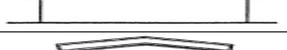
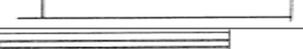
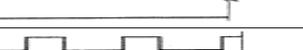
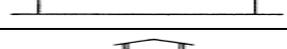
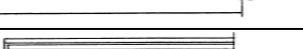
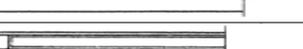
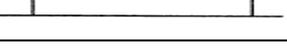
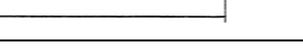
Ventanal corrido		
Ventanales		
Mansarda		
Lucernarios tendidos		
Monteras		
Linterna con lucernario cenital		
Linternas transversales con lucernario vertical		
Linternas con lucernario vertical		
Dientes de sierra		
Lucernarios verticales cubiertos paralelamente a los pares		

Figura 6. Tipos de iluminación artificial según la colocación de las aberturas.

En nuestro caso de estudio y como se verá más adelante se llevará a cabo la presentación de varias propuestas de iluminación natural de los tipos de iluminación natural antes mencionados.

4.3 Requerimientos de la planta.

El sistema de iluminación natural, además de por cuestiones económicas, se diseñará para satisfacer principalmente:

- **Prestaciones visuales:** en el que los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos. Estos requerimientos se hayan recogidos en los respectivos marcos normativos vigentes.
- **Seguridad:** el hecho de que se pretenda ahorrar energía y que se anteponga la iluminación natural frente a la artificial nunca puede suponer una disminución en las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

Para el diseño del sistema de iluminación natural primero se determinaran los parámetros que se pretenden alcanzar mediante el sistema a instalar. Para esto se ha de recurrir a la normativa y legislación vigente que ofrece información acerca de los requisitos luminotécnicos que se deben cumplir en los espacios de trabajo.

A la hora de realizar el diseño del sistema de iluminación natural principalmente se van a estudiar:

- I. **Valor medio de iluminación en el plano de trabajo de la planta (E_m)**→ Nivel de luxes que se pretende alcanzar en las distintas zonas dependiendo de la tarea que se lleve a cabo.
El nivel de iluminación de cada punto se denomina “Iluminación horizontal interior en un punto (E_i)” esto es, la iluminación en dicho punto considerándolo contenido en una superficie situada en el plano de trabajo. A partir de estos valores de “ E_i ” se establece la “iluminación media horizontal interior (E_m)” correspondiente a la media de las iluminaciones de los distintos puntos, distribuidos de manera uniforme en el interior de la planta en un determinado plano a estudiar.
- II. **Uniformidad de la iluminación (E_{min}/E_{max})**→Relación entre el valor de iluminación máxima y mínima de un puesto de trabajo con el fin de evitar contrastes de luz muy grandes.
- III. **Deslumbramientos**→ Ángulo de incidencia de la radiación directa con respecto al plano ficticio horizontal que corresponde a la altura de los ojos del trabajador.

La determinación de los requisitos de **valores medios de iluminación (E_m)** en el plano de trabajo se realizará conforme a la norma **UNE 12464.1** “Norma europea sobre la iluminación para interiores”. La norma UNE 12464.1 ofrece tablas específicas para actividades industriales y artesanales.

Atendiendo ahora a la **uniformidad de la iluminación (E_{min}/E_{max})** y **deslumbramientos** es el RD 486/1997, que deroga y se basa en la OGSHT, el que en su ANEXO IV, en el apartado 4 determina lo siguiente.

“La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, además, en cuanto a su distribución y otras características, las siguientes condiciones:

- a) La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible. Se recomienda que la relación entre los valores mínimo y máximo de los niveles de iluminación existentes en el área del puesto donde se realiza la tarea no sea inferior a 0,8, se busca con esto mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores.*
- b) Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores.*
- c) Se evitarán los deslumbramientos directos producidos por la luz solar...*
- d) Se evitarán, asimismo, los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de operación o sus proximidades”*

Este RD 486/1997 establece una uniformidad de iluminación de 0.8, este factor está referido a un puesto de trabajo en concreto. Para una nave industrial es un valor muy elevado por lo que se tomará para el estudio de la propuesta la iluminación natural como buena una uniformidad entre 0.3 y 0.4.

Es importante mencionar que a la hora de estudiar los deslumbramientos, no hay ningún método establecido de uso general y que únicamente se establece que en ángulo entre la entrada de luz y plano ficticio horizontal del trabajador sea más de 30° para evitarlos.

4.4 Métodos de cálculo.

4.4.1 Método analítico

Establecidos los parámetros que se quiere alcanzar, el siguiente paso será llevar a cabo el cálculo de la superficie teórica de aperturas que se han de disponer para cumplirlos.

El método expuesto para esto es el método del rendimiento del Dr. Frühling, que fundamenta la norma alemana DIN 5034, de iluminación natural de recintos. Este método de cálculo es el conocido como método analítico.

Para la determinación de estas superficies se fijará un nivel de iluminación exterior horizontal mínimo (E_a). El valor aconsejado es $E_a = 3000$ luxes. Este es un valor conservador de iluminación exterior ya que como se observa en la **tabla 3** algunos niveles medios de iluminación difusa de la bóveda celeste de las principales ciudades tomados para el día más oscuro del año: 10 de diciembre, 10:00 a.m., con cielo cubierto. Ciudades entre 60° y 30° Latitud Norte son:

Ciudad	Latitud	Intensidad solar (lux)
Alicante	37	9.650
Barcelona	42	8000
Bilbao	43	7800
Bremen	53	4300
Burdeos	45	7200
Cádiz	36	10000
Canarias	29	12400
Estocolmo	59	2650
Helsinki	60	2450
Lisboa	38	9350
Londres	52	4600
Lyon	46	6800
Madrid	41	8450
Paris	49	5750
Viena	48	6100
Zurich	47	6450
Utiel	39	8550

TABLA 3. Iluminación de las principales ciudades Europeas y del lugar de ubicación de la planta. FUENTE: Temario de Construcción y Arquitectura Industrial.

Como se observa estos valores de iluminación exterior son mayores de 3000 luxes. Por ello cuando se obtengan los resultados habrá que tener en cuenta que se ha trabajado bajo condiciones conservadoras.

Para el empleo del método analítico, se utilizarán los requerimientos de iluminación obtenidos de la norma **UNE 12464.1**.

El valor de la superficie de aperturas se despejara a partir de la **ecuación 1** que relaciona la iluminación media interior con el resto de parámetros:

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

De ésta despejando se obtiene la **ecuación 2** para el cálculo de la superficie de aperturas:

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_s}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} \quad (2)$$

E_m → El nivel de iluminación horizontal media deseado en interior en el plano de trabajo.

E_a → El nivel de iluminación horizontal exterior.

f → Factor de ventanas.

f' → Factor característico de reducción ventana-muro.

η → Rendimiento del recinto.

S_v → Superficie de ventanas.

S_s → Superficie de suelo del recinto.

Rendimiento del recinto (η): El rendimiento del recinto está directamente relacionado con el factor de reflexión de la planta. Éste tiene en cuenta que solamente una parte del flujo luminoso que entra por las aperturas incidirá sobre el plano de trabajo como radiación directa, el resto incidirá sobre otras superficies que reflejarán en parte la luz sobre el plano de trabajo. El Dr. Frühling aconseja valores de rendimiento en torno al 40% y 50% para recintos de paredes claras..

Factor de ventanas(f): Este factor es un parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta un ventanal en función de su disposición en la edificación, si el acceso a la luz por el ventanal esta impedido por edificios este factor de ventanas disminuye. Se determina a través de la expresión:

$$f = \frac{\alpha}{180} \quad (3)$$

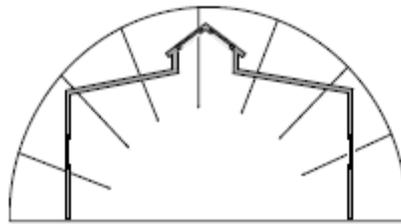


Figura 7. Factor de ventanas.

Factor de reducción ventana-muro (f’): Este factor tiene en cuenta la posible reducción de la radiación solar por el grosor del cerramiento de fachada. Esta disminución es mayor cuanto menor es la relación entre la altura y la longitud de la ventana y el espesor del cerramiento respectivamente.

Iluminación horizontal interior (E_m): Nivel de luxes que se pretende alcanzar en las distintas zonas de trabajo. En las diferentes zonas de la planta habrá distintos requerimientos de iluminación dependiendo de a que se dedique cada espacio.

Iluminación horizontal exterior (E_a): Iluminación procedente de la bóveda celeste. De forma generalizada los métodos que se utilizan para diseñar sistemas de iluminación en edificaciones, asumen un nivel de iluminación difusa sobre la superficie horizontal situada al aire libre de 3000 luxes.

Superficie de ventanas (S_v) y superficie del suelo del recinto (S_s): La primera es la que se quiere obtener para poder conocer una primera aproximación de la superficie de aperturas requerida, y la segunda es la correspondiente a la superficie de la zona que se quiere iluminar.

4.4.2 Eficiencia energética en iluminación.

Determinados los valores de iluminación media mediante la norma **UNE 12464.1** se determinará a partir el método analítico la estimación teórica de aperturas que se deben colocar para cumplir con estos. El siguiente paso consiste en elaborar el ambiente lumínico de la planta a partir del software de simulación de luz. Una vez se tienen todos los resultados se está en disposición de llevar a cabo el cálculo de eficiencia energética.

A partir del método que ofrece el CTE “Código Técnico de Edificación” se va a determinar la eficiencia energética de la instalación de iluminación. Éste hace obligatorio el aprovechamiento de luz natural, mediante la instalación y utilización de sistemas de control y regulación, en aquellas zonas en las que la aportación de luz natural así lo permita.

Atendiendo al ámbito de aplicación el CTE excluye el uso industrial. Aun así será este sistema el que se utilice para llevar a cabo el cálculo ya que no hay un método concreto para el uso industrial.

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de un recinto, se determina como el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

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

Siendo

P → potencia de las luminarias más el equipo auxiliar [W].

S → superficie iluminada [m²].

E_m → iluminación media mantenida [lux].

El número de puntos mínimo a considerar en el cálculo de la iluminancia media (E_m) será:

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

$L \rightarrow$ Longitud del local.

$A \rightarrow$ Anchura del local.

$H \rightarrow$ Distancia del plano de trabajo a las luminarias.

- Para $k < 1$ se tomarán 4 puntos.
- Para $2 > k > 1$ se tomaran 9 puntos.
- Para $3 > k > 2$ se tomaran 16 puntos.
- Para $k > 3$ se tomaran 25 puntos.

El programa de simulación tomará un número de puntos mucho mayor que el mínimo que marca la norma.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

5.1 Introducción.

Debido a que la variable con la que se trabaja principalmente es la bóveda celeste, por el factor cambiante de esta, se podrá aprovechar o no la luz natural dependiendo de las condiciones que presente.

La estimación del nivel de iluminación que se alcanza en el interior de las edificaciones sobre la superficie horizontal ubicada a 0,85 m. del suelo (plano de trabajo) viene determinada por la cantidad de radiación difusa de la bóveda celeste e_v , la luz reflejada por la superficie de los edificios e_e , y la luz reflejada por la superficie del terreno adyacente a la ventana e_t .

Para la zona donde se ha propuesto situar la planta de las 8760 horas que tiene el año, 4930 son de luz (día), de estas solo 3416 cuentan con un nivel de iluminación (difusa) superior o igual a 3000 luxes. Por lo tanto es posible utilizar los sistemas de iluminación natural, como máximo, por un periodo equivalente al 69,23% del total de horas de luz.

5.2 Establecimiento de los requerimientos de la planta

Dependiendo de la actividad que se vaya a desempeñar, se tendrán distintos requerimientos de luz en la planta. La planta se dividirá para su estudio en:

- Línea de producción.
- Zona de almacenamiento
- Zonas de paso

Para la línea de producción, a partir de la norma **UNE 12464.1**, en el apartado de “actividades industriales y artesanales” en concreto para “Productos alimenticios e industrias de alimentos”:

Productos alimenticios e industria de alimentos.		
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	Em lux
1	Zonas de trabajo en general	200
2	Clasificación y lavado de productos	300
3	Zonas de trabajo críticas	500
4	Corte y clasificación de frutas y vegetales	300
5	Fabricación de alimentos delicatessen, puros y cigarrillos y trabajos de oficina.	500
6	Inspección de vidrios y botellas, control de productos, clasificación y decoración.	500
7	Laboratorios	500
8	Inspección de colores productos	1000

TABLA 4. Especificaciones de la norma UNE para industria de Productos alimenticios e industria de alimentos de lujo. Fuente NORMA UNE 12464.1

Para la zona de almacenes y las zonas de paso atendiendo al apartado de “Zonas de tráfico y áreas comunes de edificios”:

Salas de almacenamiento, almacenes frío.		
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	Em lux
1	Almacenes y cuartos de almacén	100
2	Manipulación de paquetes y expedición	300

TABLA 5. Especificaciones de la norma UNE para salas de almacenamiento y almacenes frío. Fuente NORMA UNE 12464.1

Zonas de tráfico		
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	Em lux
1	Áreas de circulación y pasillos	100
2	Escaleras, cintas transportadoras, rampas/tramos de carga	150

TABLA 6. Especificaciones de la norma UNE zonas de tráfico. Fuente NORMA UNE 12464.1

A partir de estas tablas se han establecido las necesidades lumínicas de cada una de las zonas de la planta objeto de estudio, éstas quedan recogidas en la siguiente tabla:

Zona	Em (luxes)
Zona de producción	225
Zona de almacenes	100
Zonas de paso	50

TABLA 7. Requerimientos de luz.

NOTA: Para la zona de producción se tomará un valor intermedio de iluminación entre la actividad de “Zonas de trabajo en general” que requiere 200 luxes y la correspondiente a “Corte y clasificación de frutas y vegetales” que requiere 300 luxes. De esta manera se establecerá un valor medio de iluminación de 225 luxes.

5.3 Estimación de superficie teórica de aperturas.

El cálculo para la estimación de superficie de aperturas teórico se realizará para los supuestos de iluminación lateral, cenital y mixta. Para el cálculo se va a emplear el método analítico:

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

$$S_v = \frac{E_m \cdot S_s}{E_a \cdot f \cdot f' \cdot \eta} \quad (2)$$

Para el E_m se ha tomado un valor ponderado calculado a partir de los requerimientos de luz de las zonas estudiadas y de la superficie que estas ocupan:

ZONA	Em(lux)	Superficie(m ²)
Línea de producción	250	345
Almacenamiento	100	530
Zonas de paso	50	74
Total	150	949

TABLA 8. Cálculo de valor de iluminación media para la planta

Antes de empezar el cálculo se han tomado una serie de hipótesis previas:

	Hipótesis
η	0,3-0,4
Longitud(m)	58
Alfa	6
Ea(lux)	3000
Em(lux)*	150
f'	1
f lucer	0,967
f venta	0,5
Ss (m ²)	949

TABLA 9. Hipótesis previas del método analítico.

Aplicando el método la estimación teórica de aperturas para cada uno de los tipos de iluminación se obtiene:

	Resultados
Sv(m ²) lateral	237.25-316.33
Sv(m ²) cenital	122.66-163.54
Sv(m ²) mixta	179.95-239.93

TABLA 10. Resultados del método analítico.

5.4 Presentación de las propuestas

Para obtener una iluminación lo más uniforme posible en las propuestas que se van a presentar, la disposición de las ventanas cumplirán en la medida de lo posible estos aspectos:

1. **Altas y con poca altura de pared sobre el dintel:** Cuantas más altas se conseguirá una mayor uniformidad. Con ventanas altas se iluminan mejor locales profundos y se consigue iluminar los puntos más profundos con suficiente ángulo de incidencia.
2. **Orientadas al Sur:** Las ventanas deben estar orientadas al sur ya que, en general, las ventanas orientadas al Sur reciben la iluminación directa desde el amanecer hasta el atardecer, las orientadas al Oeste solo permiten el ingreso de la radiación directa desde el amanecer hasta el mediodía, las ubicadas hacia el Este desde el mediodía hasta el atardecer y las emplazadas hacia el Norte no reciben aporte de iluminación directa, solo reciben iluminación difusa y reflejada.
3. **Centradas en la pared en que se ubican:** Con el fin de aprovechar al máximo la luz que incida sobre ellos es conveniente que las aperturas se coloquen lo más centrado posible en la superficie en la que se ubiquen.

Aun con estas premisas siempre dependerá de cada planta la mejor manera de situar las aperturas para lograr el mejor aprovechamiento de la iluminación natural.

Con el fin de apreciar de manera clara donde se van a colocar las aperturas en cada una de las propuestas, se mostraran imágenes del modelado 3D. A continuación se presentan las tres propuestas que se van a analizar:

Propuesta 1

La primera propuesta consistirá en un sistema de iluminación lateral con la colocación de las aperturas en las fachadas laterales. En esta propuesta se han dispuesto de las siguientes aperturas:

- 8 ventanales de 4.5 m en la fachada con orientación Norte.
- 3 ventanales de 4.5 m en la fachada con orientación Sur.

En esta propuesta se han colocado un total de 220 m² de ventanales para conseguir el objetivo de iluminación natural. Esta superficie de ventanales laterales no coincide con la estimación inicial, debido a restricciones de espacio en los cerramientos laterales.

