



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**Curso Académico:**



## RESUMEN

El uso de sistemas de iluminación natural supone un gran ahorro económico (frente al uso de sistemas de iluminación artificial) para las plantas industriales que desarrollan su actividad durante largos periodos. En este trabajo se realizará el diseño y estudio de un sistema de iluminación natural para una planta industrial del sector cerámico cuya localización se encuentra en la ciudad de Castellón de la Plana, provincia de Castellón.

En la primera parte del trabajo se presentará la planta estudiada, realizando una descripción del producto fabricado, una contextualización del sector cerámico, una descripción del proceso productivo y se expondrá la distribución en planta estudiada.

Seguidamente se realizará una pequeña introducción sobre conceptos necesarios en el ámbito de la iluminación necesarios para la comprensión de dicho trabajo.

A continuación se presenta el desarrollo del sistema de iluminación natural. En dicho desarrollo se realizará una propuesta inicial y seguidamente se realizará una mejora de dicha propuesta. En ambas propuestas se estudiarán los resultados luminotécnicos para valorar posibles acciones guiadas a mejorar la propuesta inicial y para evaluar la mejora realizada en la propuesta de mejora. También, se realizará una aproximación a un sistema de iluminación artificial con el fin de poder evaluar el aumento de la eficiencia energética en iluminación cuando se usan sistemas de iluminación natural.

Finalmente, se desarrollará un presupuesto para implementar el sistema de iluminación natural diseñado y se realizará un análisis económico donde se indicarán las condiciones económicas que harán que sea rentable implementar dicho sistema de iluminación natural.



## PRÓLOGO

Los motivos por los que he realizado el siguiente TFG son tanto académicos como personales.

El principal motivo académico por el que realizo este TFG es el haber cursado la asignatura de *Construcción y Arquitectura Industrial* de la mención de *Diseño Industrial* del Grado en Ingeniería Química. Durante el transcurso de dicha asignatura fui adquiriendo conocimientos sobre construcción de plantas industriales y me di cuenta que aun no estando esta asignatura directamente relacionada con la Ingeniería Química, es muy importante para un ingeniero conocer sobre qué estructuras se está apoyando y resguardando su proceso, y cómo es la calidad de la iluminación existente en la planta (ya que una buena iluminación supone un menor riesgo en el desarrollo de las actividades del proceso).

En cuanto a los motivos personales, el deseo de poder desarrollar correctamente un trabajo de una elevada importancia fue lo que me condujo a realizar este TFG. Tras una mala experiencia en el desarrollo de un TFG donde prácticamente perdí la ilusión por ser Ingeniero Químico, mejorar profesionalmente, y donde no aprendí a desarrollar correctamente un trabajo de tal importancia me dieron muy buenas referencias sobre este TFG y sobre su tutora. Es por ello, que con esperanzas e ilusiones renovadas elegí realizar este TFG.

Finalmente, quiero agradecer tanto a M<sup>a</sup> Cristina Santamarina Siurana como a mi familia. Empezando por mi tutora, M<sup>a</sup> Cristina, le agradezco la tranquilidad que me ha transmitido durante la tutorización y a su vez el correcto seguimiento del trabajo y los conocimientos transmitidos para poder realizar un TFG correctamente. En cuanto a mi familia, darles las gracias por todo el apoyo mostrado y su preocupación constante en que este TFG saliera adelante. En especial, quiero agradecer a mi padre, cuyo ejemplo de supervivencia y lucha constante por recuperarse me ha enseñado a distinguir y valorar las cosas importantes de la vida y a no cesar de luchar por mis objetivos y mis sueños.



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE GRÁFICAS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
<b>2. BALDOSAS CERÁMICAS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. SECTOR CERÁMICO .....</b>	<b>8</b>
3.1. CONTEXTO ECONÓMICO MUNDIAL.....	8
3.2. CONTEXTO ECONÓMICO ESPAÑOL.....	10
3.3. CONTEXTO ECONÓMICO COMUNIDAD VALENCIANA .....	12
<b>4. PLANTA DE FABRICACIÓN DE AZULEJOS.....</b>	<b>14</b>
4.1. PROCESO PRODUCTIVO .....	14
4.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA .....	18
<b>5. ILUMINACIÓN.....</b>	<b>20</b>
5.1. REQUISITOS DE LA PLANTA.....	21
5.2. MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO.....	23
5.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	25
<b>6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL .....</b>	<b>27</b>
6.1. INTRODUCCIÓN.....	27
6.2. REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS DE LA PLANTA .....	27
6.3. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE APERTURAS TEÓRICA.....	31
6.4. PROPUESTAS DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	32
6.4.1. <i>Simulación con DIALUX.....</i>	<i>32</i>
6.4.2. <i>Propuesta Inicial.....</i>	<i>34</i>
6.4.3. <i>Propuesta de Mejora.....</i>	<i>47</i>
6.4.4. <i>Resumen de resultados – Propuesta Inicial y Propuesta de Mejora.....</i>	<i>62</i>
6.4.5. <i>Propuesta práctica.....</i>	<i>64</i>
6.4.6. <i>Resumen de resultados – Propuesta Práctica .....</i>	<i>75</i>
6.5. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	77
6.6. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN .....	77
<b>7. ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>79</b>
7.1. PRESUPUESTO.....	79
7.2. BALANCE ECONÓMICO.....	83
7.2.1. <i>Iluminación Artificial.....</i>	<i>83</i>
7.2.2. <i>Iluminación Mixta.....</i>	<i>92</i>
7.2.3. <i>Análisis Económico.....</i>	<i>104</i>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>9 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 1 - LUMINARIA.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 2 - PLANOS.....</b>	<b>115</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: <i>PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BALDOSAS CERÁMICAS EN 2012. (STOCK, 2013)</i> .....	8
TABLA 2: <i>CONSUMO MUNDIAL DE BALDOSAS CERÁMICAS EN 2012. (STOCK, 2013)</i> .....	9
TABLA 3: <i>EXPORTACIÓN MUNDIAL DE BALDOSAS CERÁMICAS EN 2012. (STOCK, 2013)</i> .....	9
TABLA 4: <i>PRODUCCIÓN Y VENTAS DEL SECTOR CERÁMICO ESPAÑOL. (FUENTE: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS; ASCER)</i> .....	11
TABLA 5: <i>EXPORTACIÓN ESPAÑOLA POR PAÍSES. (FUENTE: DEPARTAMENTO DE ADUANAS E IMPUESTOS ESPECIALES Y ELABORACIÓN PROPIA.)</i> .....	11
TABLA 6: <i>DATOS SECTOR CERÁMICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. (FUENTE: INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA (IVE) DATOS 2012)</i> .....	12
TABLA 7: <i>EVOLUCIÓN COMERCIO EXTERIOR COMUNIDAD VALENCIANA. (FUENTE: INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA (IVE))</i> .....	13
TABLA 8: <i>ZONAS DE TRÁFICO DENTRO DE EDIFICIOS (TABLA 5.1 - UNE-EN 12464-1)</i> .....	27
TABLA 9: <i>ÁREAS GENERALES DENTRO DE EDIFICIOS - SALAS DE ALMACENAMIENTO, ALMACENES FRÍOS (TABLA 5.4 - UNE-EN 12464-1)</i> .....	28
TABLA 10: <i>ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y ARTESANALES - CERÁMICA, TEJAS, VIDRIO, ARTÍCULOS DE VIDRIO (TABLA 5.9 - UNE-EN 12464-1)</i> .....	28
TABLA 11: <i>NIVELES DE ILUMINACIÓN MEDIA IMPUESTOS.</i> .....	29
TABLA 12: <i>VALORES DE LOS PARÁMETROS PARA CÁLCULO DE APERTURAS TEÓRICAS.</i> .....	31
TABLA 13: <i>RESULTADOS MÉTODO ANALÍTICO.</i> .....	32
TABLA 14: <i>UBICACIÓN DE LA PLANTA.</i> .....	32
TABLA 15: <i>FACTOR DE DEGRADACIÓN.</i> .....	33
TABLA 16: <i>GRADOS DE REFLEXIÓN.</i> .....	33
TABLA 17: <i>FACTORES DE LUZ DIURNA.</i> .....	33
TABLA 18: <i>FECHA Y HORA DE SIMULACIÓN.</i> .....	33
TABLA 19: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 1 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	36
TABLA 20: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 2 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	36
TABLA 21: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 3 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	37
TABLA 22: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 4 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	37
TABLA 23: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 5 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	38
TABLA 24: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 6 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	38
TABLA 25: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 7 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	39
TABLA 26: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 8 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	39
TABLA 27: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 9 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	40
TABLA 28: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 10 Y 11 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	40
TABLA 29: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 12 Y 13 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	41
TABLA 30: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 14, 15 Y 16 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	41
TABLA 31: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 17 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	42
TABLA 32: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 18 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	42
TABLA 33: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 19 Y 20 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	43
TABLA 34: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 21 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	43
TABLA 35: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DE LAS ZONAS 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 Y 42 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	44
TABLA 36: <i>RESULTADO LUMINOTÉCNICO ZONAS 43 Y 47 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	45
TABLA 37: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 44 Y 48 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	45
TABLA 38: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 45 Y 46 (PROPUESTA INICIAL).</i> .....	46
TABLA 39: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 1.</i> .....	49
TABLA 40: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 2.</i> .....	49
TABLA 41: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 3.</i> .....	50
TABLA 42: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 4.</i> .....	50
TABLA 43: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 5.</i> .....	51
TABLA 44: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 6.</i> .....	51
TABLA 45: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 7.</i> .....	52
TABLA 46: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 8.</i> .....	52
TABLA 47: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 9.</i> .....	53