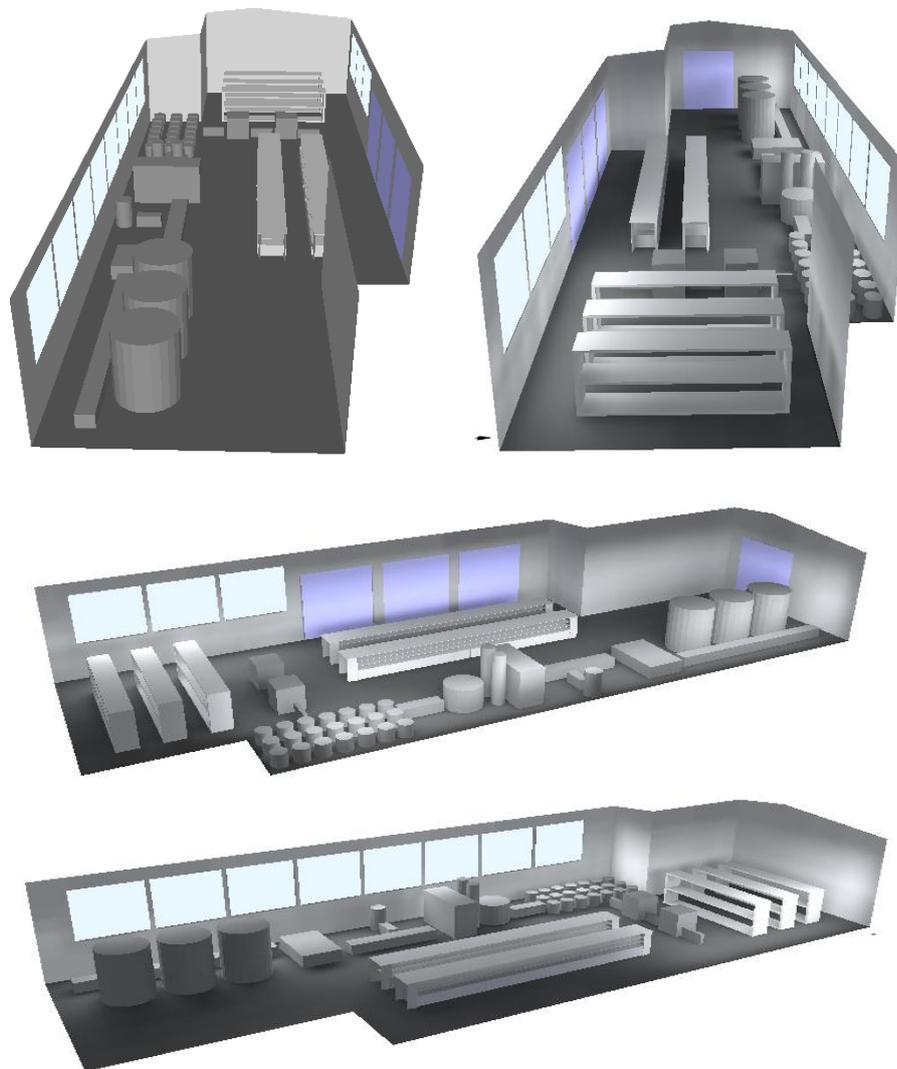


Figura 8. Disposición de aperturas PROPUESTA 1.

Propuesta 2

La segunda propuesta consistirá en un sistema de iluminación cenital mediante la colocación de las aperturas en la cubierta de la planta. Para llevarla a cabo se han instalado:

- 1 ventanal de 53.3 m en la zona inclinada del techo hacia el Norte.
- 1 ventanal de 36.3 m en la zona inclinada del techo hacia el Sur.

Se ha dispuesto de un total de 264 m² de ventanales para conseguir el objetivo de iluminación natural. Esta superficie es mayor que el valor estimado inicialmente debido a que, tras realizar una serie de tanteos previos sobre los resultados de iluminación obtenidos con DIALux, los niveles de iluminación alcanzados no cumplían los mínimos en ninguna de las épocas del año.

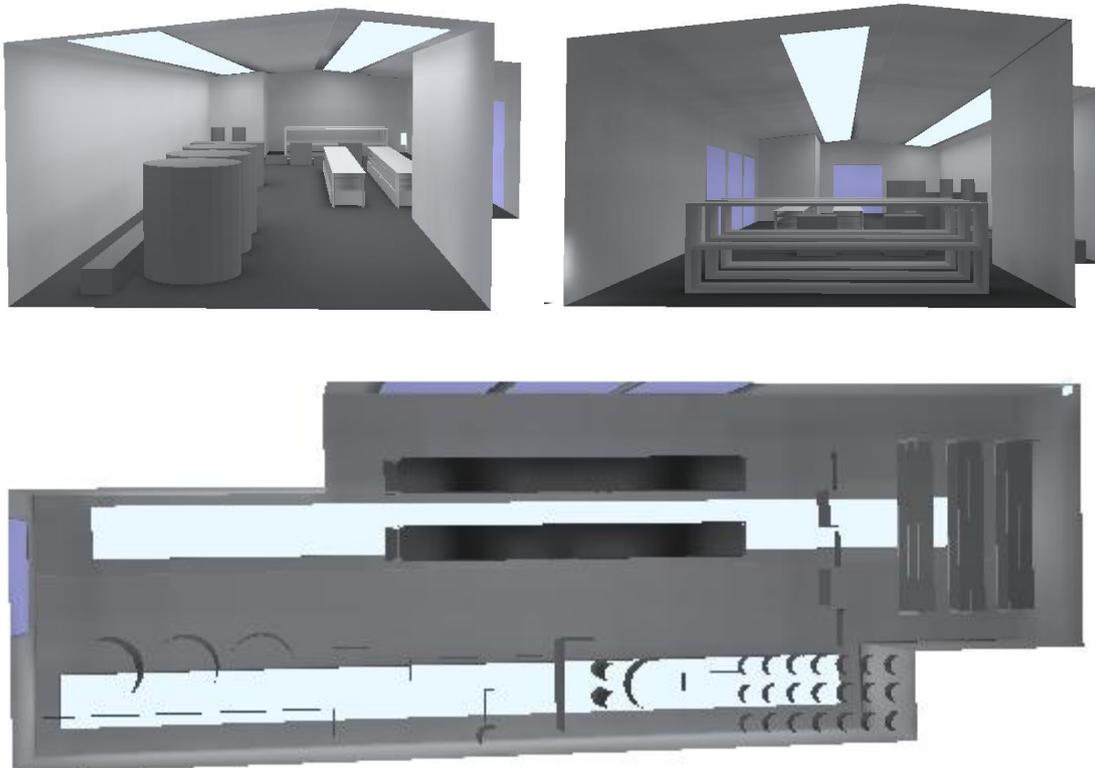


Figura 9. Disposición de aperturas PROPUESTA 2

Propuesta 3

La tercera propuesta consistirá en un sistema de iluminación mixta mediante colocación de aperturas en ventanales y cubierta. Para llevarla a cabo se han colocado:

- 8 ventanales de 5·4 m en la fachada lateral con orientación Norte.
- 1 ventanal de 40·3 m en la zona inclinada del techo hacia el Sur.

Con estas se ha dispuesto de un total de 280 m² de ventanales para conseguir el objetivo de iluminación natural. En esta propuesta también se ha optado por incrementar las superficies inicialmente estimadas por las mismas razones que la propuesta 2.

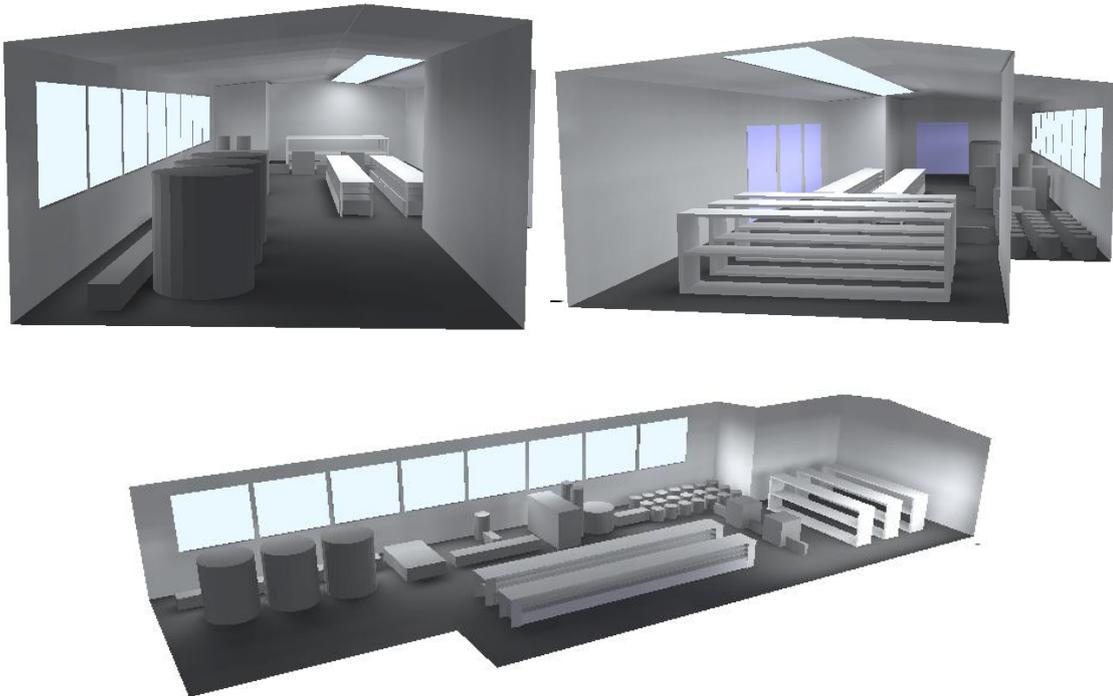


Figura 10. Disposición de aperturas PROPUESTA 3.

Estas propuestas se van a desarrollar gracias al programa de simulación de luz DIALux. Este es un software libre que permite elaborar de manera rápida la estimación del ambiente lumínico de las propuestas.

5.5 Determinación de los niveles de iluminación en los planos de trabajo.

Ahora se desarrollarán las tres propuestas presentadas mediante el simulador de iluminación incorporado en el software DIALux. Con éste se llevará a cabo una estimación de la iluminación natural obtenida en el plano de trabajo muy detallada, siendo posible definir el número de puntos en el que se desea obtener el valor de la iluminación. Este número de puntos es mucho mayor que el exigido por el CTE de la edificación. En todos los casos simulados se han definido 200 puntos de referencia.

Con estas simulaciones se obtendrán los valores de iluminación de la planta para cada una de las propuestas, que en una fase posterior se analizarán para determinar cuál es la propuesta más adecuada.

Se han llevado a cabo simulaciones para dos épocas de año, verano e invierno. Las simulaciones de la época de invierno se llevaran a cabo el 10 de diciembre, día más oscuro del año, y para verano el 21 de junio, día de más horas de luz del año.

Para ambas épocas se realizarán simulaciones para las 10:00, hora de la jornada laboral estudiada de menor iluminación exterior, y para las 14:00, hora de la jornada laboral estudiada de mayor iluminación exterior.

Una vez se disponga de todos los resultados, con el fin de escoger la propuesta de iluminación natural que mejor se adapte a las necesidades de la planta se van a estudiar los siguientes factores:

- **Valores de iluminación:** Con estos se obtendrán los valores de E_m y las uniformidades E_{min}/E_{max} . Se observará que en las diferentes zonas de la planta se cumpla con los requerimientos de iluminación establecidos para cada actividad del proceso. Para su estudio DIALux aporta varias representaciones que muestran los niveles iluminación en el plano de trabajo (gráficos de valores (E), gama de grises etc).
- **Ángulo de incidencia de la radiación luminosa en el puesto de trabajo para evitar deslumbramientos**

A partir de estos resultados se seleccionará la propuesta más adecuada, y de la elegida se ampliará la información y se estudiará más detalle. Además se estudiará la eficiencia energética de los sistemas de iluminación.

Para poder valorar los resultados obtenidos la planta ha sido dividida en dos zonas atendiendo a los requerimientos de iluminación:

- ZONA 1: Zona correspondiente a la línea de producción.
- ZONA 2: Zona correspondiente a la zona de almacenaje.

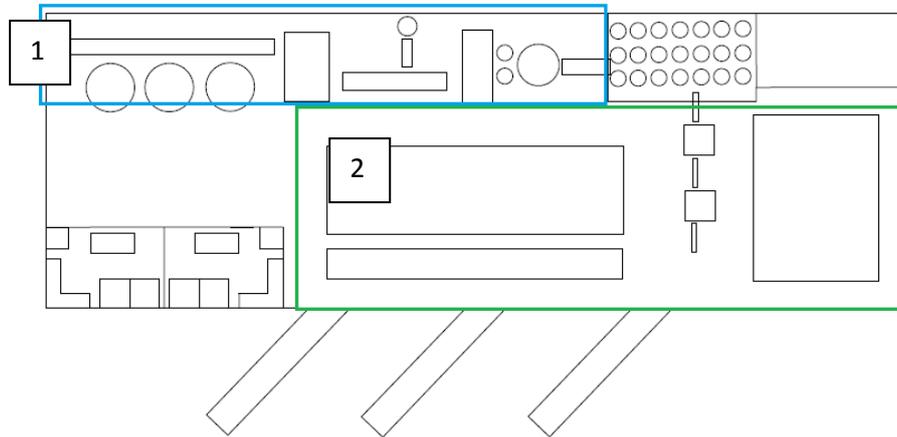


Figura 11. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación.

Para la simulación en DIALux se han fijado una serie de parámetros previos.

PLANTA

Se ha fijado la ubicación de la planta a partir de sus valores de latitud y longitud aproximados:

Ubicación de la planta	
Longitud	39°42′
Latitud	1°12′

TABLA 11. Datos ubicación DIALux

Se han establecido los coeficientes de reflexión de techos, paredes y suelo.

Coeficientes de reflexión	
Techos	70
Paredes	50
Suelo	20

TABLA 12. Coeficientes de reflexión.

Se ha determinado también la orientación de la planta con respecto del sol, teniendo su fachada frontal orientación oeste.

DIALux emplea el método de cielo cubierto a la hora de llevar a cabo los cálculos, el modelo de cielo cubierto es el más utilizado porque, en dichas condiciones se suele estimar la luminosidad mínima del cielo para garantizar un cierto nivel de iluminación natural en el interior de los edificios durante una elevada proporción de tiempo del año

APERTURAS

Para los paneles de aprovechamiento de luz natural que se van a instalar se han fijado los factores de luz diurna que requiere DIALux:

1. Para el **grado de transmisión** de la radiación se ha fijado un valor del 40%.
2. En cuanto al **factor de contaminación** será el propio de una zona industrial 0.5.
3. Para el **factor de división** en travesaños se ha establecido el correspondiente a ventanal de metal (fija) con un valor 0.9.

Grado de transmisión	60%
Factor de contaminación	0.5
Factor de división en travesaños	0.9

TABLA 13. Factores de luz diurna de DIALux.

El modelo estimativo que incorpora el software DIALux sobre el nivel de iluminación exterior en un plano horizontal (E_a) en esta propuesta es:

Época	E_a(lux)
Invierno a las 10:00	6243
Invierno a las 14:00	9381
Verano a las 10:00	12077
Verano a las 14:00	18897

TABLA 14. Valores de E_a estimados por DIALux.

RESULTADOS PROPUESTA 1

A partir de las simulaciones llevadas a cabo con DIALux, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos para la **propuesta 1**:

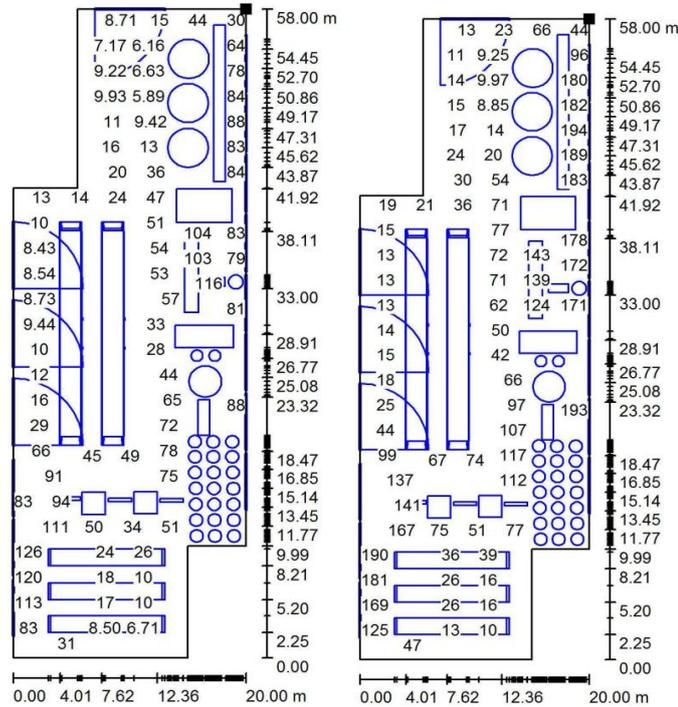


Figura 12. Gráficos de valores (E) para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en invierno.