TABLA 48: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 10 Y 11</i> .....	54
TABLA 49: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 12 Y 13</i> .....	54
TABLA 50: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 14, 15 Y 16</i> .....	55
TABLA 51: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 17</i> .....	56
TABLA 52: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 18</i> .....	56
TABLA 53: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 19 Y 20</i> .....	57
TABLA 54: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 21</i> .....	58
TABLA 55: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 Y 42</i> .....	58
TABLA 56: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 43 Y 47</i> .....	59
TABLA 57: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 44 Y 48</i> .....	60
TABLA 58: <i>COMPARACIÓN RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 45 Y 46</i> .....	61
TABLA 59: <i>CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS (PROPUESTA INICIAL Y PROPUESTA DE MEJORA)</i> .....	63
TABLA 60: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 1 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	65
TABLA 61: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 2 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	65
TABLA 62: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 3 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	66
TABLA 63: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 4 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	66
TABLA 64: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 5 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	67
TABLA 65: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 6 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	67
TABLA 66: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 7 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	67
TABLA 67: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 8 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	68
TABLA 68: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 9 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	68
TABLA 69: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 10 Y 11 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	69
TABLA 70: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 12 Y 13 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	69
TABLA 71: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 14, 15 Y 16 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	70
TABLA 72: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 17 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	70
TABLA 73: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 18 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	71
TABLA 74: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 19 Y 20 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	71
TABLA 75: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONA 21 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	72
TABLA 76: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS DE LAS ZONAS 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 Y 42 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	72
TABLA 77: <i>RESULTADO LUMINOTÉCNICO ZONAS 43 Y 47 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	73
TABLA 78: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 44 Y 48 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	73
TABLA 79: <i>RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS ZONAS 45 Y 46 (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	74
TABLA 80: <i>CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS (PROPUESTA PRÁCTICA)</i> .....	76
TABLA 81: <i>ILUMINACIÓN ARTIFICIAL</i> .....	77
TABLA 82: <i>VEEI 100% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL</i> .....	78
TABLA 83: <i>VEEI 40% ILUMINACIÓN NATURAL + 60% ILUMINACIÓN NATURAL</i> .....	78
TABLA 84: <i>VEEI 20% ILUMINACIÓN NATURAL + 80% ILUMINACIÓN NATURAL</i> .....	78
TABLA 85: <i>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS</i> .....	80
TABLA 86: <i>CUADRO DE MEDICIONES</i> .....	82
TABLA 87: <i>CUADRO DE PRECIOS PARCIALES</i> .....	82
TABLA 88: <i>PRESUPUESTO FINAL</i> .....	82
TABLA 89: <i>POTENCIAS PLANTA</i> .....	83
TABLA 90: <i>DISCRIMINACIÓN HORARIA TARIFA 6.1A</i> .....	84
TABLA 91: <i>TÉRMINO DE POTENCIA</i> .....	85
TABLA 92: <i>HORAS DIARIAS TARIFA 6.1A</i> .....	85
TABLA 93: <i>ENERGÍA ELÉCTRICA PARA CADA MES</i> .....	86
TABLA 94: <i>TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</i> .....	87
TABLA 95: <i>IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD</i> .....	88
TABLA 96: <i>IVA</i> .....	89
TABLA 97: <i>IMPORTE TOTAL FACTURA ELÉCTRICA</i> .....	90
TABLA 98: <i>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS (ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL)</i> .....	91
TABLA 99: <i>CUADRO DE MEDICIONES (ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL)</i> .....	91
TABLA 100: <i>CUADRO DE PRECIOS PARCIALES (ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL)</i> .....	91
TABLA 101: <i>PRESUPUESTO FINAL (ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL)</i> .....	92
TABLA 102: <i>GASTO ANUAL EN ILUMINACIÓN (ILUMINACIÓN 100% ARTIFICIAL)</i> .....	92
TABLA 103: <i>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS (MANTENIMIENTO LUCERNARIOS)</i> .....	92
TABLA 104: <i>CUADRO DE MEDICIONES (MANTENIMIENTO LUCERNARIOS)</i> .....	93

TABLA 105: CUADRO DE PRECIOS PARCIALES (MANTENIMIENTO LUCERNARIOS).....	93
TABLA 106: PRESUPUESTO FINAL (MANTENIMIENTO LUCERNARIOS).....	93
TABLA 107: POTENCIA PLANTA (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	94
TABLA 108: TÉRMINO DE POTENCIA (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	95
TABLA 109: TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	95
TABLA 110: IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	96
TABLA 111: IVA (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	96
TABLA 112: IMPORTE TOTAL FACTURA ELÉCTRICA (40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	97
TABLA 113: POTENCIA PLANTA (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	98
TABLA 114: TÉRMINO DE POTENCIA (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	99
TABLA 115: TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	99
TABLA 116: IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	100
TABLA 117: IVA (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	100
TABLA 118: IMPORTE TOTAL FACTURA ELÉCTRICA (20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL).....	101
TABLA 119: CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS (ILUMINACIÓN 40% ARTIFICIAL).....	101
TABLA 120: CUADRO DE MEDICIONES (ILUMINACIÓN 40% ARTIFICIAL).....	102
TABLA 121: CUADRO DE PRECIOS PARCIALES (ILUMINACIÓN 40% ARTIFICIAL).....	102
TABLA 122: PRESUPUESTO FINAL (ILUMINACIÓN 40% ARTIFICIAL).....	102
TABLA 123: CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS (ILUMINACIÓN 20% ARTIFICIAL).....	103
TABLA 124: CUADRO DE MEDICIONES (ILUMINACIÓN 20% ARTIFICIAL).....	103
TABLA 125: CUADRO DE PRECIOS PARCIALES (ILUMINACIÓN 20% ARTIFICIAL).....	103
TABLA 126: PRESUPUESTO FINAL (ILUMINACIÓN 20% ARTIFICIAL).....	104
TABLA 127: GASTO ANUAL EN ILUMINACIÓN (ILUMINACIÓN 40% ARTIFICIAL).....	104
TABLA 128: GASTO ANUAL EN ILUMINACIÓN (ILUMINACIÓN 20% ARTIFICIAL).....	104
TABLA 129: AHORRO SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	104
TABLA 130: VAN Y TIR.....	106



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: <i>DIAGRAMA DE BLOQUES</i> .....	17
FIGURA 2: <i>DISTRIBUCIÓN EN PLANTA</i> .....	18
FIGURA 3: <i>DISPOSICIONES TÍPICAS DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL</i> . (FUENTE: APUNTES POLIFORMAT DE LA ASIGNATURA TEORÍA DE CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA INDUSTRIAL) .....	21
FIGURA 4: <i>FACTOR DE VENTANAS</i> . (FUENTE: APUNTES POLIFORMAT DE LA ASIGNATURA TEORÍA DE CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA INDUSTRIAL).....	24
FIGURA 5: <i>FACTOR CARACTERÍSTICO DE REDUCCIÓN VENTANA-MURO</i> . (FUENTE: APUNTES POLIFORMAT DE LA ASIGNATURA TEORÍA DE CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA INDUSTRIAL).....	24
FIGURA 6: <i>RENDIMIENTO DEL RECINTO</i> . (FUENTE: APUNTES POLIFORMAT DE LA ASIGNATURA TEORÍA DE CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA INDUSTRIAL).....	25
FIGURA 7: <i>ZONAS ILUMINACIÓN</i> .....	30
FIGURA 8: <i>RESULTADO PROPUESTA INICIAL</i> .....	35
FIGURA 9: <i>RESULTADO PROPUESTA DE MEJORA</i> .....	48
FIGURA 10: <i>RESULTADO PROPUESTA PRÁCTICA</i> .....	64

## ÍNDICE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: <i>EVOLUCIÓN COMERCIO EXTERIOR COMUNIDAD VALENCIANA</i> . (FUENTE: INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA (IVE)) .....	13
--	----



## 1. OBJETIVOS

Los objetivos de este TFG son los siguientes:

- Estudiar los diferentes sistemas de iluminación natural al objeto de seleccionar una para la planta de estudio.
- Diseñar y analizar un sistema de iluminación natural para una planta dedicada a la producción de baldosas cerámicas.
- Analizar la eficiencia energética en iluminación para diversos sistemas de iluminación mixta (natural y artificial).
- Realizar un presupuesto para el sistema de iluminación natural.
- Realizar un balance económico donde se observe la viabilidad de implantar y utilizar un sistema de iluminación natural.
- Familiarizarse con la normativa vigente sobre sistemas de iluminación natural.
- Aprender el uso de software para el estudio de sistemas de iluminación natural y sistemas de iluminación artificial.

## 2. BALDOSAS CERÁMICAS

Las baldosas cerámicas, fabricadas a partir de arcillas, sílice, fundentes, colorantes y otras materias primas, son piezas cerámicas planas de poco espesor que se utilizan para pavimentar suelos y revestir paredes y fachadas. Su estructura consiste en un soporte de arcilla (de cocción roja o de cocción blanca), una capa opcional de engobe (como elemento de transición entre el soporte de arcilla y la capa de esmalte), y un recubrimiento vítreo (el esmalte cerámico).

Las principales funciones de las baldosas cerámicas son: (1) la pavimentación (interior y exterior de viviendas, interior y exterior de locales públicos, piscinas, suelos industriales...) y (2) el revestimiento (interior y exterior de viviendas, interior de locales públicos, piscinas...).

### 3. SECTOR CERÁMICO

El sector cerámico industrial se organiza en unas concentraciones territoriales o “clústeres” donde se concentran la mayoría de los agentes o industrias participantes en la producción de productos cerámicos. Los agentes o industrias participantes que se encuentran dentro de estos clústeres son: la industria proveedora de esmaltes, fritas y maquinaria cerámica, y las instituciones públicas y privadas que apoyan y contribuyen al desarrollo del sector cerámico.

Los principales clústeres del sector cerámico mundial se encuentran en Brasil (uno en Santa Catarina y dos en el estado de Sao Paulo), en Portugal (en la zona de Aveiro), en Italia (en la provincia de la Emilia Romagna), y en España (en Castellón). Estos clústeres están perdiendo importancia debido al acentuado crecimiento del sector cerámico chino.

#### 3.1. Contexto Económico Mundial

En el ámbito internacional, la producción, consumo y exportación del sector cerámico ha ido aumentando desde el año 2009. En concreto, durante el año 2012, el sector cerámico creció tanto en producción como en consumo y en exportación. Este crecimiento se ve reflejado en un aumento del 5,4% en producción (ver Tabla 1), del 4,6% en consumo (ver Tabla 2), y del 21.6% en los flujos de importación-exportación (ver Tabla 3).

#### WORLD MANUFACTURING AREAS

AREAS	2012 (Sq.mt. Mill.)	% on world production	% var. 12/11
EUROPEAN UNION (27)	1,168	10.5	-0.8
OTHER EUROPE (Turkey included)	532	4.8	+8.6
NORTH AMERICA (Mexico included)	300	2.7	+4.2
CENTRAL-SOUTH AMERICA	1,138	10.2	+3.6
ASIA	7,674	68.7	+6.4
AFRICA	349	3.1	+7.1
OCEANIA	5	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>11,166</b>	<b>100.0</b>	<b>+5.4</b>

Tabla 1: *Producción mundial de baldosas cerámicas en 2012. (Stock, 2013)*

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

**WORLD CONSUMPTION AREAS**

AREAS	2012 (Sq.mt. Mill.)	% on world consumption	% var. 12/11
EUROPEAN UNION (27)	874	8.0	-5.9
OTHER EUROPE (Turkey included)	528	4.8	+10.7
NORTH AMERICA (Mexico included)	426	3.9	+5.7
CENTRAL-SOUTH AMERICA	1,221	11.2	+5.3
ASIA	7,214	66.1	+4.4
AFRICA	609	5.6	+18.7
OCEANIA	40	0.4	-4.8
<b>TOTAL</b>	<b>10,912</b>	<b>100.0</b>	<b>+4.6</b>

Tabla 2: *Consumo mundial de baldosas cerámicas en 2012.* (Stock, 2013)

**WORLD EXPORTING AREAS**

AREAS	2012 (Sq.mt. Mill.)	% on world consumption	% var. 12/11
EUROPEAN UNION (27)	745	6.8	+4.9
OTHER EUROPE (Turkey included)	147	1.3	+6.5
NORTH AMERICA (Mexico included)	72	0.6	+7.5
CENTRAL-SOUTH AMERICA	115	1.1	-2.5
ASIA	1,221	11.2	+10.8
AFRICA	58	0.5	+45.0
OCEANIA	1	0.0	-
<b>TOTAL</b>	<b>2,358</b>	<b>21.6</b>	<b>+8.4</b>

Tabla 3: *Exportación mundial de baldosas cerámicas en 2012.* (Stock, 2013)

Atendiendo a los datos de producción de baldosas cerámicas por áreas, en la Tabla 1 se puede observar como la producción en Asia predomina sobre las demás áreas, siendo esta producción el 68,7% del total de producción mundial. Cabe mencionar que este predominio de Asia en la producción mundial de baldosas cerámicas es debido a la producción masiva de China, donde el 46,6% de la producción total mundial en el año 2012 fue de este país. En segundo lugar se encuentra la Unión Europea con el 10,5% de la producción mundial, con una producción del 10,2% de la producción mundial producido se encuentra el área de Centro-Sur América. Tras estas tres primeras y más importantes zonas productoras de baldosas cerámicas, se encuentran el resto, cuya producción conjunta asciende al 10,6% de la producción mundial. También cabe mencionar que la producción ha aumentado entre los años 2011 y 2012 en todas las áreas menos en la Unión Europea donde ha sufrido un descenso en su producción del -0,8%.

Siguiendo por los datos de consumo de baldosas cerámicas, en la Tabla 2 se puede observar el consumo de baldosas cerámicas por áreas geográficas. Como en el caso de producción, Asia es el mayor consumidor de baldosas cerámicas mundial, ya que consume dos tercios del consumo total del mundo, es decir, Asia consumió en el año 2012, 7.214 millones de metros cuadrados de baldosas cerámicas. Como segundo consumidor mundial de baldosas cerámicas se encuentra Centro-Sur América, el cual consumió 1.221 millones de metros cuadrados, es decir, esta área consumió el 11,2% del consumo total mundial en el año 2012. En tercer lugar se encuentra la Unión Europea, la cual consumió 874 millones de metros cuadrados (el 8,0% del consumo total mundial). Finalmente, en orden de consumo descendente, se encuentran África, el resto de Europa<sup>1</sup>, Norte América y Oceanía. Cabe destacar que el consumo entre los años 2011 y 2012 ha aumentado en todas las regiones salvo en la Unión Europea y Oceanía donde ha descendido un 5,9% y un 4,8% respectivamente.

Finalmente, observando la Tabla 3 se puede ver los datos de exportación de baldosas cerámicas por áreas geográficas. Como ocurría en la producción y consumo, Asia vuelve a ser el área que más metros cuadrados de baldosas cerámicas exportó en el año 2012, en concreto, Asia exportó 1.221 millones de metros cuadrados. Tras Asia se encuentra la Unión Europea, la cual con 745 millones de metros cuadrados es la segunda área geográfica que más exportó en el año 2012. En tercer lugar se encuentra el resto de Europa con una exportación de 147 millones de metros cuadrados. Finalmente, en orden descendente en términos de exportación, las demás áreas geográficas se ordenan de la siguiente manera: Centro-Sur América, Norte América, África y Oceanía. Cabe mencionar que toda la exportación en todas las áreas geográficas aumentó entre los años 2011 y 2012, con la excepción de Centro-Sur América donde las exportaciones bajaron.<sup>2</sup>

### 3.2. Contexto Económico Español

Atendiendo al marco económico del sector cerámico español, España es el primer país productor europeo y quinto mundial, sólo superado por China, Brasil, India e Irán. En cuanto a exportaciones, España vuelve a tener un papel importante ya que es el primer país exportador europeo y segundo mundial, solamente superado por China.

Tal y como se puede observar en la Tabla 4, desde el año 2009, la producción y las ventas totales han llevado una tendencia ascendente. En el año 2009 España producía 324 millones de metros cuadrado de baldosas cerámicas, y en el año 2013 produjo 420 millones de metros cuadrados, es decir, España aumentó un 29,6% su producción con respecto al 2009. En las ventas totales se da la misma situación, en el año 2009 se obtuvieron 2.591 millones de euros, y en el año 2013 se obtuvieron 2.793 millones de euros, es decir, España aumentó un 7,8% las ventas totales.

El crecimiento del sector cerámico español a lo largo de los años es debido al considerable aumento de las exportaciones, ya que el comercio interior muestra una fuerte inercia descendente a lo largo de los años. Las ventas nacionales entre los años 2009 y 2013 cayeron un 39,3% y las exportaciones aumentaron un 33,9% con respecto

---

<sup>1</sup> Países europeos no pertenecientes a la Unión Europea.

<sup>2</sup> No se toma en cuenta Oceanía debido a los valores de exportación bajos que posee.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

a los valores del año 2009. Debido a lo mencionado, el sector cerámico español sobrevive gracias a las ganancias provenientes de las exportaciones, las cuales supusieron en el año 2013 el 80,2% de las ventas totales.

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Producción</b> (millones de m <sup>2</sup> )	324	366	392	404	420
<b>Ventas mercado nacional</b> (millones de EUR)	918	801	705	575	557
<b>Exportación</b> (millones de EUR)	1.673	1.747	1.892	2.082	2.240
<b>Ventas totales</b> (millones de EUR)	2.591	2.548	2.597	2.656	2.793

**Tabla 4: Producción y ventas del sector cerámico español.** (Fuente: Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos; ASCER)

Los principales destinos de las baldosas y pavimentos cerámicos españoles se pueden observar en la Tabla 5. En primer lugar se encuentra Francia, seguido por Arabia Saudí y Rusia. Cabe mencionar que entre estos destinos de la exportación española, solamente en dos se ha visto reducida la exportación entre los años 2012 y 2013: en Francia y en Alemania (un 2,9% y un 1,4% respectivamente). Como apunte final a las exportaciones españolas, el impresionante aumento de las exportaciones españolas entre los años 2012 y 2013 a Libia del 110,3% reafirma a este país como uno de los grandes receptores de baldosas cerámicas españolas del mundo.

<b>Primeros Países</b>	<b>2012</b> (millones EUR)	<b>2013</b> (millones EUR)	<b>13/12</b> (%)
Francia	234,7	227,9	-2,9
Arabia Saudí	163,9	175,8	7,2
Rusia	160,8	169,2	5,2
Reino Unido	98,9	105,2	6,4
Argelia	83,3	99,5	19,4
Libia	44,9	94,3	110,3
EEUU	79,7	92,6	16,2
Israel	77,3	89,8	16,3
Alemania	83,0	81,9	-1,4
Italia	58,4	59,0	1,0

**Tabla 5: Exportación española por países.** (Fuente: Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales y elaboración propia.)

### 3.3. Contexto Económico Comunidad Valenciana

En España, el clúster cerámico más importante se encuentra en la provincia de Castellón, en especial, la zona delimitada al norte por Alcora y Borriol, al oeste por Onda, al sur por Nules, y al este por Castellón de la Plana. Debido a esto, la Comunidad Valenciana concentra el 39% del total de las empresas de la industria cerámica española, emplea a un 70% de los trabajadores y genera un importe neto de negocios<sup>3</sup> del 73%. Estos porcentajes para los azulejos en particular se elevan a un 76% de las empresas españolas cerámicas, un 93% del empleo y un 94% del importe neto de negocios. Todos estos porcentajes se pueden observar en la Tabla 6.

	<b>Industria</b>	<b>Productos Cerámicos</b>	<b>Azulejos</b>	<b>Total Cerámico</b>
<b>C. VALENCIANA</b>				
<b>Número de empresas</b>	16.434	101	197	298
<b>Personas ocupadas</b>	220.295	2.003	13.042	15.045
<b>Importe neto de la cifra de negocios (miles de EUR)</b>	53.724.449	282.211	2.500.583	2.782.794
<b>ESPAÑA</b>				
<b>Número de empresas</b>	127.800	499	258	757
<b>Personas ocupadas</b>	1.922.272	7.379	14.091	21.470
<b>Importe neto de la cifra de negocios (miles de EUR)</b>	570.984.367	1.147.880	2.649.746	3.797.626
<b>% C.VALENCIANA/ESPAÑA</b>				
<b>Número de empresas</b>	13	20	76	39
<b>Personas ocupadas</b>	12	27	93	70
<b>Importe neto de la cifra de negocios (miles de EUR)</b>	9	25	94	73

**Tabla 6: Datos sector cerámico de la Comunidad Valenciana.** (Fuente: Instituto Valenciano de Estadística (IVE) Datos 2012)

Atendiendo a las exportaciones, la Comunidad Valenciana es la primera región española exportadora de baldosas cerámicas. El 97% de las exportaciones españolas están originadas en la Comunidad Valenciana, y concretamente, en la provincia de Castellón se originaron el 79% de las exportaciones totales españolas del sector cerámico.

En primer lugar, como principal destino de las exportaciones provenientes de la Comunidad Valenciana, se encuentra Francia (con el 10% total), que junto con Arabia Saudí, Rusia y Reino Unido concentra el 30% del valor total exportado.

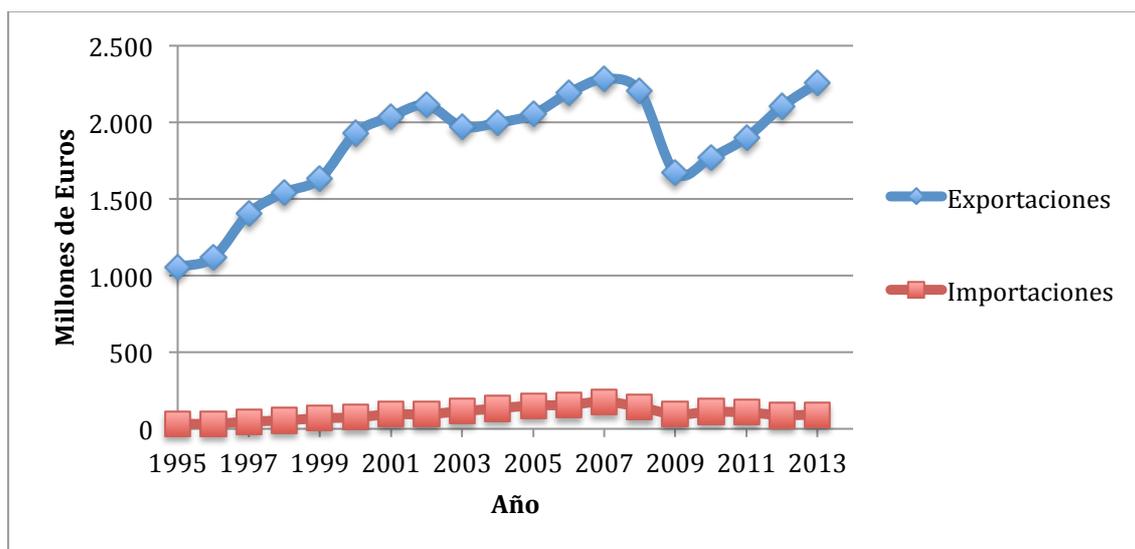
<sup>3</sup> Suma de ventas netas de productos, ventas netas de mercaderías y prestaciones de servicios.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

En la Tabla 7 y en la Gráfica 1 se puede observar la evolución del comercio exterior del sector cerámico valenciano. A lo largo de los años las exportaciones han mantenido una tendencia ascendente, menos en dos ocasiones donde la tendencia se invirtió. En cuanto a las importaciones, su valor es considerablemente menor que el de las exportaciones. Aun así, las importaciones tuvieron una tendencia ascendente hasta el año 2009, donde debido a la crisis económica las importaciones se redujeron.