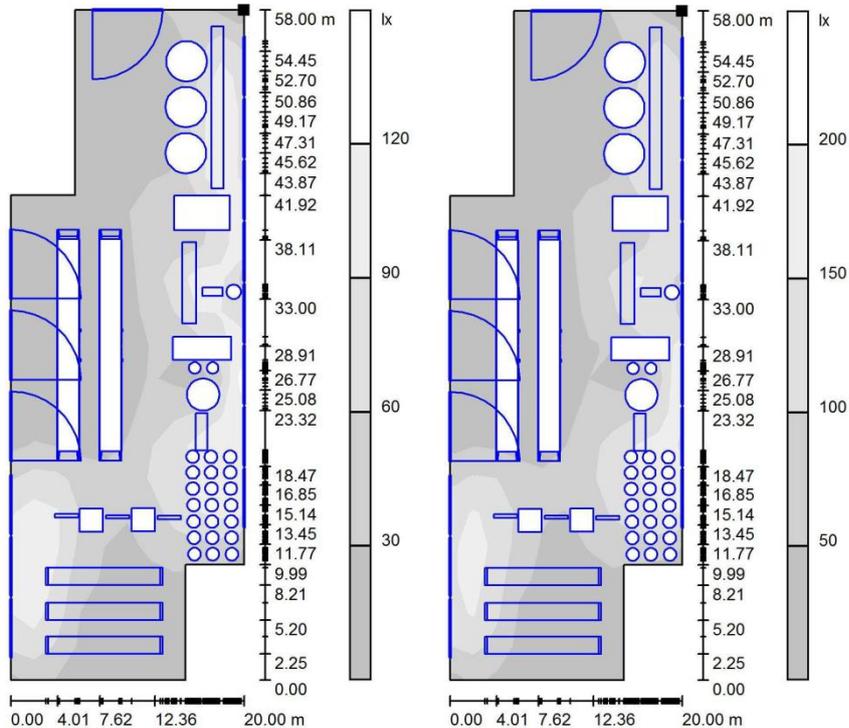


Figura 13. Gama de grises para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en invierno.

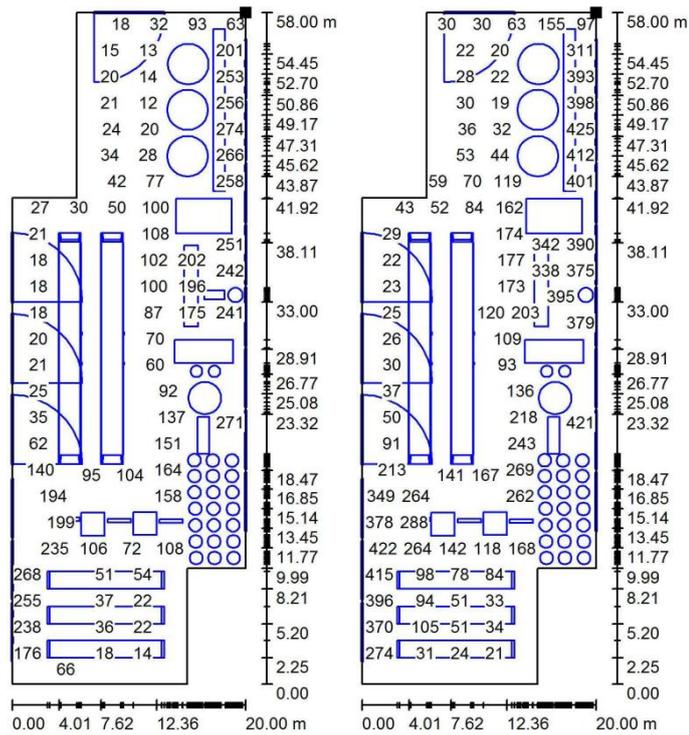


Figura 14. Gráficos de valores (E) para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en verano.

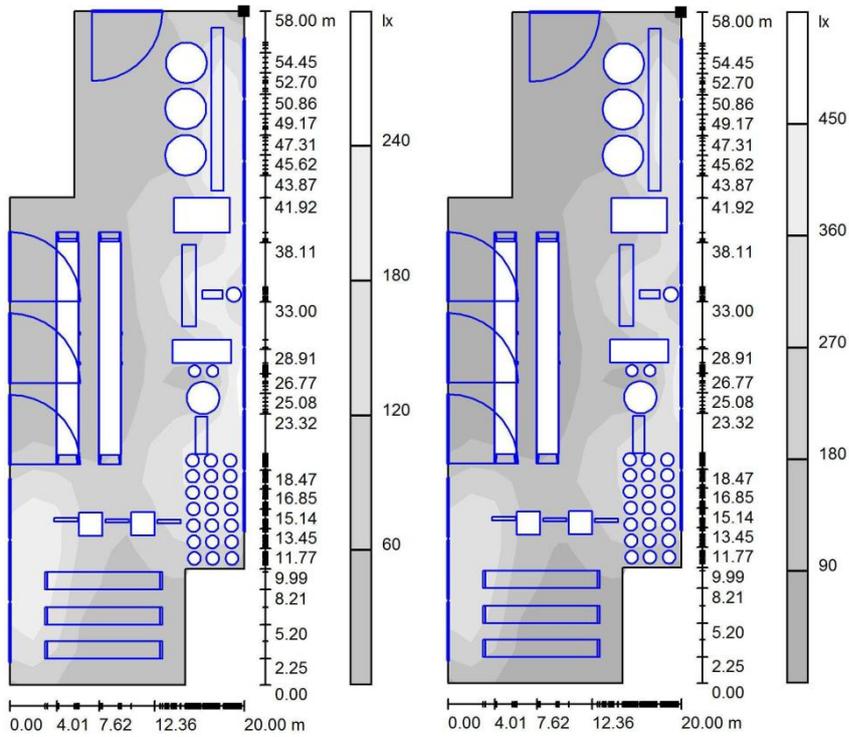


Figura 15. Gama de grises para la propuesta 1 a las 10 h y 14 h en verano.

Los resultados obtenidos de los valores de iluminación para la **propuesta 1** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta					
EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
INVIERNO 10:00	45	3,77	190	0,085	0,02
INVIERNO 14:00	67	5,67	286	0,085	0,02
VERANO 10:00	94	7,98	403	0,085	0,02
VERANO 14:00	146	12	626	0,085	0,02

TABLA 15. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 1.

A partir del estudio por zonas de la planta los resultados luminotécnicos obtenidos para la **propuesta 1** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta						
ZONA	EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	INVIERNO 10:00	112,6	75	137	0,666	0,547
	INVIERNO 14:00	169,3	112	206	0,666	0,547
	VERANO 10:00	238,3	158	290	0,666	0,547
	VERANO 14:00	369,9	246	450	0,666	0,547
2	INVIERNO 10:00	38,1	3,87	115	0,102	0,033
	INVIERNO 14:00	56,9	5,81	172	0,102	0,033
	VERANO 10:00	80,4	8,19	243	0,102	0,033
	VERANO 14:00	124,7	13	377	0,102	0,033

TABLA 16. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 1.

RESULTADOS PROPUESTA 2

A partir de las simulaciones llevadas a cabo con DIALUX, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos para la **propuesta 2**:

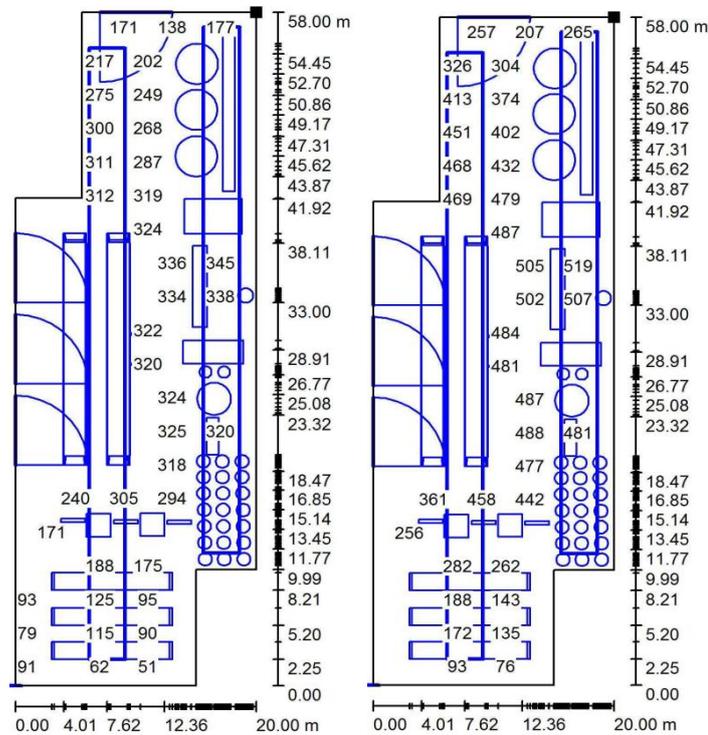


Figura 16. Gráficos de valores (E) para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en invierno.

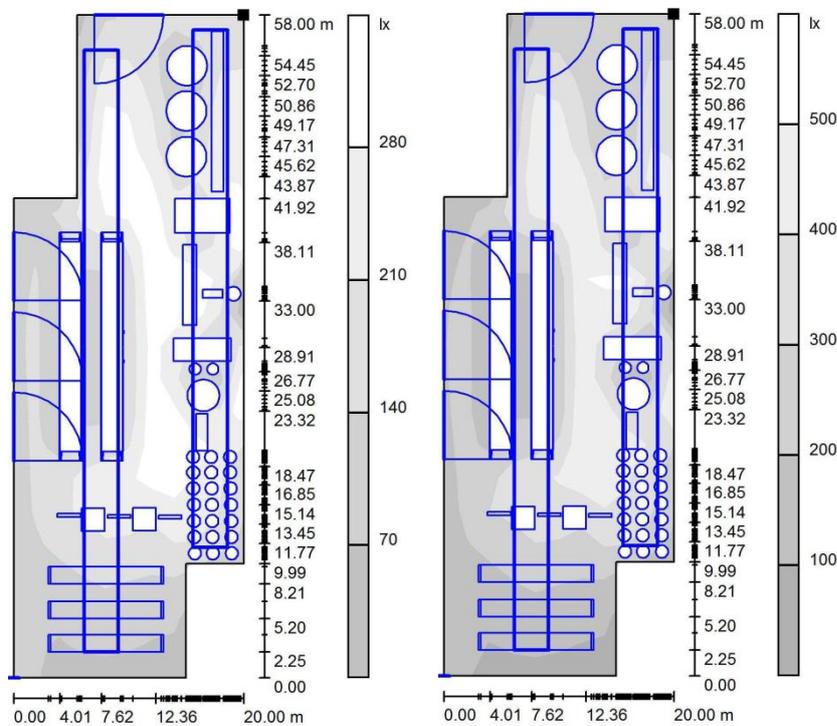


Figura 17. Gama de grises para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en invierno.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

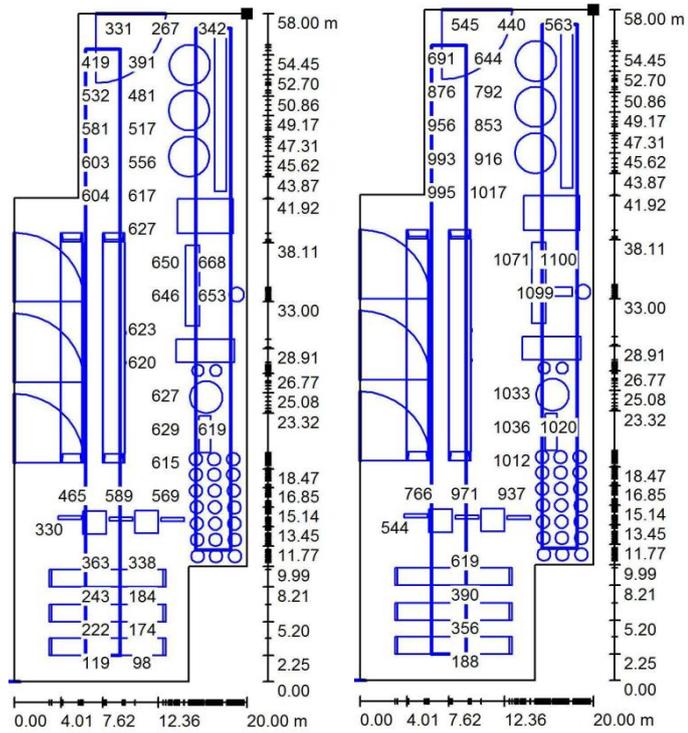


Figura 18. Gráficos de valores (E) para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en verano.

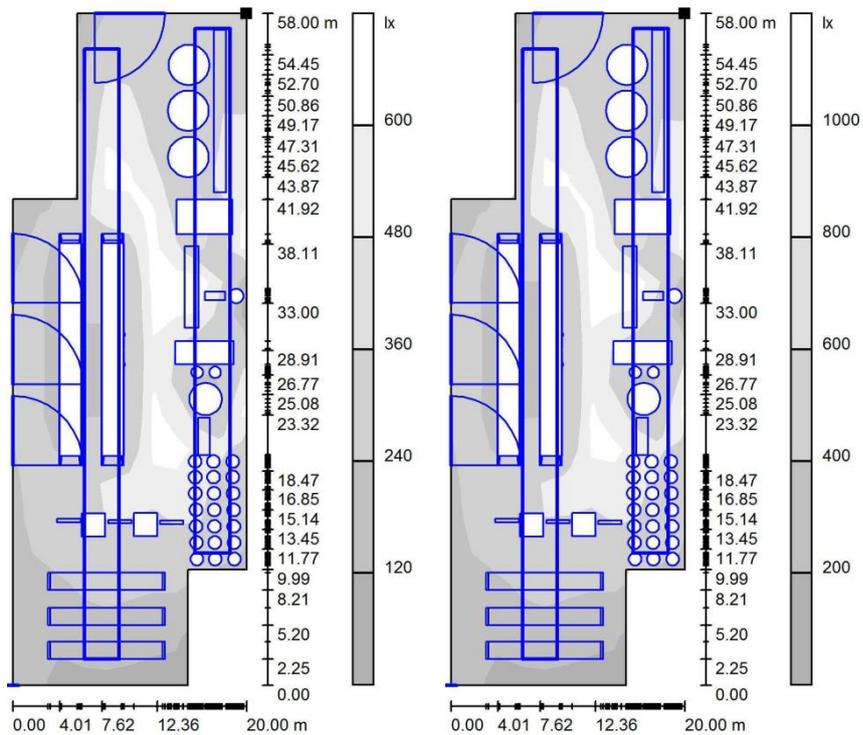


Figura 19. Gama de grises para la propuesta 2 a las 10 h y 14 h en verano.

Los resultados obtenidos de los valores de iluminación para la **propuesta 2** son los siguientes:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta					
EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
INVIERNO 10:00	213	44	349	0,206	0,125
INVIERNO 14:00	320	66	525	0,206	0,125
VERANO 10:00	412	85	676	0,206	0,125
VERANO 14:00	678	140	1113	0,206	0,125

TABLA 17. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 2.

A partir del estudio por zonas de la planta los resultados luminotécnicos obtenidos para la **propuesta 2** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta						
ZONA	EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	INVIERNO 10:00	279,2	127	349	0,455	0,364
	INVIERNO 14:00	420,0	191	525	0,455	0,364
	VERANO 10:00	540,0	246	676	0,455	0,364
	VERANO 14:00	890,4	405	1113	0,455	0,364
2	INVIERNO 10:00	181,2	74	250	0,407	0,292
	INVIERNO 14:00	276,2	111	381	0,407	0,292
	VERANO 10:00	355,2	143	490	0,407	0,292
	VERANO 14:00	583,6	235	805	0,407	0,292

TABLA 18. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 2.

RESULTADOS PROPUESTA 3

A partir de las simulaciones llevadas a cabo con DIALUX, se han obtenido los siguientes resultados luminotécnicos para la **propuesta 3**:

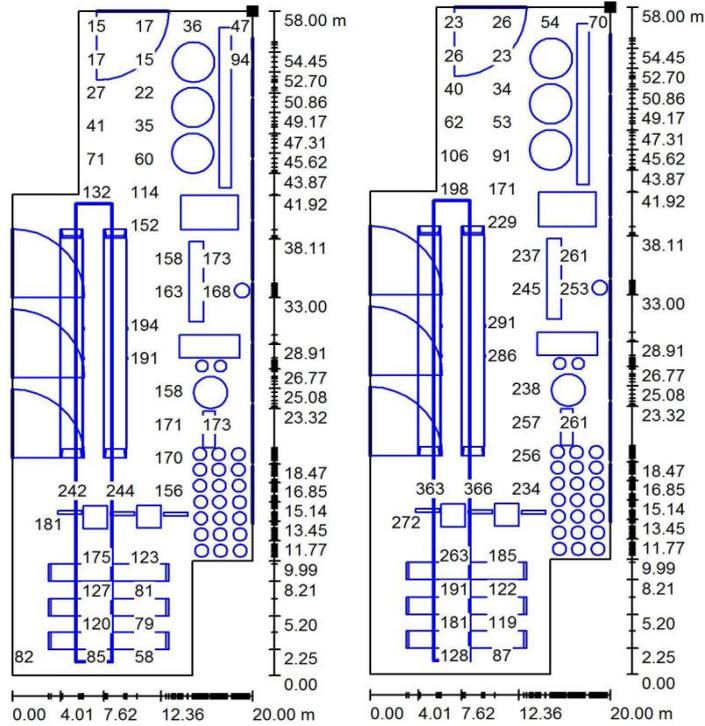


Figura 20. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en invierno.