<b>Años</b>	<b>Exportación (millones EUR)</b>	<b>Importación (millones EUR)</b>
1995	1.056	32
1996	1.118	33
1997	1.406	47
1998	1.542	55
1999	1.632	69
2000	1.928	75
2001	2.038	95
2002	2.113	95
2003	1.973	115
2004	1.997	133
2005	2.053	152
2006	2.192	156
2007	2.283	177
2008	2.203	142
2009	1.671	94
2010	1.771	111
2011	1.901	107
2012	2.104	89
2013	2.258	93

**Tabla 7: Evolución comercio exterior Comunidad Valenciana.** (Fuente: Instituto Valenciano de Estadística (IVE))



**Gráfica 1: Evolución comercio exterior Comunidad Valenciana.** (Fuente: Instituto Valenciano de Estadística (IVE))

## 4. PLANTA DE FABRICACIÓN DE AZULEJOS

A continuación se describirá el proceso productivo y la distribución en planta de una planta de producción de azulejos cerámicos, la cual posee una producción media anual de 3 millones de metros cuadrados.

### 4.1. Proceso Productivo

El proceso industrial seguido en esta planta es el típico de una fábrica de azulejos en la cual se siguen las siguientes operaciones (considerando que se abastece de tierra ya elaborada y preparada para ser utilizada en su sección de prensado):

#### Recepción de arcilla y alimentación a prensas

Periódicamente se realiza la descarga, mediante camiones, de la arcilla en la tolva de recepción, para que, posteriormente sea almacenada en los silos correspondientes provistos de indicadores de nivel de máxima y mínima carga. Posteriormente, y a través de una cinta, se alimentará, bien el coloreador en seco y posteriormente pasará a las tolvas de las prensas, o bien no se realizará el proceso de coloreado y la arcilla pasará directamente a la tolva de las prensas.

#### Coloreado de la arcilla

Este proceso se da sólo en determinados modelos y consiste en proporcionar a la arcilla primaria (arcilla blanca) un determinado color, en función del modelo a realizar, mediante adición de color calcinado micronizado que se añade directamente a la arcilla. Una vez homogeneizada la arcilla con el color, ésta pasa, mediante cintas transportadoras a la tolva de la prensa para el proceso de prensado.

#### Prensado y secado de piezas

El proceso consiste en el prensado de la materia prima, arcilla blanca, en la prensa. Mediante dicho prensado se proporciona a la arcilla una determinada forma, tamaño y textura en función del modelo que se pretende realizar.

Una vez prensadas, las piezas son enviadas al secadero rápido automático, a distintos planos de altura, por medio de un tramo de recogida y unido entre la prensa y el secadero.

Mediante el secado se pretende reducir considerablemente el grado de humedad de las piezas antes del proceso de esmaltación y/o cocción. El secadero está directamente unido en su salida con la línea de esmaltado.

### Preparación de esmaltes

La materia prima de la esmaltación es descargada en los molinos de tambor para su trituración en molinos de revestimiento interno y carga de bolas de esteatita. El agua para los molinos es alimentada por una tubería y controlada por medio de contadores de agua.

Está previsto un molino de pequeñas capacidades para efectuar las pruebas de trituración del esmalte en pequeñas cantidades. El esmalte descargado en los molinos, por medio de una bomba neumática, es enviado a la tina de recogida provista de agitadores. El esmalte, previo control a través de los vibrotamices, es transportado a las esmaltadoras por medio de los oportunos contenedores, en plástico, cargado sobre palets y transportado por una carretilla elevadora.

### Esmaltado

La esmaltación es efectuada con líneas automáticas directamente conexas al secadero rápido. Las esmaltadoras efectúan la esmaltación a monocolor con la posibilidad de obtener efectos especiales y están provistas de los grupos apropiados para su decoración.

A la salida de cada línea de esmaltación está prevista una máquina destinada a cargar azulejos a unas vagonetas, tipo bandejas (llamadas box), que una vez llenas, por medio de transbordadores, son colocadas como estocaje de producto crudo.

### Cocción

Los azulejos que están en las vagonetas, tipo bandejas, en el momento preciso, son colocadas delante de unas máquinas descargadoras que predisponen a los azulejos para ser introducidos en el horno. La cocción es efectuada en un horno monoestrato a rodillos.

La cocción en el horno es efectuada con combustible a gas natural. Consta de una primera zona de precalentamiento-secado, segunda zona de cocción y la última zona de enfriamiento.

El movimiento de avance de los azulejos se realiza por el giro de los rodillos por donde se apoyan, debido a un sistema de transmisión por engranajes.

### Clasificación y embalaje

A la salida del horno las piezas son recogidas automáticamente por una máquina de carga y almacenadas como estocaje de material cocido en boxes.

Posteriormente, atendiendo a la planificación de las líneas de clasificación, son descargadas de los boxes para la alimentación de la línea de selección, operación que se realiza empleando a un operario clasificador que marca las piezas y mediante lectores electrónicos distribuye las calidades de los azulejos a unos salientes de la máquina de selección, donde se apilan y embalan automáticamente pasando posteriormente a un paletizador, que las coloca automáticamente sobre palets, que posteriormente son enviados al almacén.

### Pulido y rectificado

En determinadas ocasiones, el material es sometido a un proceso posterior a su tratamiento térmico. Dicho proceso es el pulido y/o rectificado. El proceso de pulido consiste en el desbaste de la superficie del azulejo mediante una máquina especial vía húmeda, para conseguir un efecto similar al cristalizado. El proceso de rectificado consiste en el desbaste o corte, mediante una máquina especial vía húmeda, de los cuatro laterales del azulejo para eliminar los bordes de éste. En cualquier caso, el producto pulido y/o rectificado, como es tratado vía húmeda, se somete a un proceso de secado en un secadero vertical antes de ser cargado a los box para volver a ser llevados a la línea de clasificación y embalaje.

En la siguiente página se muestra el diagrama de bloques del sistema productivo que se ha descrito anteriormente.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

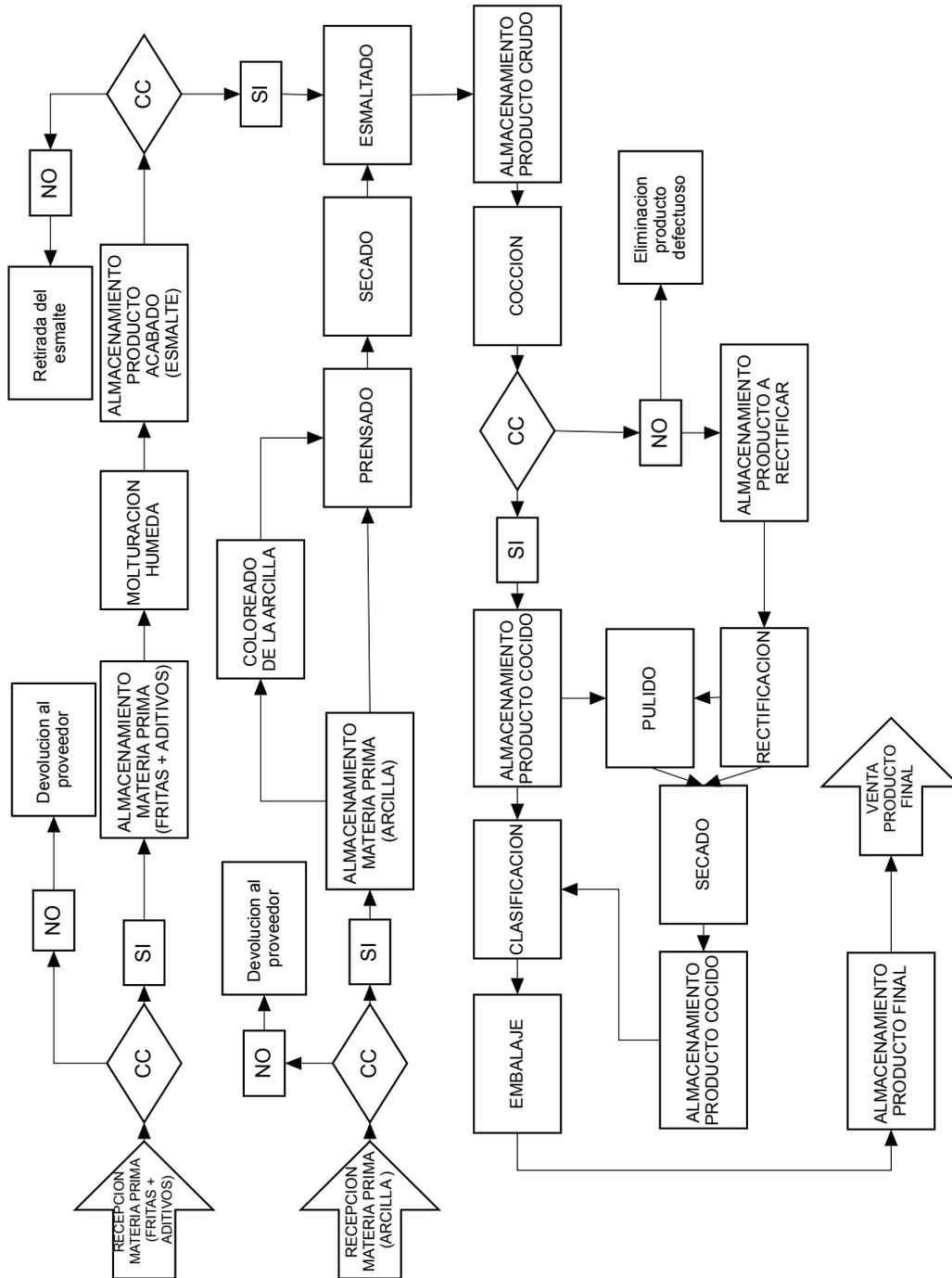


Figura 1: Diagrama de bloques.