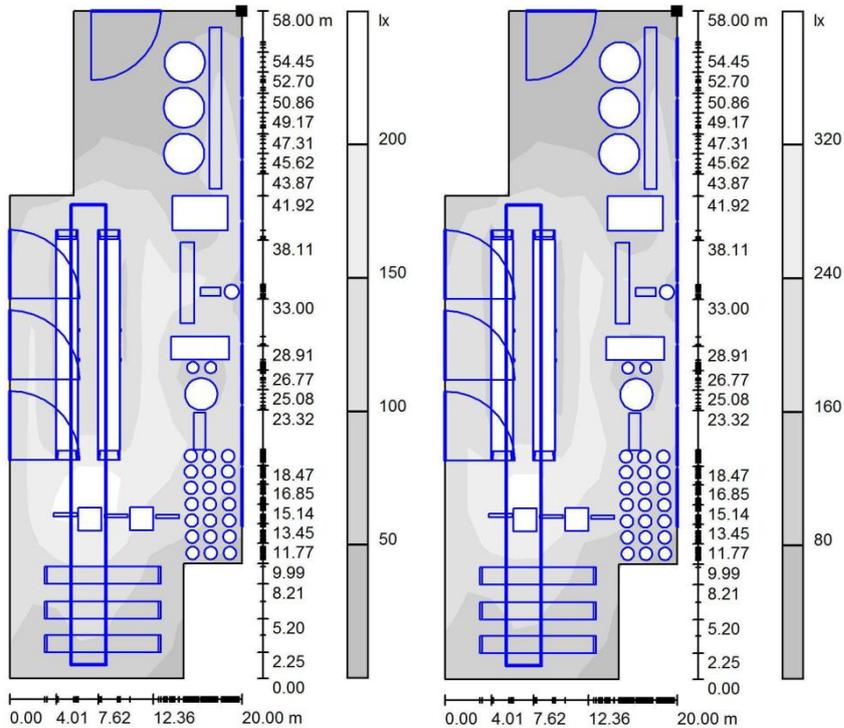


Figura 21. Gama de grises para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en invierno.

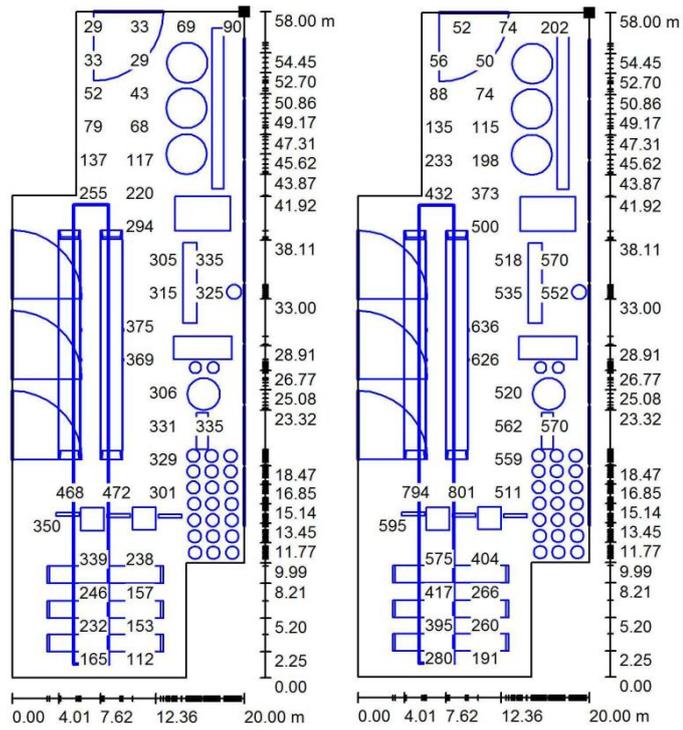


Figura 22. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en verano.

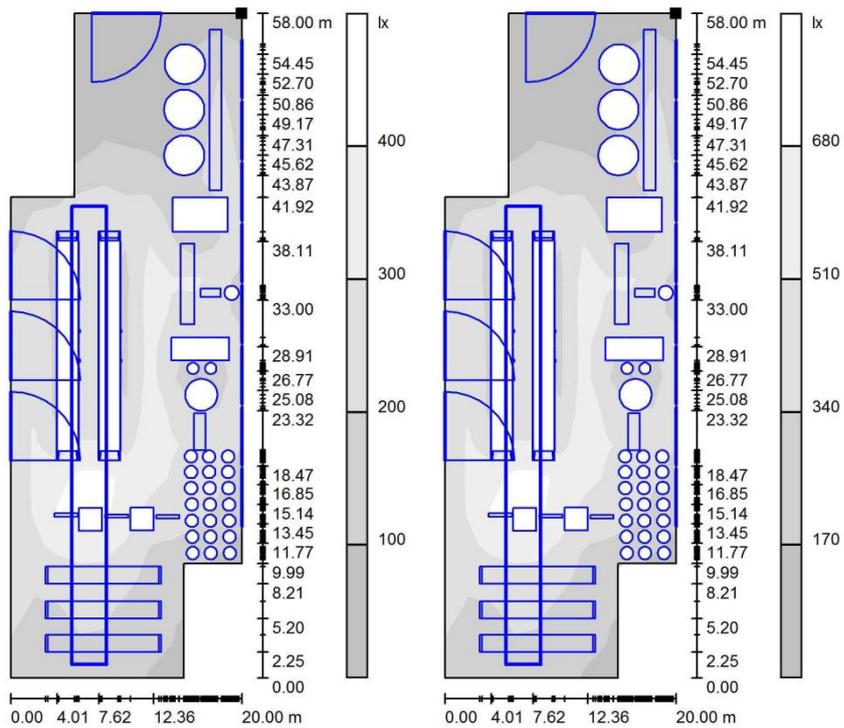


Figura 23. Gráficos de valores (E) para la propuesta 3 a las 10 h y 14 h en verano.

Los resultados obtenidos de los valores de iluminación para la **propuesta 3** son los siguientes:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta					
EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	E _{max} (lx)	Emin/Em	Emin/E _{max}
INVIERNO 10:00	123	13	256	0,103	0,049
INVIERNO 14:00	185	19	385	0,103	0,049
VERANO 10:00	239	25	496	0,103	0,049
VERANO 14:00	405	42	843	0,103	0,049

TABLA 19. Resultados gráficos de valores (E) para la propuesta 3.

A partir del estudio por zonas de la planta los resultados luminotécnicos obtenidos para la **propuesta 3** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta						
ZONA	EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	E _{max} (lx)	Emin/Em	Emin/E _{max}
1	INVIERNO 10:00	137,3	42	173	0,309	0,245
	INVIERNO 14:00	207,2	63	261	0,309	0,245
	VERANO 10:00	265,9	82	335	0,309	0,245
	VERANO 14:00	452,5	139	570	0,309	0,245
2	INVIERNO 10:00	186,2	88	256	0,467	0,341
	INVIERNO 14:00	280,6	132	385	0,467	0,341
	VERANO 10:00	361,5	169	496	0,467	0,341
	VERANO 14:00	614,5	288	843	0,467	0,341

TABLA 20. Resultados gráficos de valores (E) por zonas para la propuesta 3.

5.6 Selección de la propuesta más adecuada.

Una vez se han desarrollado las tres propuestas de iluminación natural con la ayuda de DIALux ya se tiene suficiente información para determinar cuál es la más adecuada.

A partir de las simulaciones para las horas de menor iluminación exterior, se va a analizar sí los valores de E_m que se obtienen para cada una de las propuestas alcanzan los mínimos que se habían establecido para la planta.

A partir de las simulaciones para las horas de mayor iluminación exterior, se va a analizar si el nivel de iluminación es demasiado alto lo que provocaría un deterioro del ambiente de trabajo.

	zona 1	zona 2
Em (lux)	225	100
D (Emin/Eext)	3	1
Emin/Emax	0,3-0,4	0,3-0,4

TABLA 21. Valores óptimos de los factores de iluminación.

Finalmente a partir de los resultados obtenidos anteriormente y mediante la comparación de éstos con los datos que presenta la **TABLA 21** se observa:

Propuesta 1

- El promedio de luz E_m de la zona 1 no cumple con el requerimiento de 225 luxes que se había establecido para ella.
- El promedio de luz E_m de la zona 2 no cumple con el requerimiento de 100 luxes que se había establecido para ella.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 1 si cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3-0.4.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 2 no cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3 – 0.4.
- En cuanto a los deslumbramientos no se producen.

Propuesta 2

- El promedio de luz E_m de la zona 1 si cumple con el requerimiento de 225 luxes que se había establecido para ella.
- El promedio de luz E_m de la zona 2 si cumple con el requerimiento de 100 luxes que se había establecido para ella.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 1 si cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3-0.4.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 2 no cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3-0.4, quedándose rozando el límite inferior.
- En cuanto a los deslumbramientos no se producen.

Propuesta 3

- El promedio de luz E_m de la zona 1 no cumple con el requerimiento de 225 luxes que se había establecido para ella.
- El promedio de luz E_m de la zona 2 si cumple con el requerimiento de 100 luxes que se había establecido para ella.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 1 no cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3-0.4.
- El factor de uniformidad E_{min}/E_{max} para la zona 2 si cumple la recomendación de que alcance un valor mínimo de 0.3-0.4.
- En cuanto a los deslumbramientos no se producen.

ZONA	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	225	0.3 - 0.4	No
2	100	0.3 - 0.4	No
Propuesta 1	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	112.6	0.547	No
2	38.1	0.033	No
Propuesta 2	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	279.2	0.364	No
2	181.2	0.292	No
Propuesta 3	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	137.3	0.245	No
2	186.6	0.341	No

TABLA 22. Comparación de las propuestas para las horas de menor iluminación invierno a las 10:00.

ZONA	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	225	0.3 - 0.4	No
2	100	0.3 - 0.4	No
Propuesta 1	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	369,9	0.547	No
2	124,7	0.033	No
Propuesta 2	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	890,4	0.364	No
2	583,6	0.292	No
Propuesta 3	E_m	E_{min}/E_{max}	Deslumbramientos
1	452,5	0.245	No
2	614,5	0.341	No

TABLA 23. Comparación de las propuestas para verano a las 14:00.

Propuesta 1 – Esta propuesta aporta unos niveles medios de iluminación y uniformidad que no cumplen con los valores mínimos que se pretendían alcanzar.

Propuesta 2 - Esta solución sí que aporta un buen nivel de iluminación media y uniformidad para las dos zonas estudiadas. El problema de esta propuesta es que en las épocas de verano los niveles de iluminación para las horas de mayor iluminación exterior son muy elevadas, lo que podría provocar un empeoramiento del ambiente de trabajo.

Propuesta 3 – Esta solución alcanza los valores mínimos de iluminación y uniformidad en la zona de almacenamiento pero no en la zona de producción. Por lo tanto con esta propuesta se centraría demasiado la luz en la zona de almacenamiento quedando la zona de la línea de producción poco iluminada.

Atendiendo a todos los resultados obtenidos, y con el fin de obtener un aprovechamiento de iluminación natural que cumpla los requerimientos que se han establecido será la **propuesta 2**, correspondiente a la iluminación cenital, la seleccionada. Esta propuesta se va a estudiar de una manera más detallada con el fin de ajustar lo máximo posible los resultados obtenidos a los objetivos que se pretenden alcanzar.

5.7 Desarrollo de la propuesta seleccionada.

Para llevar a cabo el estudio en detalle de la propuesta se va a dividir la planta en varias zonas, según el requerimiento de luz de estas, Para ello se añadirá una tercera zona o zona de paso:

- Zona 1: Correspondiente a la línea de producción.
- Zona 2: Correspondiente a la zona de almacenaje.
- Zona 3: Zona de paso.

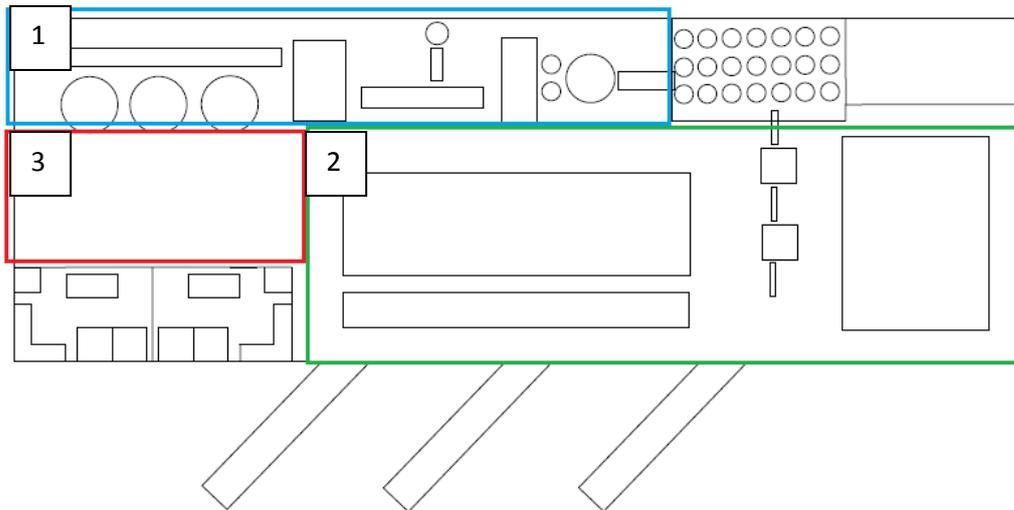


Figura 24. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación natural.

De los resultados luminotécnicos obtenidos para la **propuesta 2** el problema principal que se observa es que los niveles de iluminación (E_m) en verano son muy elevados en la zona 1. Además en la zona 2 la uniformidad no cumple con el mínimo rozando el límite inferior inferiores. Esto podría provocar un deterioro del ambiente de trabajo, para evitarlo:

- Se va a disponer de un sistema de cierre de las aperturas regulable para las épocas de verano.
- Instalación de paneles con un grado de transmisión menor, en torno al 40%.

Para DIALux se fijará un valor de grado de transmisión del 40% y se reducirá la superficie de ventanales para las épocas de verano, quedando el resto de parámetros sin alterar.

En las aperturas se va a instalar láminas de policarbonato opal de 16 mm de espesor. Las láminas de policarbonato son idóneas para el aprovechamiento de la luz natural. Las placas de policarbonato están fabricadas por coextrusión de un film con elevado contenido de absorbentes de rayos U.V. dispuestos en la superficie de la lámina, manteniendo sus características inalteradas durante muchos años. Las principales características de estos paneles son:

- Muy resistente al impacto.
- Durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas.
- Buena transmisión de luz.
- Control solar a través de colores diferentes.
- Impide el 98% de rayos ultravioletas dañinos.
- Requiere poco mantenimiento.
- Posee garantía de 10 años.

Una vez llevadas a cabo las modificaciones los resultados luminotécnicos obtenidos para la propuesta final son:

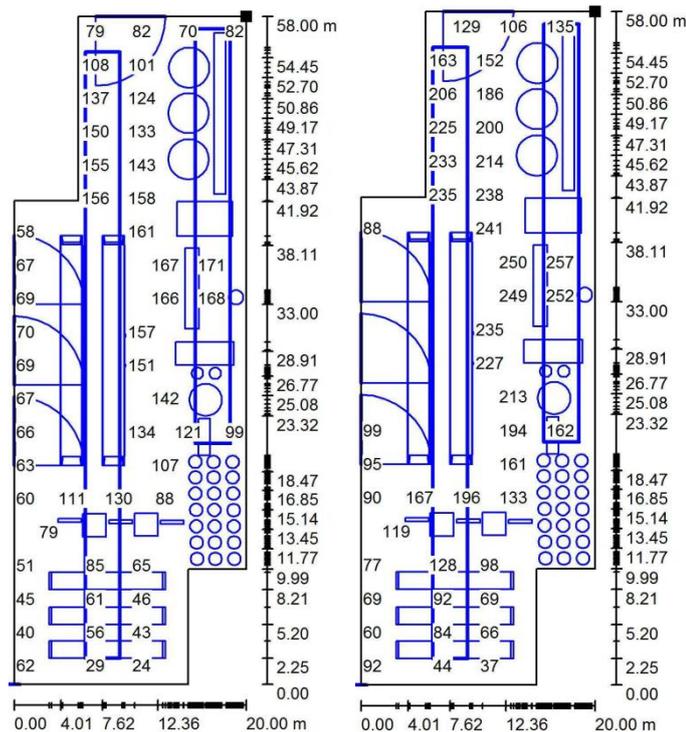


Figura 25. Gráficos de valores (E) para la propuesta a las 10 h y 14 h en invierno.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

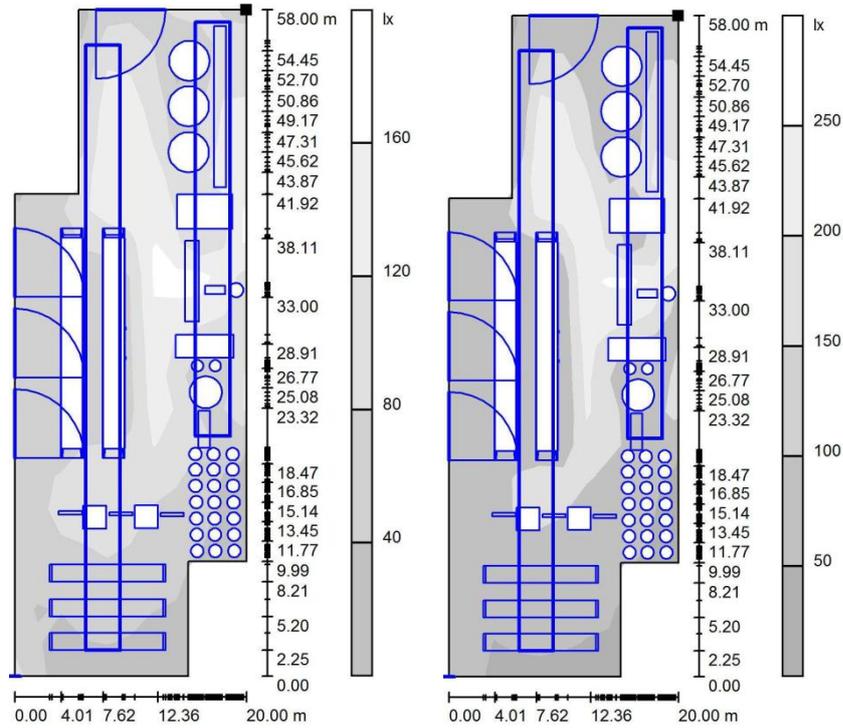


Figura 26. Gama de grises para la propuesta a las 10 h y 14 h en invierno.

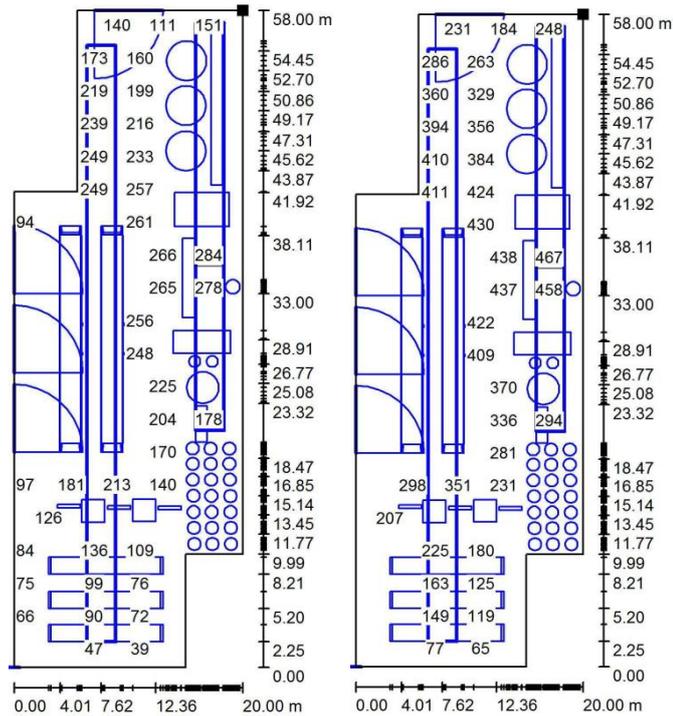


Figura 27. Gráficos de valores (E) para la propuesta a las 10 h y 14 h en verano.

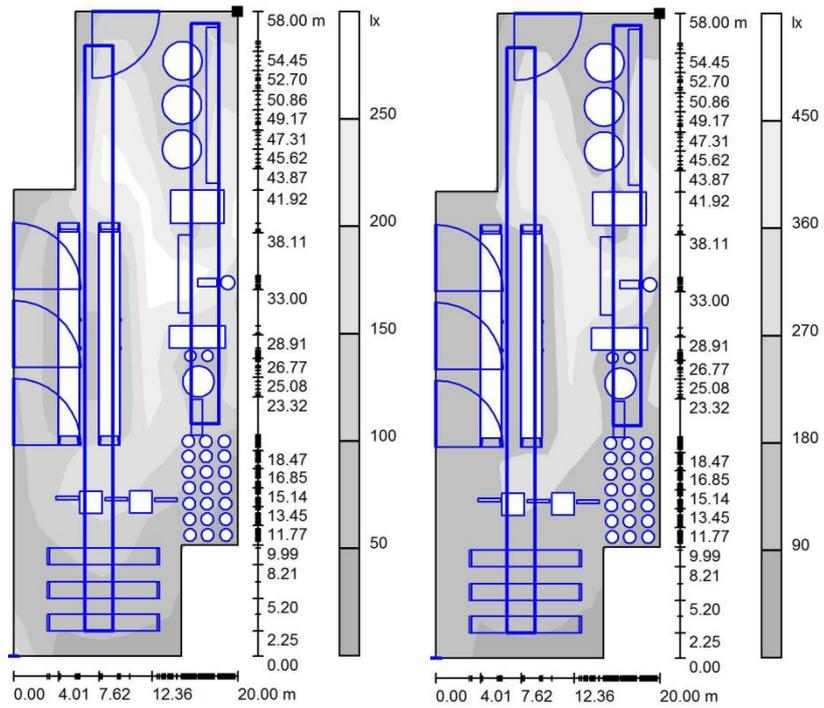


Figura 28. Gama de grises para la propuesta a las 10 h y 14 h en verano.

Los resultados obtenidos de los valores de iluminación para la **propuesta seleccionada** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta					
EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
INVIERNO 10:00	96	21	173	0.221	0.123
INVIERNO 14:00	145	32	259	0.222	0.124
VERANO 10:00	156	35	284	0.224	0.123
VERANO 14:00	145	32	259	0.222	0.124

TABLA 24. Datos gráficos de valores (E) propuesta seleccionada.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA
PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

A partir del estudio de por zonas de la planta los resultados luminotécnicos obtenidos para la **propuesta seleccionada** son:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta						
ZONA	EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	E _{max} (lx)	Emin/Em	Emin/E _{max}
1	INVIERNO 10:00	150	62	173	0,413	0,357
	INVIERNO 14:00	224	93	259	0,413	0,357
	VERANO 10:00	246	100	284	0,406	0,348
	VERANO 14:00	404	164	467	0,405	0,348
2	INVIERNO 10:00	90	50	128	0,555	0,39
	INVIERNO 14:00	137,7	77	196	0,558	0,39
	VERANO 10:00	149,7	84	213	0,560	0,398
	VERANO 14:00	246,7	140	351	0,567	0,398
3	INVIERNO 10:00	120	60	164	0,5	0,376
	INVIERNO 14:00	178,3	90	244	0,504	0,376
	VERANO 10:00	193,7	95	265	0,490	0,359
	VERANO 14:00	319,4	155	437	0,485	0,359

TABLA 25. Datos gráficos de valores (E) propuesta seleccionada.

A partir de los resultados luminotécnicos obtenidos se va a realizar el estudio de eficiencia energética de los sistemas de iluminación de la planta.

5.8 Iluminación artificial.

Aunque se pretenda conseguir un máximo aprovechamiento de la iluminación natural se debe tener en cuenta que ésta proviene del sol y debido a la variabilidad de bóveda celeste, no siempre se podrá disponer de ella. Por ello una nave industrial siempre dispondrá de su sistema de iluminación artificial.

En este apartado se va a estudiar el sistema de iluminación artificial existente en la planta. Se llevará a cabo su simulación en el supuesto de que toda la iluminación de la planta se aporta mediante iluminación artificial (casos de días de cielo completamente cubiertos).

A partir del simulador de luz artificial DIALux light se va a analizar el nivel de iluminación en el plano de trabajo aportado por el sistema de iluminación artificial existente en la planta.

Las luminarias que componen el sistema de iluminación artificial son el modelo DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN de sodio de alta presión de la casa DIAL. El **Anexo 6** recoge las características de estas luminarias.

De manera similar a como se hizo para la propuestas de iluminación natural se va a dividir la planta en varias zonas según los niveles de iluminación de éstas. Se dividirá la planta en las tres zonas estudiadas para el sistema de iluminación natural:

- Zona 1: Correspondiente a la línea de producción.
- Zona 2: Correspondiente a la zona de almacenaje.
- Zona 3: Zona de paso.

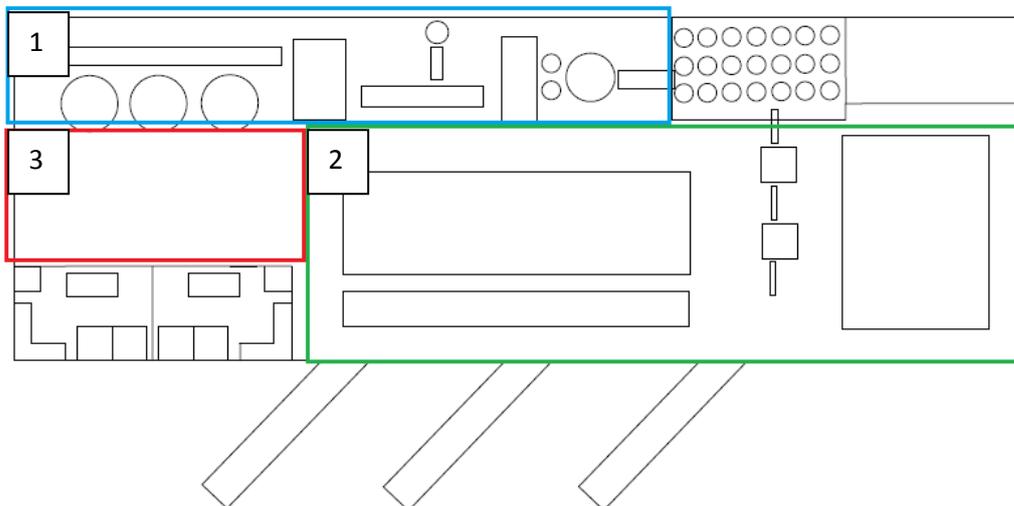


Figura 29. Zonas de la planta a estudiar para las propuestas de iluminación artificial.

ZONA 1

La zona 1, zona correspondiente a la línea de producción, se ha aproximado a un rectángulo de 7 x 40 m y tiene unos requerimientos de luz de 225 luxes.

En la zona 1 existen tres luminarias dispuestas como se indica a continuación:

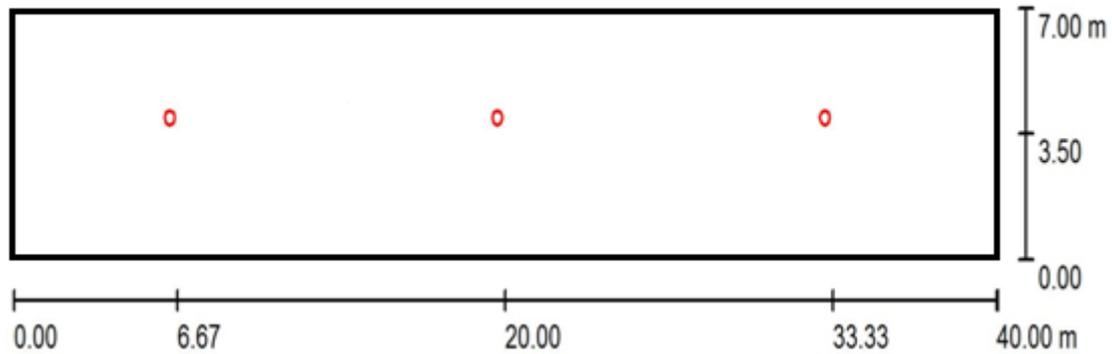


Figura 30. Iluminación artificial para la zona 1.

Los resultados obtenidos para la zona 1:

ZONA 1						
Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano útil	/	229	98	297	0,430	0.329
Suelo	20	213	115	257	0,541	0.447
Techo	70	42	28	53	0,654	0.528
Paredes (2)	50	100	29	294	/	0.0986

TABLA 26. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 1.

ZONA 2

La zona 2, zona correspondiente a la línea de producción, se ha aproximado a un rectángulo de 15 x 42 m y tiene unos requerimientos de luz de 100 luxes.

En la zona 2 existen tres luminarias dispuestas como se indica a continuación:

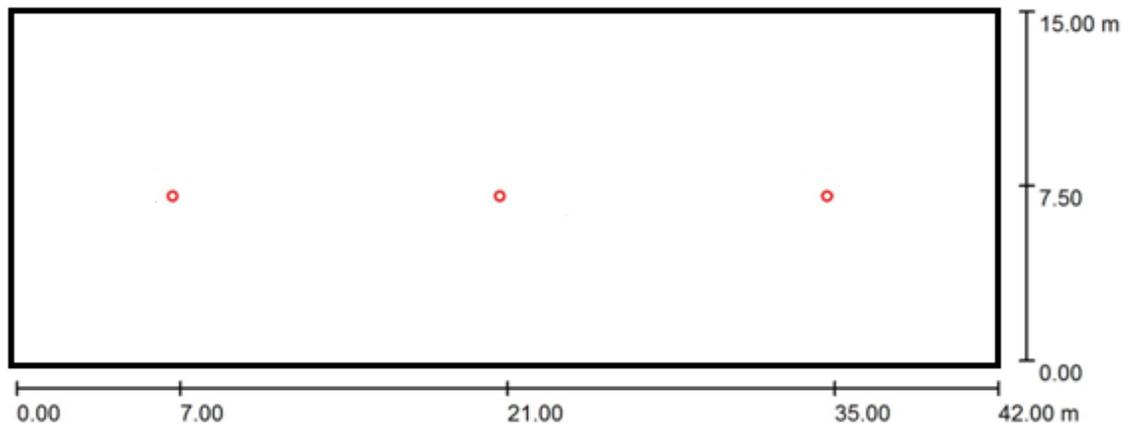


Figura 31. Iluminación artificial para la zona 2.

Los resultados obtenidos son para la zona 2 son:

ZONA 2						
Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano util	/	146	35	258	0,242	0,135
Suelo	20	141	45	217	0,323	0,207
Techo	70	22	15	26	0,675	0,576
Paredes (2)	50	36	15	86	/	0,174

TABLA 27. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 2.

ZONA 3

La zona 3, zona correspondiente a la línea de producción, se ha aproximado a un rectángulo de 7 x 15 m y tiene unos requerimientos de luz de 50 luxes.

En la zona 3 existen 1 luminaria dispuesta como se indica a continuación:

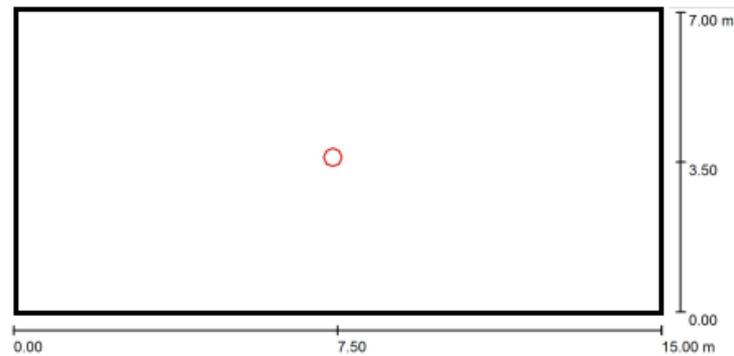


Figura 32. Iluminación artificial para la zona 3.

Los resultados obtenidos para la zona 3 son:

ZONA 3						
Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano util	/	54	31	92	0,568	0,336
Suelo	20	48	32	76	0,658	0,421
Techo	70	32	14	82	0,427	0,170
Paredes (2)	50	36	17	108	/	0,157

TABLA 28. Resultados luminotécnicos de la iluminación artificial para la zona 3.

Una vez se ha llevado a cabo el estudio de las tres zonas en las que se ha dividido la planta a partir del simulador DIALux se llevará a cabo la simulación de la planta completa. La disposición final de las luminarias en la planta es:

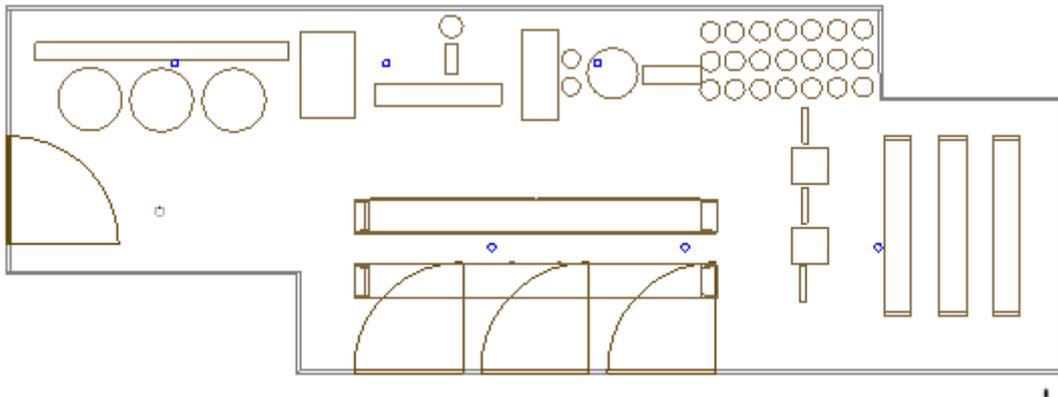


Figura 33. Disposición de las luminarias de la propuesta de iluminación artificial.