### 4.2. Distribución en Planta

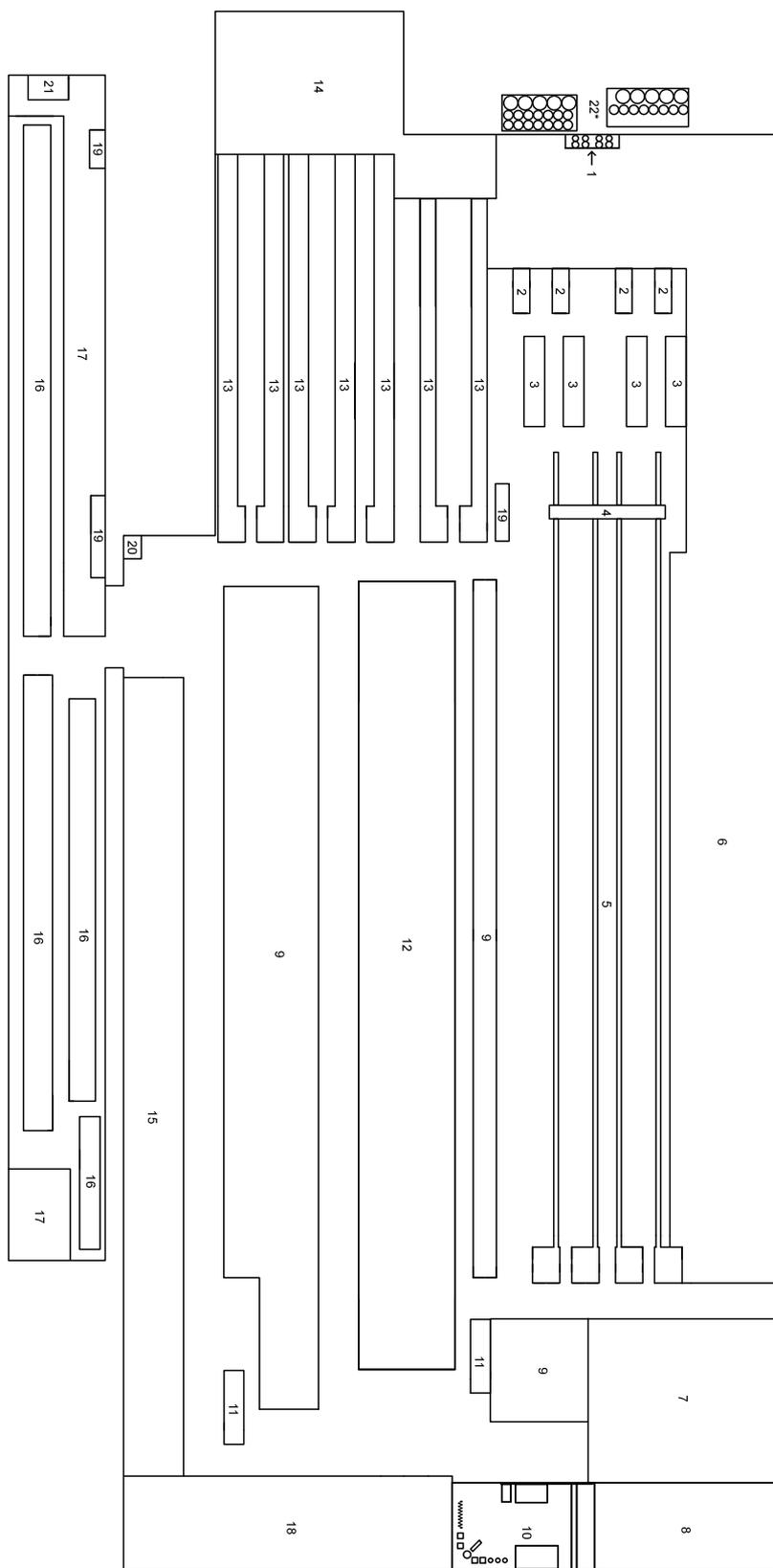


Figura 2: Distribución en planta.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Los elementos/zonas de la distribución en planta mostrada en la Figura 2 son las siguientes:

1. Coloreado de la arcilla
2. Prensas
3. Secadoras
4. Pasarelas
5. Líneas de esmaltado
6. Zona de almacenamiento materia prima
7. Zona de almacenamiento de fritas
8. Parque de contenedores de esmalte
9. Boxes
10. Serigrafía y bombos
11. Secadoras pre-horneado
12. Hornos
13. Líneas de clasificación y embalaje
14. Zona de almacenamiento del producto final
15. Zona de almacenamiento de elementos del horno y diversos materiales
16. Líneas de pulido y rectificado
17. Zona de almacenamiento del pulido y rectificado
18. Oficinas, aseos, laboratorio y mantenimiento
19. Oficinas
20. Aseos
21. Aseos y mantenimiento

## 5. ILUMINACIÓN

Una correcta iluminación es de gran importancia en los lugares de trabajo, y por tanto, un correcto diseño del sistema de iluminación aumentará la seguridad de los trabajadores cuando circulen por la planta y realicen sus respectivas actividades. La iluminación afecta directamente en el bienestar, tanto fisiológico como psicológico del trabajador, y por tanto, una iluminación con las características correctas provocará un mayor rendimiento a la hora de trabajar e incluso, favorecerá el bienestar de los trabajadores.

Existen varios tipos de iluminación, los cuales se pueden clasificar según su origen y según su uniformidad.

La principal clasificación de los tipos de iluminación es aquella que se centra en el origen de ésta. En este caso se tiene la iluminación natural, artificial y mixta. La iluminación natural es aquella que sólo utiliza luz diurna, mientras que la iluminación artificial es aquella que sólo utiliza luz proveniente de fuentes artificiales. En la realidad, se suelen combinar ambos tipos, dando lugar a la iluminación mixta.

La siguiente clasificación se centra en la uniformidad de la iluminación, en este caso también existen tres tipos: iluminación general, localizada, y general-localizada. La iluminación general es aquella iluminación uniforme que ilumina un área amplia, mientras que la iluminación localizada se centra sobre un área pequeña para realizar ciertos trabajos en concreto. Cuando ambos tipos de iluminación son utilizados, este caso recoge el nombre de iluminación general-localizada.

Se debe prestar gran atención a la iluminación natural debido a sus importantes beneficios tanto económicos (ahorra de consumo de electricidad, aumento de la vida útil de la instalación eléctrica, etc.), medio ambientales (reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, etc.), y sociales (disminución de la fatiga visual, mejora de la actitud del trabajador, etc.). Por todo ello, a la hora de diseñar un edificio industrial, se deberá de tener en cuenta la iluminación natural y darle una mayor importancia que a la iluminación artificial.

Antes de enumerar las distintas ubicaciones de las aberturas, cabe mencionar que la iluminación natural no es estable, es decir, la intensidad de dicha luz depende de la hora del día y del estado climatológico, incluso, esta iluminación está muy limitada, ya que sólo se puede utilizar en las horas donde exista luz diurna.

Atendiendo a las distintas ubicaciones de las aberturas de un sistema de iluminación natural, existen tres tipos: iluminación cenital, lateral y mixta. La iluminación cenital es aquella que las aberturas se encuentran en las cubiertas, mientras que en la iluminación lateral las aberturas se encuentran en los cerramientos laterales. Tal y como indica su nombre, la iluminación mixta es aquella que combina elementos de la iluminación cenital y elementos de la iluminación lateral. En la Figura 3 se puede observar varios ejemplos de los tipos de iluminación expuestos anteriormente.

## DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

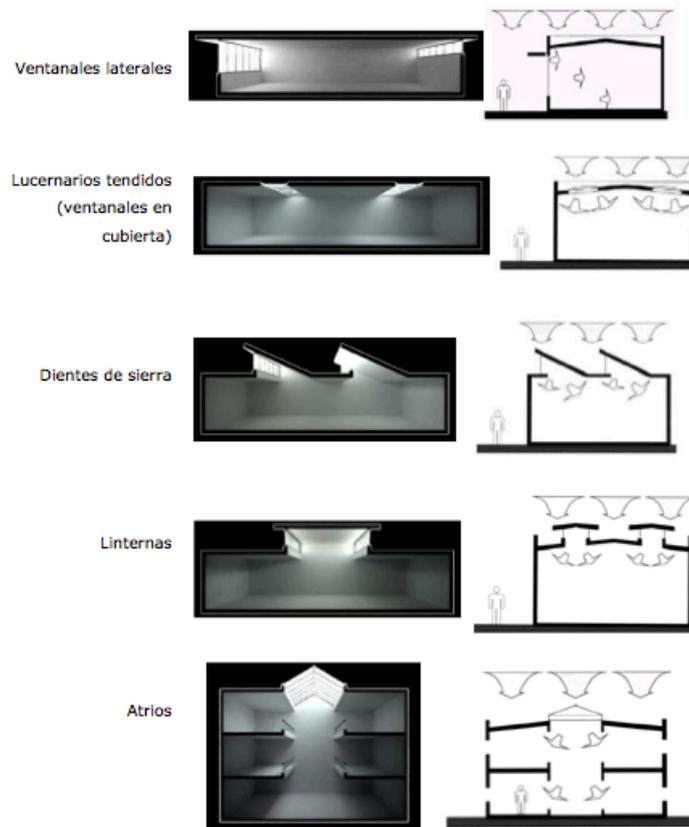


Figura 3: *Disposiciones típicas de sistemas de iluminación natural.* (Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

### 5.1. Requisitos de la planta

Durante el diseño del sistema de iluminación natural se estudiarán, principalmente, para analizar su viabilidad, los siguientes puntos: **valor medio de iluminación en el plano de trabajo, uniformidad global de la iluminación, y deslumbramientos.**

Empezando por el **valor medio de iluminación en el plano de trabajo ( $E_m$ )**, este parámetro es el valor de iluminación que se pretende conseguir en la planta. Para el cálculo del valor medio de iluminación en el plano de trabajo se asignarán diversos niveles de iluminación para cada zona, según la tarea que se esté realizando, y se calculará la media ponderada de estos niveles de iluminación en base a la superficie que ocupen.

En segundo lugar se encuentra la **uniformidad global de la iluminación ( $E_{min}/E_{max}$ )**, este parámetro mide la diferencia que existe entre el nivel de iluminación mínimo y máximo de toda la zona estudiada. Cuando prácticamente no existe uniformidad en la iluminación  $E_{min}/E_{max}$  tenderán a 0, ya que existirá una gran diferencia entre ambos niveles de iluminación. En el caso contrario, cuando la iluminación sea muy uniforme,  $E_{min}/E_{max}$  tenderán a 1, es decir, prácticamente no existirá diferencia en el nivel de iluminación máximo y mínimo.

Finalmente, atendiendo a los **deslumbramientos**, no debe de existir riesgo de deslumbramiento de los trabajadores.

El primer paso antes del estudio de los parámetros anteriormente mencionados, es el de determinar el valor de los parámetros que se pretenden alcanzar. Con este fin se remitirá a la normativa y legislación vigente.

Para determinar los valores deseados del parámetro de **valor medio de iluminación ( $E_m$ )**, se utilizará la norma **UNE-EN 12464-1 “Iluminación de los lugares de trabajo”**<sup>4</sup>. Esta norma indica el valor de  $E_m$  óptimo para cada actividad en cada ámbito de trabajo.

Con respecto a la **uniformidad de la iluminación ( $E_{min}/E_{max}$ )**, no existe ningún reglamento específico para edificios industriales. Aun no siendo específicos para edificios industriales, el **CTE** (Código Técnico de la Edificación), el **OGSHT** y el **RD 486/1997** indican algunas consideraciones a tener en cuenta sobre la uniformidad de la iluminación.