La simulación con DIALux se ha realizado al objeto de poder valorar la eficiencia energética de la planta completa.

Finalmente el valor de eficiencia energética para la planta obtenido cuando toda la iluminación es aportada mediante el sistema de iluminación artificial:

	SUPERFICIE(m ²)	VEEI(W/m ²)	VEEI(W/m ² /100lx)
TOTAL	1015	2,75	1,89

TABLA 29. Eficiencia energética del sistema de iluminación artificial.

5.9 Eficiencia energética con el sistema de iluminación natural.

Instalado el sistema de iluminación natural se conseguirá reducir el uso de la iluminación artificial obteniendo unos valores de eficiencia energética más bajos. Una vez realizado el estudio de eficiencia energética del sistema de iluminación artificial ésta se comparará con la eficiencia energética en iluminación resultante del sistema de iluminación mixto (artificial y natural).

El estudio de la eficiencia energética para la planta, una vez se ha instalado el sistema de aprovechamiento de iluminación natural, se realizará por zonas.

Primero se va a comprobar en que situaciones de las estudiadas hará falta requerir al sistema de iluminación artificial:

Datos de los gráficos de valores (E) para toda la planta						
ZONA	EPOCA	Em(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	INVIERNO 10:00	150	62	173	0,413	0,357
	INVIERNO 14:00	224	93	259	0,413	0,357
	VERANO 10:00	246	100	284	0,406	0,348
	VERANO 14:00	404	164	467	0,405	0,348
2	INVIERNO 10:00	90,0	50	128	0,555	0,39
	INVIERNO 14:00	137,7	77	196	0,558	0,39
	VERANO 10:00	149,7	84	213	0,560	0,398
	VERANO 14:00	246,7	140	351	0,567	0,398
3	INVIERNO 10:00	120,0	60	164	0,5	0,376
	INVIERNO 14:00	178,3	90	244	0,504	0,376
	VERANO 10:00	193,7	95	265	0,490	0,359
	VERANO 14:00	319,4	155	437	0,485	0,359

TABLA 30. Datos gráficos de valores (E) por zonas.

Como se puede ver en los resultados de la propuesta seleccionada se cumple con las necesidades de iluminación en todos los casos excepto en invierno a las 10:00 para las zonas 1 y 2.

En las situaciones en las que el nivel de iluminación es el adecuado se habrá conseguido un valor de eficiencia energética máximo, VEEI = 0W/m², es decir, en condiciones normales no hará falta requerir a los sistemas de iluminación artificial.

Para las dos excepciones se llevará a cabo la determinación de la eficiencia energética con un requerimiento de iluminación que será la diferencia entre la aportada por la propuesta de iluminación natural y la requerida. Para ello se ha estimado la necesidad de iluminación artificial que requieren estos dos casos mediante el módulo de simulación de luz artificial de DIALux.

ZONA 1

La zona 1, zona correspondiente a la línea de producción, se ha aproximado a un rectángulo de 7 x 40 m y tiene unos requerimientos de luz de 225 luxes. Ya que el sistema de iluminación natural es capaz de aportar 150 luxes en este momento se pedirá un requerimiento de luz de 75 luxes.

A partir de la estimación llevada a cabo con DIALUX light se han obtenido los siguientes resultados:

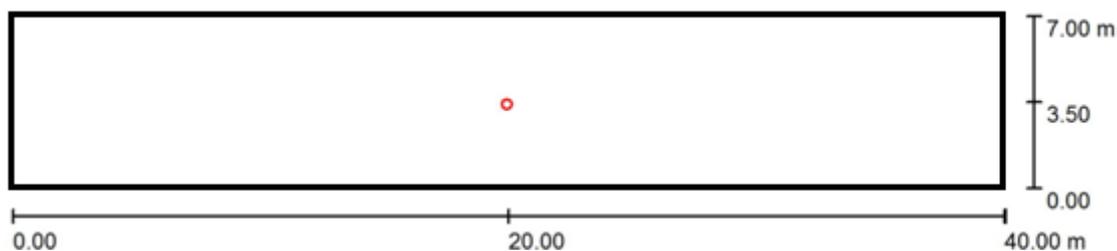


Figura 34. Propuesta de iluminación artificial para la zona 1.

Como se puede observar DIALUX propone para la zona 1, una única luminaria. Los resultados de los valores luminotécnicos para esta zona son:

ZONA 1						
Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano util	/	86	3,82	278	0,048	0,013
Suelo	20	75	4,03	233	0,054	0,017
Techo	70	15	3,60	39	0,244	0,0923
Paredes (2)	50	32	3,54	281	/	0,012

TABLA 31. Resultados luminotécnicos zona 1 para el sistema de iluminación mixto.

ZONA 2

La zona 2, zona correspondiente a la zona de almacenamiento, se ha aproximado a un rectángulo de 15 x 42 m y tiene unos requerimientos de luz de 100 luxes, debido a que con el sistema de iluminación natural se aportan 90 luxes el sistema de iluminación artificial deberá aportar 10 luxes.

A partir de la estimación llevada a cabo con DIALUX light se han obtenido los siguientes resultados:

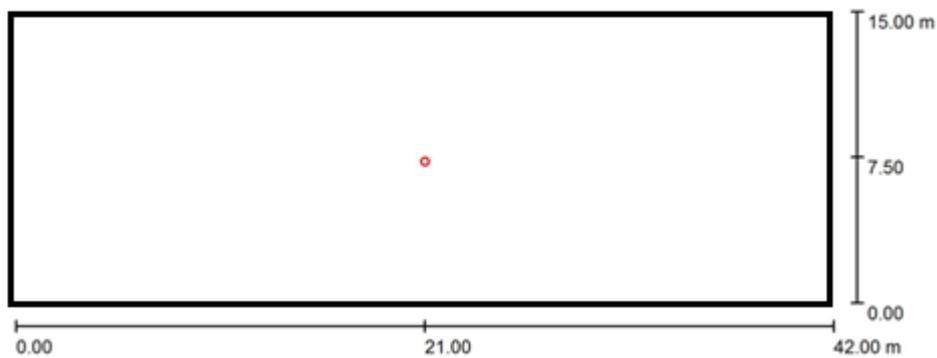


Figura 35. Propuesta de iluminación artificial para la zona 2.

Como se puede observar DIALUX propone para la zona 2, una única luminaria. Los resultados de los valores luminotécnicos para esta zona son:

ZONA 2						
Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
Plano util	/	51	2,49	244	0,049	0,01
Suelo	20	49	2,72	199	0,055	0,013
Techo	70	7,7	2,54	16	0,330	0,158
Paredes (2)	50	9,89	2,44	70	/	0,034

TABLA 32. Resultados luminotécnicos zona 2 para el sistema de iluminación mixto..

A continuación se muestra un cuadro comparativo de los valores de la eficiencia energética antes y después de instalar el sistema de iluminación natural son:

ZON A	EPOCA	EEF(W/m2) antes	EE(W/m2/100lx) antes	EEF(W/m2) después	EE(W/m2/100lx) después
1	INVIERNO 10:00	4,5	1,96	1,5	1,88
	INVIERNO 14:00	4,5	1,96	0	0
	VERANO 10:00	4,5	1,96	0	0
	VERANO 14:00	4,5	1,96	0	0
2	INVIERNO 10:00	2	1,37	0,67	1,32
	INVIERNO 14:00	2	1,37	0	0
	VERANO 10:00	2	1,37	0	0
	VERANO 14:00	2	1,37	0	0
3	INVIERNO 10:00	2,61	4,85	0	0
	INVIERNO 14:00	2,61	4,85	0	0
	VERANO 10:00	2,61	4,85	0	0
	VERANO 14:00	2,61	4,85	0	0

TABLA 33. Comparación de valores de eficiencia energética antes y después de instalar el sistema de iluminación natural.

A partir de la simulación con DIALux se obtienen unos resultados de eficiencia energética para toda la planta una vez instalado el sistema de iluminación natural:

SITUACIÓN	VEEI(W/m2)	VEEI(W/m2/100lx)
Sin iluminación natural	2,75	1,89
Con iluminación natural	0,83	1,33

TABLA 34. Valores de eficiencia energética para la planta completa.

Como era de esperar, gracias a la instalación del sistema de iluminación natural la planta requerirá menos aporte de luz artificial con lo que se conseguirá mejorar la eficiencia energética de la planta.

6. Análisis económico.

Para justificar la viabilidad de la inversión que supondría el sistema de iluminación natural se va a realizar el análisis económico. Para esto se elaborará el presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural y se llevará a cabo el balance económico de recuperación de la inversión atendiendo a la reducción de los gastos derivados de facturación de energía eléctrica.

6.1 Presupuesto

Los datos de instalación de ventanales se han contrastado con facturas proforma de empresas de construcción especializadas en el sector.

El presupuesto que se ha obtenido para la instalación del sistema de iluminación natural es el siguiente:

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PR. UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	PREPARACIÓN DEL HUECO (3 h)				
	Hr	Operario 1ª	0,0115	17	0,195	
	Hr	Operario 2ª	0,0115	13	0,149	
	%	Costes directos	0,02	0,345	0,007	
						0,352
01.02	m2	COLOCACIÓN CARPINTERIA METALICA (4h)				
	m2	Premarco de aluminio	1	5	5	
	Hr	Operario 1ª	0,015	17	0,260	
	Hr	Operario 2ª	0,03	13	0,39	
	Hr	Grúa elevadora	0,0115	43,2	0,497	
	%	Costes directos	0,02	6,146	0,123	
						6,268
01.03	m2	COLOCACIÓN POLICARBONATOS (3h)				
	m2	Paneles	1	11.13	11.13	
	Hr	Operario 1ª	0,0115	17	0,195	
	Hr	Operario 2ª	0,023	13	0,299	
	Hr	Grúa elevadora	0,0115	43,2	0,498	
	%	Costes directos	0,02	12.1213	0,242	
						12,364
01.04	m2	SOLDADO (6h)				
	Hr	Soldador	0,02307	15	0,346	
	Hr	Plataforma	0,02307	30,25	0,697	
	%	Costes directos	0,02	1,043	0,0208	
						1,064

TABLA 35. Cuadro de precios descompuestos de la instalación del sistema de iluminación natural.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA
PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	PREPARACIÓN DEL HUECO						
	m2	Ventanal 1	1	3	52		156	
	m2	Ventanal 2	1	3	36		108	
								264
01.02	m2	COLOCACIÓN CARPINTERIA METALICA						
	m2	Ventanal 1	1	3	52		156	
	m2	Ventanal 2	1	3	36		108	
								264
01.03	m2	COLOCACIÓN DEL POLICARBONATO						
	m2	Ventanal 1	1	3	52		156	
	m2	Ventanal 2	1	3	36		108	
								264
0.1.04	m2	SOLDADO DE VENTANAS						
	m2	Ventanal 1	1	3	52		156	
	m2	Ventanal 2	1	3	36		108	
								264

TABLA 36. Cuadro de mediciones de la instalación del sistema de iluminación natural..

COD	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	PREPARACIÓN DEL HUECO	92,9016	
01.02	COLOCACIÓN PREMARCO	1654,752	
01.03	COLOCACIÓN DE VENTANAS	3264,344	
01.04	SOLDADO DE VENTANAS	281,106	
			5293.922

TABLA 37. Presupuestos parciales de la instalación del sistema de iluminación natural..

Con estos datos se tiene el valor del presupuesto de ejecución de material (PEM) que es de 5912.922€.

El presupuesto de ejecución por contrata será la suma al presupuesto de ejecución de material de los gastos generales (13% del PEM) y el beneficio industrial (6% del PEM).

Finalmente el presupuesto total será la suma del presupuesto de ejecución por contrata más el IVA. El presupuesto final obtenido para la instalación del sistema de iluminación natural es:

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION MATERAIL(PEM)	5293.922€
PRESUPUESO DE EJECUCION POR CONTRATA(PEC)	6298.377€
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION	7621.539€

TABLA 38. Presupuesto de instalación del sistema de iluminación natural.

6.2 Balance económico

Para llevar a cabo el balance económico primero será necesario analizar el consumo eléctrico en esta planta antes y después de instalar el sistema de iluminación natural.

Para la elección de la tarifa eléctrica se tendrá en cuenta todas las necesidades de demanda eléctrica que tiene la nave industrial, considerando tanto la maquinaria como las tomas de corriente en la oficina, lavabos y laboratorio. Así mismo, habrá que tener en cuenta toda la instalación de alumbrado de la nave industrial.

Se contabilizar las potencias instaladas en toda la nave industrial. Para ello se va a realizar una estimación de las potencias demandas:

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA
PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

	Ud.	Potencia Ud (W)	Potencia (W)
Cintas transportadoras	3	9561	28683
Tornillo sin fin	2	368	736
Limpiadora	1	3570	3570
Despalilladora	1	1100	1100
Secado	1	2574	2574
Bombas	3	8953	26859
Molino	1	22050	22050
Batidora	1	5880	5880
Decanter	1	22000	22000
Centrifuga	1	16840	16840
Filtro	1	1468	1468
Grupo de envasado	1	22410	22410
Luminarias	7	420	2940
Tomas de corriente	20	3680	73600
Tomas de corriente trifásica	3	10000	30000
			260710

TABLA 39. Potencias parciales y total.

La potencia para la planta es de 260,071 kW. La tarifa eléctrica contratada en la empresa es la tarifa eléctrica 3.1A tarifa que tiene el sistema de discriminación horaria, que establece tres periodos de facturación (punta, llano y valle).

Este tipo de industria, en cuanto a la facturación eléctrica, tiene el problema de la periodicidad ya que en la planta solo se trabaja durante aproximadamente 5 meses pero las compañías eléctricas obligan a contratar las tarifas eléctricas el año entero. En el caso de estudio solo se tendrán en cuenta los meses de campaña ya que para el resto del año no habrá consumo de energía eléctrica derivado de la iluminación.

Para determinar cuántas horas corresponden a cada uno de los periodos se atenderá a la siguiente tabla:

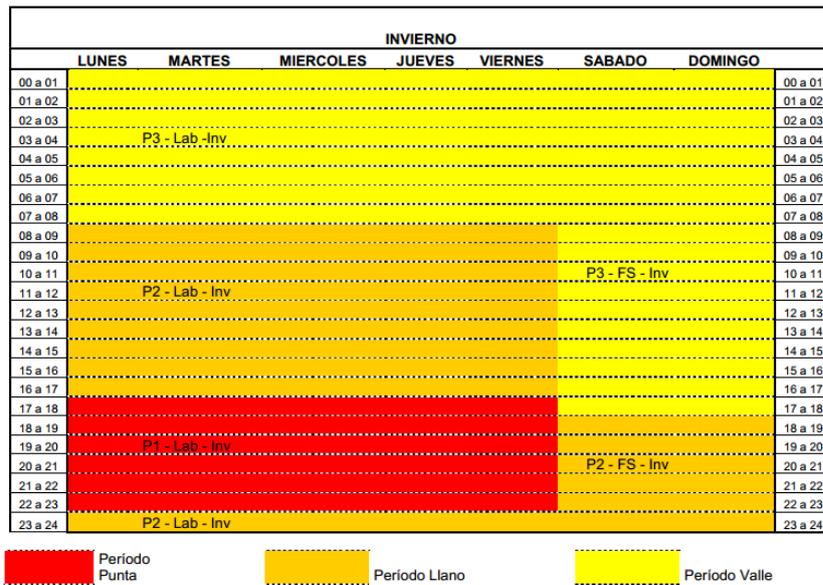


Figura 36. Discriminación horaria.

El horario de trabajo¹ será desde las 10:00 hasta las 18:00 lo que supondrá 7 horas de periodo de llano y 1 de periodo punta:

6.2.1 Iluminación artificial.

Para un mes de campaña en el que solo se dispone de los sistemas de iluminación artificial, el consumo eléctrico de iluminación para cada uno de los periodos y el consumo total serán de:

$$\text{Consumo llano} = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 7 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 31 \text{ dias} \cdot 7 \text{ luminarias} \right) = 637.98 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo punta} = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 1 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 31 \text{ dias} \cdot 7 \text{ luminarias} \right) = 91.14 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo total} = 637.98 + 91.14 = 729.12 \text{ kWh}$$

A partir de los resultados de consumo de iluminación artificial, el consumo eléctrico derivado de la iluminación en el supuesto de que solo se utilice iluminación artificial es:

¹ La planta puede funcionar más de las horas estudiadas pero estas son las horas en las que supone una ventaja económica el uso del sistema de iluminación natural y por lo tanto las que tiene influencia económica.

FACTURACIÓN PARA MES DE CAMPAÑA

Energía Eléctrica		62.215 €
P1: 637.98 kW/h · 8,6489 cents€/kWh		
P2: 91.14 kW/h · 7,8122 cents€/kWh		
P3: 0 kW/h · 6,0284 cents€/kWh		
Término de Energía		10.30€
P1: 637.98 kW/h · 1,4335 cents€/kWh		
P2: 91.14 kW/h · 1,2754 cents€/kWh		
P3: 0 kW/h · 0,7805 cents€/kWh		
Término de potencia		2303,42€
P1: 260,7 kW · 0,162119 €/kWdia · 31 dias		
P2: 260,7 kW · 0,099974€/kWdia · 31 dias		
P3: 260,7 kW · 0,02295 €/kWdia · 31 dias		
Alquiler equipo de medida	31dias · 1,1836	36,69 €
Importe impuesto	2421.64 · 1,05113 · 4,864%	123,35 €
		2535,99 €
	21%	3068,556 €

En el cálculo de la factura de la luz, se ha de tener en cuenta que el factor de potencia o término fijo y alquiler de contadores se pagarán sea cual sea el consumo eléctrico, luego especificando, el gasto derivado del consumo de iluminación con todos los impuestos incluidos es de:

	MESES	PRECIO MES €	TOTAL ANUAL €
MES DE CAMPAÑA	5	92.23	461.19
MES SIN CAMPAÑA	7	0	0
			461.19 €

TABLA 40. Coste del consumo en iluminación empleando solo artificial.

Además también se tendrá en cuenta la vida útil de las luminarias. DIAL 24 SDK 102-400 GESCHLOSSEN de vapor de sodio de alta presión que se han colocado en la instalación de iluminación interior. Este tipo de luminarias de alta presión tienen una vida

útil de entre 8.000 y 15.000 horas. Para éstas se tomará un valor medio de 10.000 horas por lo tanto. Dividiendo entre las horas correspondientes a la jornada laboral completa:

$$vida\ util = \frac{10000\ horas}{1800\ horas\ año} = 5.55\ años$$

Se obtiene una vida útil del sistema de iluminación artificial, en el caso de que solo se disponga de ésta, de 5.55 años. El presupuesto de mantenimiento y renovación del sistema de iluminación artificial es:

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PR. UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	COLOCACIÓN DE LUMINARIAS				
	Ud	Luminarias	1	60	60	
	Hr	Operario 1ª	0,4285	17	7,2845	
	Hr	Grua elevadora	0,4285	43,2	18,5112	
	%	Costes directos	0,02	85.79	1,715	
						87,51 €

TABLA 41. Cuadro de precios descompuestos renovación luminarias.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Ud	Colocación de luminarias						
	Ud	Luminarias	7	0	0		0	
								7

TABLA 42. Cuadro de mediciones renovación luminarias.

COD	DESCRPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Colocación luminarias	612.57	
			612.57 €

TABLA 43. Presupuesto parcial para la renovación de luminarias.

A partir de los presupuestos parciales y aplicando los impuestos y gastos correspondientes se obtiene un presupuesto de mantenimiento del sistema de iluminación artificial de:

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION MATERAIL(PEM)	612.57 €
PRESUPUESO DE EJECUCION POR CONTRATA(PEC)	728.96 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION	882.046 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION POR AÑO	158.78 €

TABLA 44. Presupuesto Final para la renovación de luminarias.

Finalmente el gasto anual de la planta relacionado con la iluminación artificial antes de instalar el sistema de iluminación natural es:

PRECIO FACTURA DE LA LUZ	461.19 €
PRECIO RENOVACIÓN DE LUMINARIAS	158.78 €
IMPORTE TOTAL	619,97 €

TABLA 45. Coste sistemas de iluminación artificial

6.2.2 Iluminación mixta

Una vez instalado el sistema de iluminación natural se reducirá el consumo de iluminación artificial. Esto supondrá una disminución del gasto energético relacionado con los sistemas de iluminación.

En la siguiente gráfica se puede determinar la disponibilidad de la iluminación exterior en función de la latitud del lugar geográfico en el que se ubica una edificación.

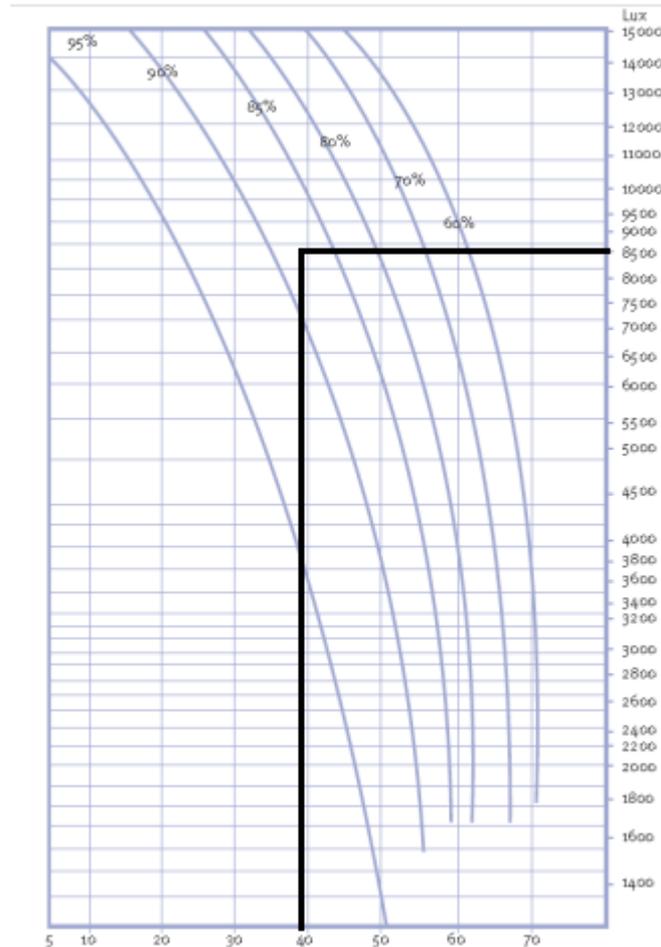


Figura 37. Disponibilidad de luz natural.

Como puede observarse en la gráfica se podrá aprovechar la luz natural en la zona en la que se encuentra la planta en alrededor del 90% de las horas correspondientes a la jornada laboral, a partir de este dato se determinará el ahorro en la factura de la luz.

Para llevar a cabo un estudio más amplio se estudiarán dos situaciones, una en la que se puede aprovechar el 90% y otra del 70% de iluminación natural. Para ello se determinará el consumo eléctrico del sistema de iluminación mixto para ambos casos.

Para un mes de campaña, el consumo eléctrico de iluminación para cada uno de los periodos y el consumo total serán de:

CASO 1:10% de iluminación artificial

$$C. \text{ llano} = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 7 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 31 \text{ días} \cdot 7 \text{ luminarias} \cdot 0.1 \right) = 63.798 \text{ kWh}$$

$$C. \text{ punta} = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 1 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 31 \text{ días} \cdot 7 \text{ luminarias} \cdot 0.1 \right) = 9.114 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo total} = 637.98 + 91.14 = 72.912 \text{ kWh}$$

CASO 2: 30% de iluminación artificial

$$C. llano = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 7 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 31 \text{ dias} \cdot 7 \text{ luminarias} \cdot 0.3 \right) = 191.394 \text{ kWh}$$

$$C. punta = \left(0,420 \text{ kWh} \cdot 1 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 31 \text{ dias} \cdot 7 \text{ luminaria} \cdot 0.3 \right) = 27.342 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo total} = 637.98 + 91.14 = 218.72 \text{ kWh}$$

A partir de los resultados de consumo de iluminación artificial, el consumo eléctrico en el supuesto de se utilicen el sistema de iluminación mixto es:

FACTURACIÓN PARA MES DE CAMPAÑA (10% de i. artificial)

Energía Eléctrica	6.232 €
P1: 63.798 kWh · 8,6489 cents€/kWh	
P2: 9.144 kWh · 7,8122 cents€/kWh	
P3: 0 kWh · 6,0284 cents€/kWh	
Término de Energía	1.037 €
P1: 3087 kWh · 1,4335 cents€/kWh	
P2: 441 kWh · 1,2754 cents€/kWh	
P3: 0 kWh · 0,7805 cents€/kWh	
Término de potencia	2303,42€
P1: 260,7 kW · 0,162119 €/kWdia · 31 dias	
P2: 260,7 kW · 0,099974€/kWdia · 31 dias	
P3: 260,7 kW · 0,02295 €/kWdia · 31 dias	
Alquiler equipo de medida	31dias · 1,1836
Importe impuesto	2347.64 · 1,05113 · 4,864%
	2466,36 €
	21% 2984,998 €

FACTURACIÓN PARA MES DE CAMPAÑA (30% de i. artificial)

Energía Eléctrica		18.69 €
P1: 191.394 kW/h · 8,6489 cents€/kWh		
P2: 27,342 kW/h · 7,8122 cents€/kWh		
P3: 0 kW/h · 6,0284 cents€/kWh		
Término de Energía		3.091 €
P1: 926,1 kW/h · 1,4335 cents€/kWh		
P2: 132,3 kW/h · 1,2754 cents€/kWh		
P3: 0 kW/h · 0,7805 cents€/kWh		
Término de potencia		2303,42€
P1: 260,7 kW · 0,162119 €/kWdia · 31 días		
P2: 260,7 kW · 0,099974€/kWdia · 31 días		
P3: 260,7 kW · 0,02295 €/kWdia · 31 días		
Alquiler equipo de medida	31días · 1,1836	36,69 €
Importe impuesto	2361.89 · 1,05113 · 4,864%	120,75 €
		24820.54 €
	21%	3004,364 €

Al igual que en el caso de iluminación artificial únicamente se atenderá al gasto derivado de los sistemas de iluminación ya que el resto de parámetros permanece constante:

	MESES	PRECIO MES €	TOTAL €
MES DE CAMPAÑA 10%	5	9.24	46.225
MES SIN CAMPAÑA	7	0	0
			46.225 €

TABLA 46. Facturación con sistema de iluminación natural suponiendo 10% de artificial.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA
PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

	MESES	PRECIO MES €	TOTAL €
MES DE CAMPAÑA 30%	5	27.71	138.55
MES SIN CAMPAÑA	7	0	0
			138.55 €

TABLA 47. Facturación con sistema de iluminación natural suponiendo 30% de artificial.

En este caso el presupuesto relacionado con el mantenimiento y cambio de luminarias es prácticamente despreciable, pero es importante tener en cuenta el mantenimiento de los paneles instalados. La limpieza de estos se llevará a cabo cada 5 años con un coste de:

COD	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PR. UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	Limpieza de paneles				
	Hr	Operarios	0,01136	12	0,136	
	Hr	Grua elevadora	0,02307	43,2	0,997	
	%	Costes directos	0,02	1,13	0,022	
						1,16 €

TABLA 48. Cuadro de precios descompuestos de mantenimiento del sistema de iluminación natural.

COD	UD	DESCRIPCIÓN	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	Limpieza de paneles						
	m2	Ventanal 1	1	3	52		156	
	m2	Ventanal 2	1	3	36		108	
								264

TABLA 49. Cuadro de mediciones de mantenimiento del sistema de iluminación natural..

COD	DESCRPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	Limpieza de paneles	305.6	
			305.067 €

TABLA 50. Presupuesto parcial de mantenimiento del sistema de iluminación natural..

A partir de los presupuestos parciales y aplicando los impuestos y gastos correspondientes se obtiene un presupuesto de mantenimiento del sistema de iluminación de:

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION MATERAIL(PEM)	305.067 €
PRESUPUESO DE EJECUCION POR CONTRATA(PEC)	363.033 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION	439.266 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION POR AÑO	87.853 €

TABLA 51. Presupuesto final de mantenimiento del sistema de iluminación natural..

Finalmente el gasto relacionado con los sistemas de iluminación para los dos supuestos de iluminación mixta que se han planteado son:

PRECIO FACTURA DE LA LUZ para 10%	46,225 €
PRECIO RENOVACIÓN DE LUMINARIAS	87,853 €
IMPORTE TOTAL	134,078 €

TABLA 52. Gasto anual total tras instalación del sistema de iluminación natural suponiendo 10% de artificial

PRECIO FACTURA DE LA LUZ para 30%	138,55€
PRECIO RENOVACIÓN DE LUMINARIAS	87,853 €
IMPORTE TOTAL	226,403 €

TABLA 53. Gasto anual total tras instalación del sistema de iluminación natural suponiendo 30% de artificial.

6.2.3 Análisis económico

A partir de los resultados obtenidos para el caso del uso exclusivo de iluminación natural y para los supuestos de iluminación mixta, la diferencia en cuanto al gasto relacionado con el consumo y el mantenimiento de los sistemas de iluminación es:

SITUACIÓN	CONSUMO	AHORRO
Todo iluminación artificial	619,97 €	-
Iluminación natural con 10% de artificial	134.078 €	485.894 €
Iluminación natural con 30% de artificial	226.403 €	393.567€

TABLA 54. Tabla comparativa de gastos.

Una vez obtenidos todos los resultados necesarios se va a llevar a cabo el estudio de viabilidad económica de instalación de la propuesta de iluminación natural.

Los parámetros usados para determinar la viabilidad del proyecto serán el VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno).

El VAN representa el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Se obtendrá el VAN para varios valores de interés bancario para observar su evolución en función de éstos.

El TIR representa la tasa interna de retorno de una inversión, éste nos aportará información acerca de, para un determinado periodo de tiempo, a partir de qué interés la inversión será rentable. El TIR es el valor del interés para un valor del VAN de cero.

$$VAN = I - \sum_{t=0}^T \frac{r}{(1+i)^t}$$

- ✓ VAN: Valor actual neto.
- ✓ I: Inversión
- ✓ r: anualidad (cantidad recuperada cada año)
- ✓ i: intereses

Suponiendo una anualidad correspondiente al ahorro energético derivado del sistema de iluminación artificial y una vida útil de los sistemas de iluminación natural de 25 años. Los valores del **VAN** y el **TIR** son:

	INVERSIÓN	ANUALIDAD	VAN 2%	VAN 4 %	VAN 6 %	TIR
SUP. A(€)	7621,53	485,89	2.351	454	-924,335	4,6%
SUP. B(€)	7621,53	393,567	452	-1083	-2197	2,5%

TABLA 55. VAN y TIR.

Como puede observarse para el supuesto de 25 años de vida útil de la instalación del sistema iluminación natural sería rentable sí:

- **El supuesto A** correspondiente al aprovechamiento del 90% de la iluminación natural será rentable a partir de intereses menores al 4,6% correspondiente al valor del TIR.
- **El supuesto B** correspondiente al aprovechamiento del 70% de la iluminación natural será rentable a partir de intereses menores al 2,5% correspondiente al valor del TIR.

7. CONCLUSIONES.

Finalmente una vez se ha realizado el análisis de los resultados, las conclusiones obtenidas son:

- De las tres propuestas analizadas ha sido la propuesta de iluminación cenital la que mejor resultados ha aportado y la que finalmente se ha desarrollado. Gracias a ello se ha conseguido cumplir para la mayoría de las épocas del año con los objetivos de:
 - ✓ Valores medios de iluminación.
 - ✓ Uniformidad de la iluminación.
 - ✓ Factor de luz de día.
 - ✓ Deslumbramientos
- Los deslumbramientos suponen un problema de la iluminación natural y no existe ningún método generalizado para determinar su alcance. Solo se ha comprobado esta cuestión con el ángulo de incidencia.
- El exceso de iluminación natural en las épocas de verano ha sido un problema debido al lugar geográfico donde se ubica la planta. Ello ha obligado a disponer de sistemas de reducción de superficie útil en condiciones de verano, encareciendo el propio sistema.
- Los sistemas de iluminación exclusivamente natural son inviables. Siempre es necesario apoyar este sistema de iluminación con aportación de iluminación artificial por la propia variabilidad de la bóveda celeste.
- Resulta difícil valorar la eficacia de los sistema de iluminación natural de este tipo de edificaciones industriales(recintos diáfanos de grandes dimensiones) debido a que no existen umbrales claros sobre los niveles de uniformidad en iluminación ni de eficiencia energética (VEEI) con lo que comparar.
- El empleo de sistemas de iluminación natural disminuye el valor del VEEI. No obstante el valor del VEEI propuesto por CTE de la edificación no tiene en cuenta la variación del mismo a lo largo del día al suponer una potencia fija.
- A la vista de los resultados obtenidos el rendimiento del recinto diáfano estudiado no supera en ninguna caso el 40%
- Se ha conseguido un considerable ahorro energético mediante la instalación del sistema de iluminación natural. Esto se ha podido comprobar mediante la comparación de los gastos de energía eléctrica.