El **CTE**, el cual excluye de su ámbito de aplicación a las instalaciones industriales, establece que para zonas de circulación exista un factor de uniformidad media de como mínimo del 40%.

El **OGSHT** (no vigente) se preocupa por la uniformidad de la iluminación en la zona de trabajo del trabajador. Es por ello que realiza la siguiente consideración: “*Se procurará que la intensidad luminosa en cada zona de trabajo sea uniforme, evitando los reflejos y deslumbramientos al trabajador.*”

El **RD 486/1997** también establece alguna consideración con respecto a la uniformidad de la iluminación, éstas son:

- a) *La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible.*
- 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.*

Finalmente, atendiendo a los **deslumbramientos**, no existe un método claro para estimar los deslumbramientos en iluminación. Es por ello que se acepta que no existen deslumbramientos cuando los haces de luz inciden sobre los ojos del trabajador con un ángulo superior a 30°.

---

<sup>4</sup> La norma UNE-EN 12464-1 es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12464:2001.

## 5.2. Método de cálculo analítico

Una vez establecido los parámetros deseados, es necesario calcular la superficie de aberturas teórica que se tendrá que disponer para cumplirlos. Este cálculo sirve como orientación a la hora de introducir la superficie de aberturas en el sistema de iluminación natural.

La ecuación utilizada para calcular la superficie teórica de las aberturas es la siguiente:

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

Dónde:

$E_m$ : nivel de iluminación horizontal media deseado en el interior en el plano de trabajo

$E_a$ : nivel de iluminación horizontal en el exterior (3000 luxes)

$f$ : factor de ventanas

$f'$ : factor característico de reducción ventana-muro

$\eta$ : rendimiento del recinto

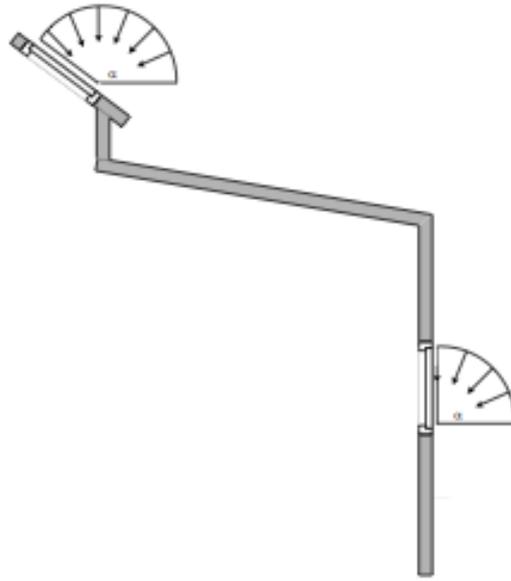
$S_v$ : superficie de ventanas

$S_s$ : superficie de suelo del recinto

Para poder entender la anterior ecuación, es importante conocer cada elemento en profundidad:

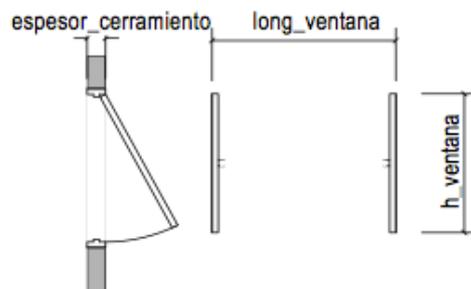
- **Nivel de iluminación horizontal interior ( $E_m$ ):** nivel de iluminación que se pretende alcanzar en el plano de trabajo en las distintas zonas de trabajo especificadas. En cada zona de trabajo se requerirá un nivel de iluminación diferente, el cual está especificado en la norma UNE-EN 12464-1.
- **Nivel de iluminación horizontal exterior ( $E_a$ ):** iluminación proveniente de la bóveda celeste. De forma general, para el cálculo teórico de la superficie de aberturas necesaria, se toma como nivel de iluminación difusa sobre superficie horizontal exterior de 3.000 luxes
- **Factor de ventanas ( $f$ ):** parámetro que tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana según su disposición en la edificación. El factor de ventanas ( $f$ ) se determina utilizando la siguiente ecuación:

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



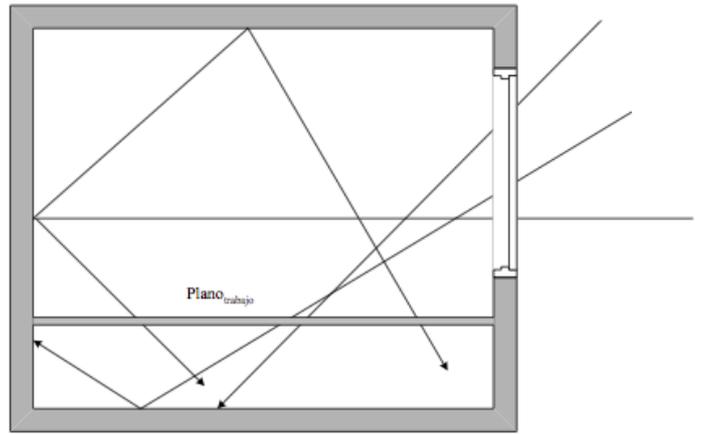
**Figura 4: Factor de ventanas.** (Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Factor característico de reducción ventana-muro ( $f'$ ):** parámetro que tiene en cuenta la posible reducción del paso de la radiación solar debido al grosor del cerramiento lateral.



**Figura 5: Factor característico de reducción ventana-muro.** (Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Rendimiento del recinto ( $\eta$ ):** Este parámetro tiene en cuenta el hecho de que no todo el flujo luminoso entrante incide en el plano de trabajo, ya que el resto incide sobre otras superficies, que al mismo tiempo, reflejan, en parte, sobre el plano de trabajo. Como valor para este parámetro se suele tomar del orden del 40% al 50%.



**Figura 6: Rendimiento del recinto.** (Fuente: Apuntes Poliformat de la asignatura Teoría de Construcción y Arquitectura Industrial)

- **Superficie de ventanas ( $S_v$ ):** tal y como indica su nombre, este parámetro indica la primera aproximación de la superficie de ventanas que se deberán colocar para poder obtener los niveles de iluminación deseados en cada zona de trabajo.
- **Superficie de suelo del recinto ( $S_s$ ):** variable referida a la superficie de suelo de cada zona de trabajo estudiado.

### 5.3. Eficiencia energética del sistema de iluminación

Una vez realizado todos los cálculos, el siguiente paso es el del análisis de la eficiencia energética de dicho sistema de iluminación.

El método de cálculo de la eficiencia energética se realizará según lo especifica el CTE “Código Técnico de la Edificación”, el cual obliga el uso de luz natural como sistema de iluminación en aquellas zonas donde la aportación de luz natural sea suficientemente para permitir este sistema.

Cabe mencionar que el CTE excluye de su ámbito de aplicación a todas aquellas instalaciones relacionadas con la industria. Aun existiendo esta exclusión, en este trabajo se utilizará el método CTE debido a la inexistencia de un método de cálculo de la eficiencia energética específico para uso industrial.

La ecuación a utilizar por el método CTE es la siguiente:

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

Dónde:

- VEEI:** valor de eficiencia de la instalación por cada 100 lux (W/m<sup>2</sup>)
- P:** potencia de la lámpara más el equipo auxiliar (W)
- S:** superficie iluminada (m<sup>2</sup>)
- E<sub>m</sub>:** iluminación media mantenida (lux)

Finalmente, para conocer el número de puntos mínimo a considerar en el cálculo de la iluminación media mantenida (E<sub>m</sub>) se calculará el valor del parámetro k que según éste, el número de puntos a considerar será:

- Si  $k < 1 \Rightarrow 4$  puntos
- Si  $2 > k \geq 1 \Rightarrow 9$  puntos
- Si  $3 > k \geq 2 \Rightarrow 16$  puntos
- Si  $k > 3 \Rightarrow 25$  puntos

La ecuación para obtener el valor de k es la siguiente:

$$k = \frac{L \cdot A}{H \cdot (L + A)} \quad (4)$$

Dónde:

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

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

### 6.1. Introducción

Antes de realizar el diseño del sistema de iluminación natural, es necesario conocer la localización de la planta estudiada. Esto es debido a que el sistema de iluminación natural depende directamente del nivel de luz exterior que existe en la localización de dicha planta. Por lo tanto, la planta de producción de baldosas cerámicas estudiada se encuentra en Castellón de la Plana, con coordenadas 39.59 N y 0.02 O.

Como se ha mencionado anteriormente, la luz que entra en un local procede de dos orígenes: la bóveda celeste (radiación directa) y la reflexión producida por diferentes objetos, obstáculos, elementos que hay en el entorno (radiación indirecta).

Es interesante conocer que de las 8760 horas que posee un año, 4930 son de luz diurna. De estas 4930 horas de luz diurna, 3416 horas poseen un nivel de iluminación superior a los 3000 lux. Es por ello que en un principio se podrá utilizar un sistema de iluminación natural, como máximo, en un 69% del total de las horas de luz diurna.

### 6.2. Requerimientos lumínicos de la planta

El valor medio de iluminación ( $E_m$ ) requerido para cada zona de la planta se ha impuesto siguiendo la norma **UNE-EN 12464-1**. Las tablas utilizadas de dicha norma son las siguientes:

- Tabla 5.1 – Zonas de tráfico dentro de edificios
- Tabla 5.4 – Áreas generales dentro de edificios – Salas de almacenamiento, almacenes fríos
- Tabla 5.9 – Actividades industriales y artesanales – Cerámica, tejas, vidrio, artículos de vidrio

A continuación se presentan las tablas citadas anteriormente:

Nº Ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ (lux)
5.1.1	Áreas de circulación y pasillos	100
5.1.2	Escaleras, escaleras automáticas, cintas transportadoras	100
5.1.3	Ascensores, montacargas	100
5.1.4	Rampas/tramos de carga	150

**Tabla 8: Zonas de tráfico dentro de edificios (Tabla 5.1 - UNE-EN 12464-1)**

Nº Ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ (lux)
5.4.1	Almacenes y cuarto de almacén	100 (200) <sup>5</sup>
5.4.2	Áreas de manipulación de paquetes y de expedición	300

**Tabla 9: Áreas generales dentro de edificios - Salas de almacenamiento, almacenes fríos (Tabla 5.4 - UNE-EN 12464-1)**

Nº Ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ (lux)
5.9.1	Secado	50
5.9.2	Preparación, trabajo en máquinas en general	300
5.9.3	Esmaltado, laminado, prensado, conformado de piezas sencillas, horneado, soplado de vidrio	300
5.9.4	Amolado, grabado, pulido de vidrio, conformado de piezas de precisión, fabricación de instrumentos de vidrio	750
5.9.5	Amolado de vidrio óptico, cristal, molienda a mano y grabado	750
5.9.6	Trabajo de precisión, por ejemplo amolado decorativo, pintura a mano	1000
5.9.7	Fabricación de piedras preciosas sintéticas	1500

**Tabla 10: Actividades industriales y artesanales - Cerámica, tejas, vidrio, artículos de vidrio (Tabla 5.9 - UNE-EN 12464-1)**

---

<sup>5</sup> Si está ocupado de forma continua se tomará el valor de  $\bar{E}_m$  de 200 lux.

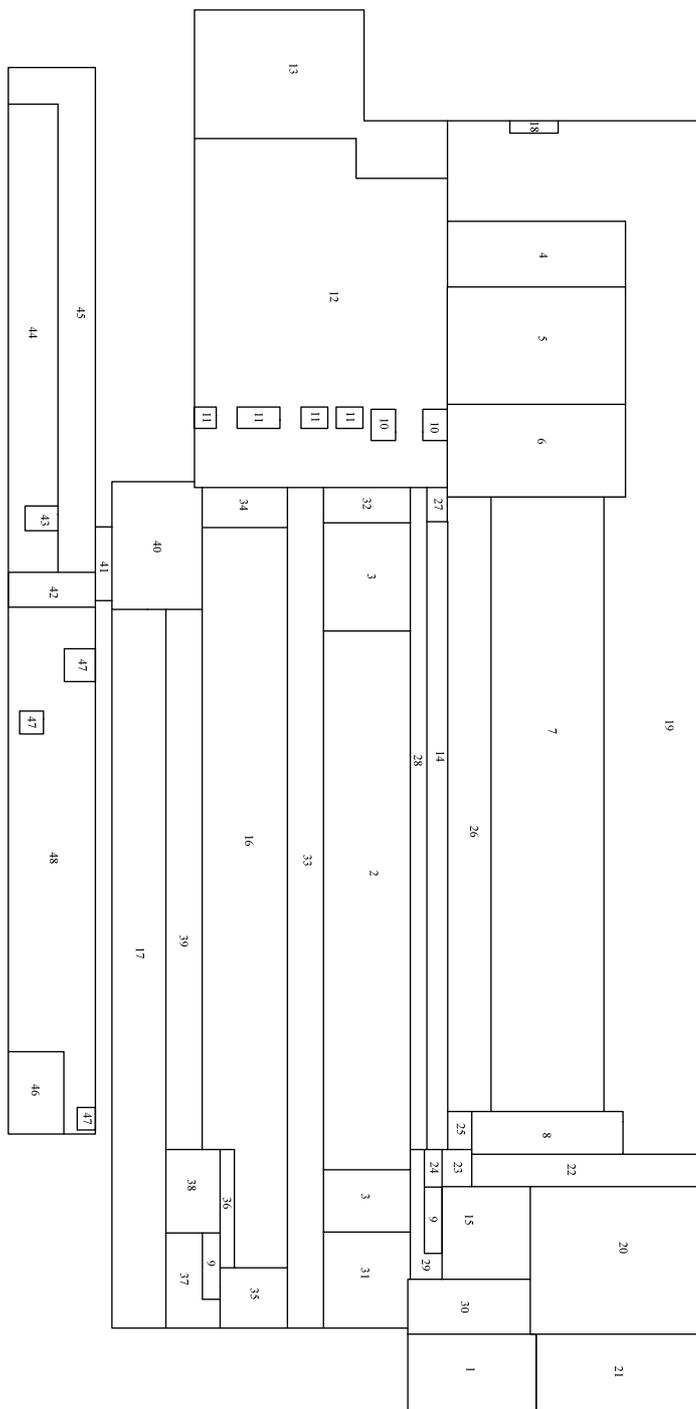
DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

La distribución en planta estudiada es dividida en distintas zonas según su función o actividad que realicen en el proceso productivo. Las zonas en las que se ha dividido la planta se pueden observar en la Figura 7<sup>6</sup>, donde sus niveles de iluminación medios ( $E_m$ ) requeridos son los siguientes:

Número(s) de Zona	Nombre de Zona	$\bar{E}_m$ (lux)	Nº Ref. (UNE-EN 12464-1)
1	Serigrafía y bombos	300	5.9.2
2	Hornos	300	5.9.3
3	Entrada-salida de hornos	300	5.9.3
4	Prensas	300	5.9.3
5 y 9	Secadoras	50	5.9.1
6	Pasarelas	100	5.1.1
7	Líneas de esmaltado	300	5.9.3
8	Boxes líneas de esmaltado	200	5.4.1
10 y 11	Control de calidad de las líneas de clasificación y embalaje	1000	5.9.6
12 y 13	Líneas de clasificación y embalaje	300	5.4.2
14, 15, y 16	Boxes	200	5.4.1
17, 19, 20, 45, y 46	Almacén	200	5.4.1
18	Coloreado de la arcilla	300	5.9.2
21	Parque de contenedores de esmalte	300	5.4.2
22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42	Zonas de paso	100	5.1.1
43 y 47	Control de calidad líneas de pulido y rectificado	1000	5.9.6
44 y 48	Líneas de pulido y rectificado	300	5.9.3

**Tabla 11: Niveles de iluminación media impuestos.**

<sup>6</sup> La zona 18 de la distribución en planta (Figura 2) no se tiene en cuenta ya que es un edificio independiente del resto de la planta.



**Figura 7: Zonas Iluminación.**

Con los niveles de iluminación definidos, se calcula el nivel de iluminación medio requerido en la planta, para ello se realiza una media ponderada de las intensidades de iluminación media requeridas en cada zona con respecto a la superficie que ocupa cada una.

$$E_{m, planta} = \frac{\sum E_{m, zona} \cdot S_{zona}}{S_S} \quad (5)$$

Dónde:

- $E_{m, planta}$** : intensidad de iluminación media requerida en la planta
- $E_{m, zona}$** : intensidad de iluminación media requerida en cada zona
- $S_{zona}$** : superficie que ocupa cada zona
- $S_S$** : superficie de suelo de la planta

Finalmente, para la planta estudiada de 48.655 m<sup>2</sup> el nivel de iluminación medio requerido es el siguiente:

$$E_{m, planta} = 222,45 \text{ luxes}$$

### 6.3. Cálculo de la superficie de aperturas teórica

Antes de empezar con el cálculo de las aperturas teóricas, cabe mencionar que se va a optar por un sistema de iluminación natural basado en lucernarios. Esto es debido principalmente a que la planta estudiada es muy diáfana y posee unas dimensiones muy elevadas que provocan que la forma para asegurar una correcta iluminación sea utilizando lucernarios.

Atendiendo al cálculo de a superficie de aperturas teóricas, se utilizará el *método de cálculo analítico* explicado en el punto 5.2., el cual utiliza la siguiente expresión:

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

Los valores de cada elemento de la expresión se muestran a continuación:

$E_m$	222,45 luxes
$E_a$	3000 luxes
$S_S$	48655 m <sup>2</sup>
$f_{lucernarios}$	0,97
$f'$	1
$\eta$	40%

**Tabla 12: Valores de los parámetros para cálculo de aperturas teóricas.**

Cabe mencionar que el valor de  $f_{\text{lucernarios}}$  tiene en cuenta la reducción de la bóveda celeste que capta una ventana según su disposición en la edificación. Estos se definen de la siguiente manera:

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

Donde  $\alpha$  es el ángulo con respecto a la horizontal de las aperturas. Por ello, para los lucernarios  $\alpha = 174^\circ$  (techo con  $6^\circ$  de inclinación).

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del método analítico se muestran a continuación:

$S_{v, \text{cenital}}$	9289 m <sup>2</sup>
-------------------------	---------------------

Tabla 13: Resultados método analítico.

## 6.4. Propuestas de Sistemas de Iluminación Natural

### 6.4.1. Simulación con *DIALUX*

Con el fin de realizar las simulaciones pertinentes de iluminación de interiores, es de vital importancia la introducción de una serie de parámetros previos, los cuales se especifican a continuación:

#### - DATOS DE LA PLANTA

Uno de los datos previos que se introducen en el programa es la ubicación de la planta estudiada:

<b>Longitud</b>	39,59 N
<b>Latitud</b>	0,02 O

Tabla 14: Ubicación de la planta.

La importancia de indicarle a *DIALUX* la ubicación de la planta estudiada reside en que el programa realiza un cálculo previo del nivel de iluminación horizontal en el exterior ( $E_a$ ) antes de simular la iluminación dentro de la planta. Dicho nivel de iluminación horizontal en el exterior depende de la ubicación, ya que según donde se encuentre la planta, existirá un nivel de iluminación horizontal en el exterior u otro.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Cabe mencionar que para el cálculo del nivel de iluminación horizontal en el exterior ( $E_a$ ), *DIALUX* utiliza el *modelo de cielo cubierto*. La razón del uso de este modelo reside en que la intensidad de la iluminación en un cielo cubierto es un 5% - 10% menor que la de un cielo despejado. Es por ello que se utiliza el cielo cubierto como condición de mínimo, garantizando un nivel de iluminación mínimo dentro de los edificios durante todo el año.

Otro dato necesario relativo a la planta es el *factor de degradación*:

Factor de Degradación	Descripción
0,5	Instalación interior o exterior con alta contaminación.

Tabla 15: *Factor de degradación.*

Los grados de reflexión de las paredes, techo y suelo son los siguientes:

Paredes	80%
Techo	80%
Suelo	27%

Tabla 16: *Grados de reflexión.*

Finalmente, la orientación de la planta y sus dimensiones se puede observar en el PLANO 1<sup>7</sup>.

#### - DATOS DE LAS ABERTURAS

Los datos a introducir en *DIALUX* sobre las aberturas son los referentes a los factores de luz diurna.

Los **factores de luz diurna** implementados son los siguientes:

Grado de transmisión	50%
Factor de contaminación	0.50
Factor de división con travesaños	0.90
Factor de reducción por luz de incidencia no vertical	0.97

Tabla 17: *Factores de luz diurna.*

#### - DATOS DE ESCENA DE LUZ

*DIALUX*, para realizar el cálculo del nivel de iluminación horizontal en el exterior ( $E_a$ ) necesita conocer la fecha y la hora en la que se va a realizar la simulación.

Fecha	10/12/2014
Hora	10:00 AM

Tabla 18: *Fecha y hora de simulación.*

<sup>7</sup> La zona 18 de la distribución en planta (Figura 2) no se tiene en cuenta ya que es un edificio independiente del resto de la planta.

### 6.4.2. Propuesta Inicial

Como punto de partida se ha realizado una propuesta de iluminación natural basada completamente en iluminación cenital. La elección de utilizar dicho sistema de iluminación natural se debe principalmente a las grandes dimensiones de la planta estudiada, ya que zonas alejadas de las paredes no podrán ser iluminadas por ventanas localizadas en los cerramientos laterales, pero sí por lucernarios.

Antes de incidir en el tamaño y la distribución de los lucernarios, cabe destacar los tres objetivos principales que se persiguen en dicha aproximación:

1. Obtención de la intensidad de iluminación media ( $E_m$ ) de toda la planta calculada anteriormente.
2. Obtención de la intensidad de iluminación media ( $E_m$ ) de cada zona de la distribución en planta en particular.
3. Obtención de un factor de uniformidad global adecuado para cada zona.