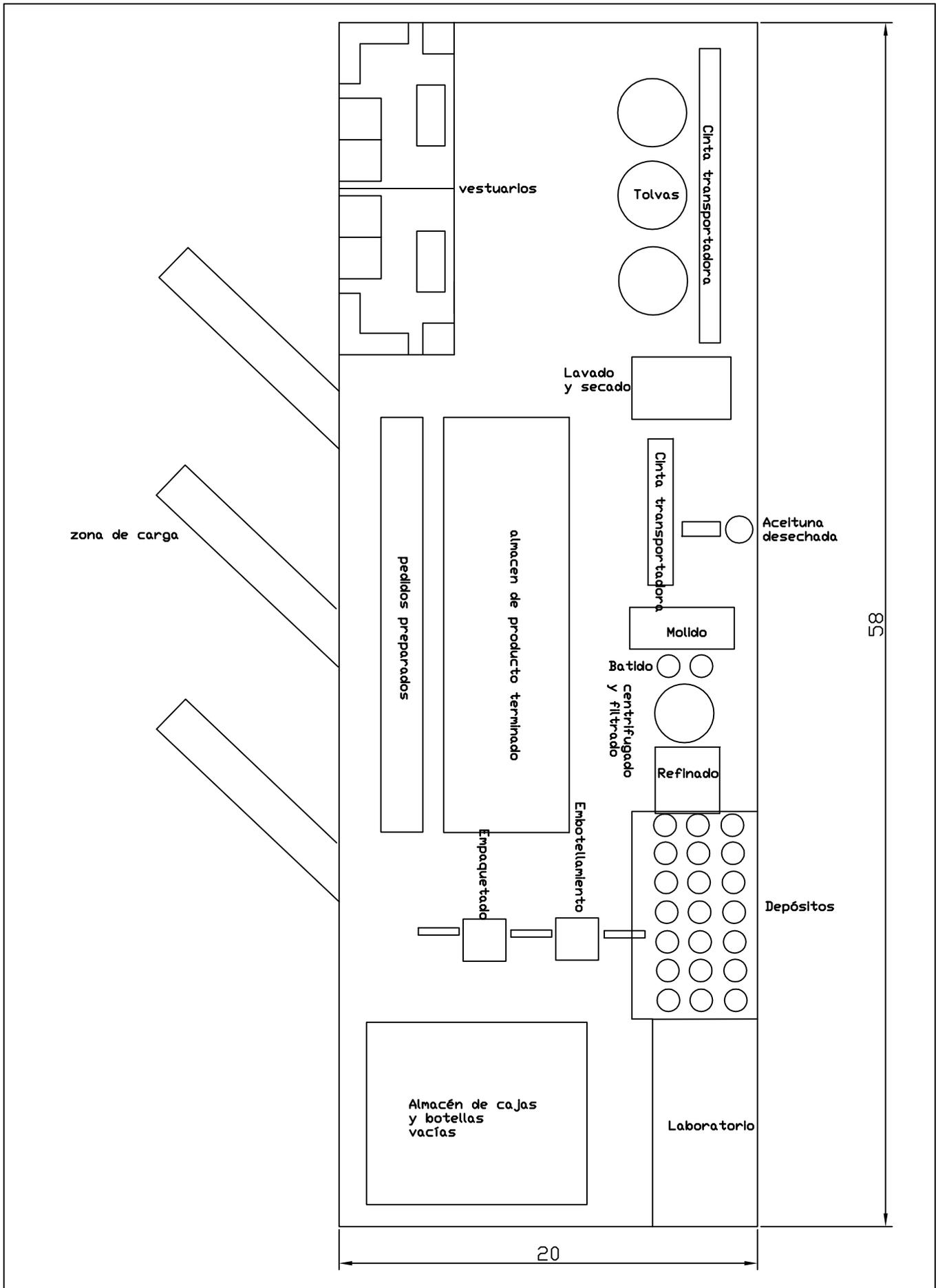
- A partir del balance económico realizado y mediante el cálculo del VAN y el TIR se han determinado las condiciones con las que sería económicamente rentable realizar esta inversión.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Vincent, M.C., Álvarez, S. “*Química Industrial Orgánica*”, Universidad Politécnica de Valencia. Ref.: 2006-4208
2. CTE_DB_HE_Ahorro_Energia - HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
3. Guía técnica de aprovechamiento de luz natural.
4. UNE 12464.1 Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.
5. IDAE: Guía Técnica- Aprovechamiento de luz natural en la iluminación de edificios. Anexo IV (IDAE_GUIA_TECNICA_Luz_Natural).
6. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
7. Gómez-Senent Martínez, E.; Sánchez Romero, M. A.; González Cruz, M^a “*C. Cuadernos de ingeniería de proyectos II: Del diseño de detalle a la Realización.*” Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. 2010
8. J.L. Vivancos y R. Viñoles, Capítulo 10 de “*Proyectos de Ingeniería Ingeniería. Apuntes*”.

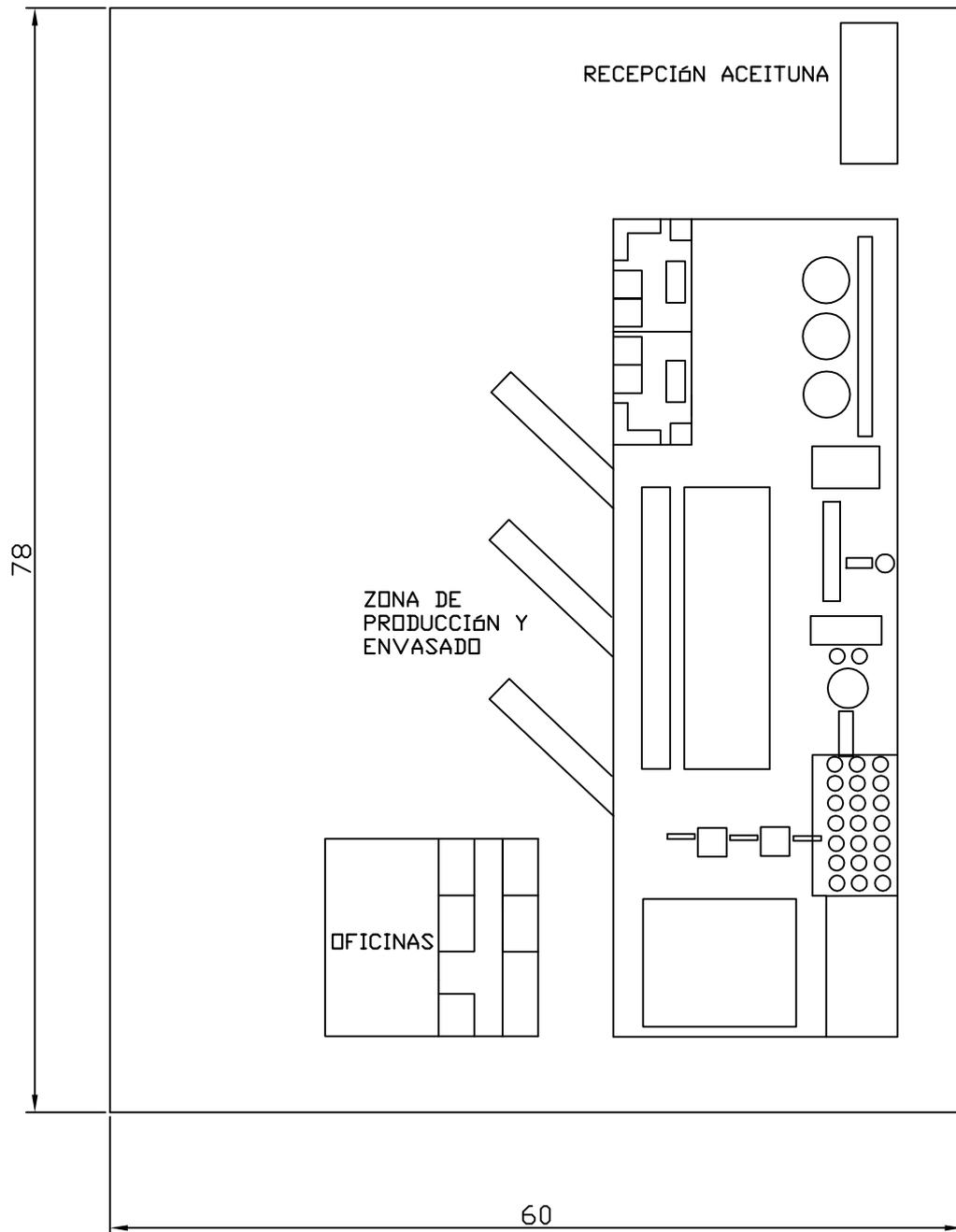
9. ANEXOS

ANEXO 1



ESCALA: 1:250	PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA		
FECHA: 10/7/2014			
FICHERO: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	PROYECTISTA: JOSE CARLOS SÁNCHEZ	 <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</p>	FIRMA
Nº PLANO: 1			

ANEXO 2



ESCALA: 1/500

FECHA: 04/7/2014

PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

FICHERO: PARCELA Y PLANTA

PROYECTISTA: JOSE CARLOS SÁNCHEZ

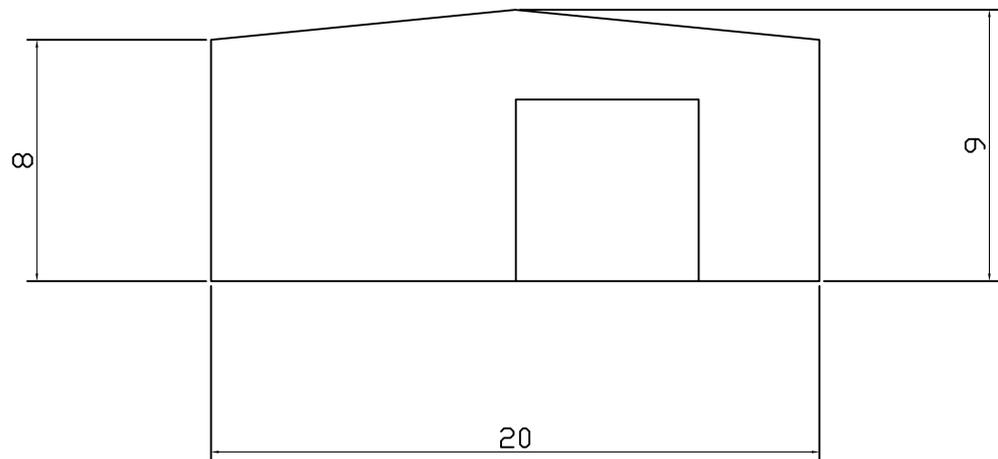


ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

FIRMA

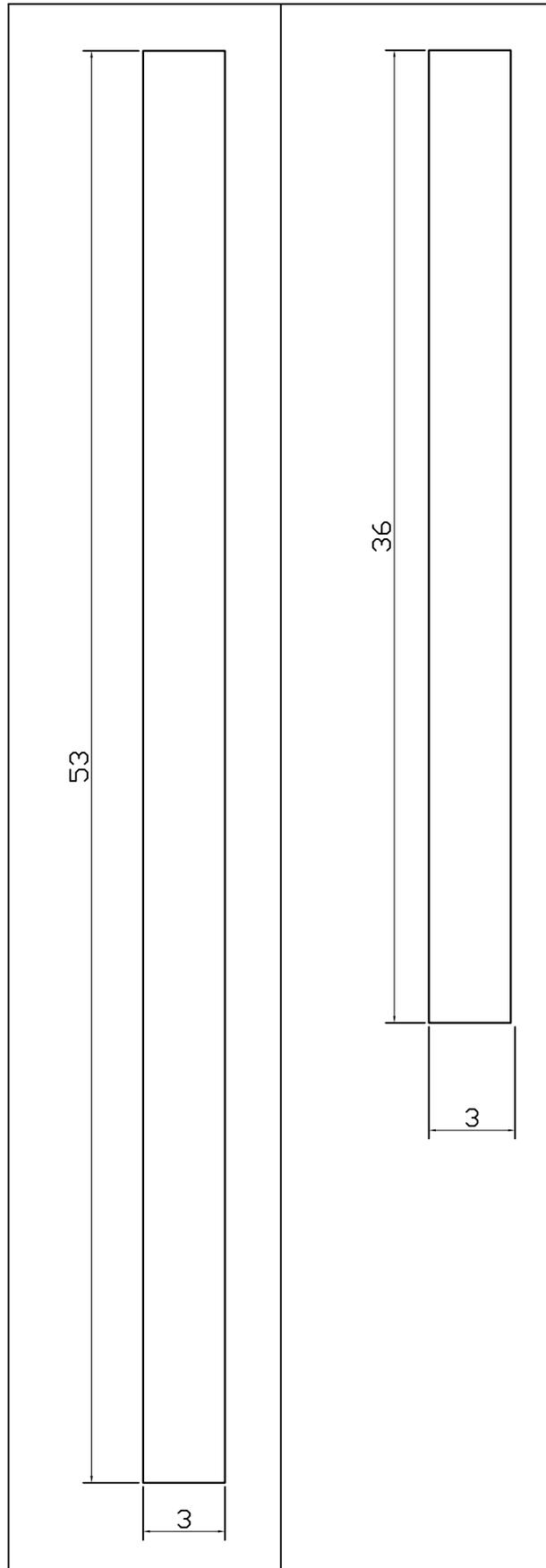
Nº PLANO: 2

ANEXO 3



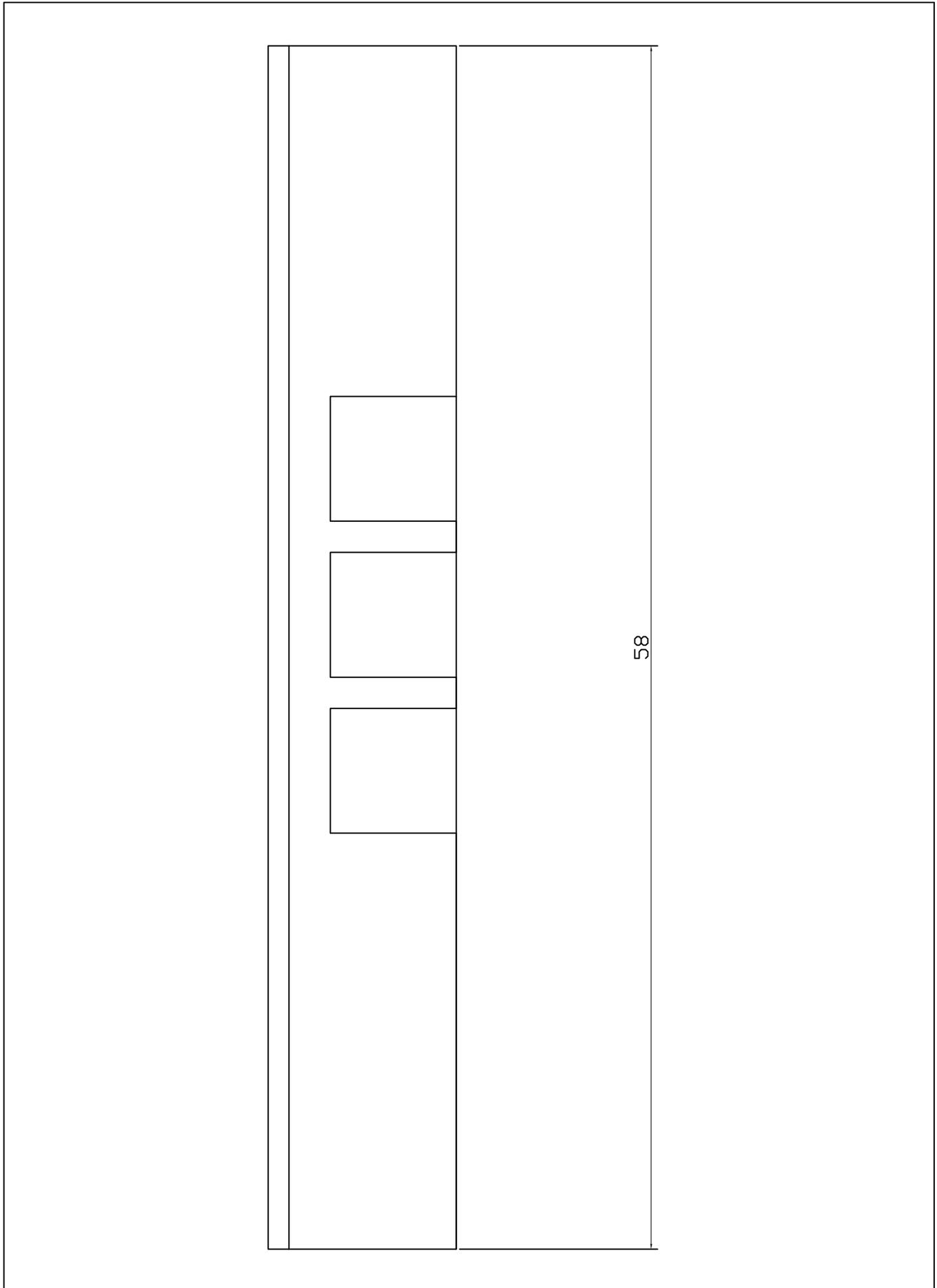
ESCALA: 1:250	PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA		
FECHA: 10/7/2014			
FICHERO: ALZADO DESTE	PROYECTISTA: JOSE CARLOS SÁNCHEZ	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	FIRMA
Nº PLANO: 3			

ANEXO 4



ESCALA: 1:250	PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA		
FECHA: 10/7/2014			
FICHERO: PLANTA	PROYECTISTA: JOSE CARLOS SÁNCHEZ	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	FIRMA
Nº PLANO: 4			

ANEXO 5



ESCALA: 1:250	PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA		
FECHA: 10/7/2014			
FICHERO: PERFIL SUR	PROYECTISTA: JOSE CARLOS SÁNCHEZ	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	FIRMA
Nº PLANO: 5			