Atendiendo al área de lucernarios utilizados para obtener el valor de iluminación medio deseado de toda la planta se han utilizado 2528 m<sup>2</sup>, obteniéndose un valor de iluminación medio de 219 lux.

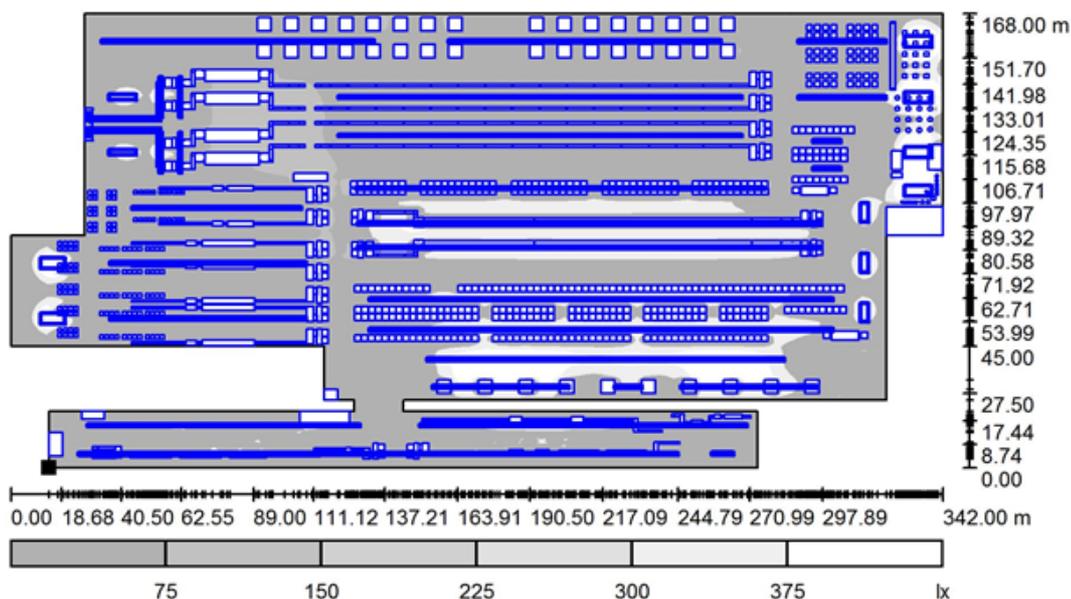
El área de lucernarios utilizado no concuerda con el calculado por el *método de cálculo analítico*. Esto es debido principalmente a que el nivel de iluminación horizontal en el exterior ( $E_a$ ) tomado para realizar el cálculo analítico es de 3000 lux, cuando en la realidad, en Castellón de la Plana, el valor del nivel de iluminación horizontal en el exterior es de 8254 lux.

Al realizar la simulación de la planta estudiada utilizando 9289 m<sup>2</sup> de lucernarios (área calculada por el *método de cálculo analítico*), el nivel de iluminación medio de la planta asciende a un valor de 753 lux. Este nivel de iluminación medio obtenido sobrepasa el valor de 222,45 lux deseado, esto es debido al nivel de iluminación horizontal exterior utilizado para calcular la superficie de los lucernarios.

Conociendo el nivel de iluminación horizontal en el exterior en la localización de la planta (8254 lux), mediante el *método de cálculo analítico* se ha calculado el área de los lucernarios necesaria para obtener un nivel de iluminación medio de 222,45 lux. El área necesaria es de 3391 m<sup>2</sup> de lucernarios, y con dicha área se obtiene un nivel de iluminación medio de 302 lux. Este nivel de iluminación está por encima del deseado (222,45 lux), por lo que mediante un proceso iterativo se ha obtenido que para conseguir que el nivel de iluminación medio de toda la planta sea de 222,45 lux, son necesarios 2528 m<sup>2</sup> de lucernarios.

## DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El resultado de la simulación de iluminación para la propuesta inicial se puede observar en la siguiente figura (posteriormente se analizará con más detalle los resultados luminotécnicos para cada zona que compone la planta):



**Figura 8: Resultado propuesta inicial.**

El valor de iluminación medio obtenido en la propuesta inicial es de 219 lux. El valor obtenido se considera aceptable debido a que el nivel de iluminación medio deseado es de 222,45 lux, existiendo un error relativo del -1,55%. Por lo tanto, se concluye que se ha conseguido obtener el nivel de iluminación medio deseado en la planta en general.

Cabe mencionar que en ninguna zona de la planta estudiada se producirán deslumbramientos. Para comprobar los deslumbramientos, se ha calculado el ángulo de incidencia de los haces de luz en todos los puntos de la planta en un plano horizontal a 0,85 m de altura, y se ha comprobado que ningún ángulo de incidencia se encuentra por debajo de 30°.

Atendiendo a la uniformidad de la iluminación en los puestos de trabajo, en todos éstos se ha calculado y se ha comprobado que en cada uno de ellos dicha uniformidad es como mínimo del 40%.

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos obtenidos para cada zona. Cabe mencionar que se tomará como aceptable una relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado entre 0,9 y 1,1 y una uniformidad de iluminación global a partir del 20%.

### - Zona 1 – Serigrafía y Bombos

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
1	300	417,553	710	93	13,1%	1,392

Tabla 19: Resultados luminotécnicos zona 1 (propuesta inicial).

Empezando por analizar la zona 1, en la Tabla 19 se pueden observar sus resultados luminotécnicos. En primer lugar, el nivel de iluminación medio obtenido en esta zona (417,553 lux) supera al nivel de iluminación medio deseado (300 lux), siendo el valor obtenido 1,392 veces el valor deseado. Debido a que esta relación es mayor de 1,1, el nivel de iluminación medio obtenido en la zona no cumple con los límites establecidos.

Atendiendo al factor de uniformidad global, en esta zona se obtiene un factor del 13,1%. Por lo tanto, el factor de uniformidad global de la zona 1 no cumple con el mínimo establecido.

### - Zona 2 – Hornos

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
2	300	320,410	373	222	59,5%	1,068

Tabla 20: Resultados luminotécnicos zona 2 (propuesta inicial).

Atendiendo a los resultados luminotécnicos obtenidos de la propuesta inicial en la zona 2, en la Tabla 20 se puede comprobar que se han obtenido unos resultados que se acercan bastante a los resultados deseados. En primer lugar, el nivel de iluminación medio deseado es de 300 lux, y tras la simulación de la primera propuesta se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 320,41 lux. El nivel de iluminación medio es 1,068 veces mayor que el deseado, esto significa que se ha obtenido un nivel de iluminación medio que cumple con los límites establecidos.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación, en esta zona se ha conseguido un factor de uniformidad global del 59,5%. Este factor de uniformidad cumple con lo establecido anteriormente.

- **Zona 3 – Entrada – Salida de Hornos**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
3.1	300	283,500	352	158	44,9%	0,945
3.2	300	309,941	384	122	31,8%	1,033

**Tabla 21: Resultados luminotécnicos zona 3 (propuesta inicial).**

Los resultados de la *zona 3.1* se pueden observar en la Tabla 21. Empezando por el nivel de iluminación medio obtenido, éste es de 283,5 lux. Este valor se acerca mucho al valor deseado (300 lux), tal y como indica el cociente entre ambos valores, el cual es prácticamente la unidad (0,945). Es por ello, que la relación de niveles de iluminación medio se encuentran entre los valores aceptados de 0,9 y 1,1.

En la *zona 3.1* la uniformidad global de la iluminación es del 44,9%. Por lo tanto se cumple con la condición de uniformidad de iluminación mínima del 20%.

Siguiendo con los resultados de la *zona 3.2* (Tabla 21), el nivel de iluminación medio obtenido es de 309,914 lux, siendo este valor 1,033 veces el deseado. Por lo tanto, la relación de niveles medios de iluminación cumple con la límites establecidos.

Respecto a la uniformidad global de la iluminación de la zona estudiada, se ha obtenido un factor de uniformidad global del 31,8%. La uniformidad global de la zona cumple la condición establecida anteriormente.

- **Zona 4 – Prensas**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
4	300	252,529	333	177	53,2%	0,842

**Tabla 22: Resultados luminotécnicos zona 4 (propuesta inicial).**

Atendiendo a los resultados de la *zona 4* (Tabla 22), no se ha conseguido llegar hasta el nivel de iluminación medio deseado. El nivel de iluminación medio deseado es de 300 lux, mientras que el obtenido mediante la simulación es de 252,529 lux, es decir, el nivel de iluminación medio obtenido es 0,842 veces el deseado. Debido a que no se ha obtenido una relación de niveles de iluminación medios de 0,9, se deberán de realizar acciones correctivas en la siguiente propuesta.

En cuanto a la uniformidad lumínica global en la zona estudiada, ésta es del 53,2%, al ser una uniformidad mayor del 20% se considera como aceptable.

### - Zona 5 – Secadora

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
5	50	62,703	139	27	19,4%	1,254

Tabla 23: Resultados luminotécnicos zona 5 (propuesta inicial).

En la zona 5 (Tabla 23), se ha sobrepasado el nivel de iluminación medio deseado. Se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 62,703 lux, siendo este valor 1,254 veces el valor deseado. Como la relación de niveles de iluminación medios es mayor de 1,1, no se ha obtenido un correcto nivel de iluminación medio en esta zona.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, en este caso se consigue una uniformidad global del 19,4%, siendo este porcentaje un poco menor del mínimo establecido (20%). Debido a esto, en la próxima propuesta se pretenderá aumentar dicha uniformidad global de iluminación de la zona.

### - Zona 6 – Pasarelas

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
6	100	62,914	117	33	28,2%	0,629

Tabla 24: Resultados luminotécnicos zona 6 (propuesta inicial).

Los resultados de la zona 6 se pueden observar en la Tabla 24. Empezando por el valor del nivel de iluminación medio, en esta zona no se ha conseguido llegar al valor deseado de 100 lux. En realidad se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 62,914 lux, por lo que la relación entre ambos niveles de iluminación medio (0,629) es menor que el mínimo establecido (0,9).

Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, en este caso la uniformidad es del 28,2%. La uniformidad global cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

- **Zona 7 – Líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
7	300	227,313	272	126	46,3%	0,758

Tabla 25: Resultados luminotécnicos zona 7 (propuesta inicial).

Atendiendo a los resultados de la zona 7 (Tabla 25), el nivel de iluminación medio obtenido (227,313 luxes) es 0,758 veces el deseado (300 luxes), por lo que se deberá de aumentar al no cumplir con la condición de que la relación entre niveles de iluminación medios sea del al menos 0,9.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación, en esta zona se ha obtenido una uniformidad del 46,3%, la cual se considera una uniformidad global aceptable.

- **Zona 8 – Boxes líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
8	200	93,286	127	32	25,2%	0,466

Tabla 26: Resultados luminotécnicos zona 8 (propuesta inicial).

Los resultados de la zona 8 se pueden observar en la Tabla 26. Atendiendo al nivel de iluminación medio obtenido (93,283 lux), éste es 0,466 veces el deseado (200 lux), es decir, casi la mitad del nivel de iluminación al que se quería llegar. Por lo tanto, esta zona no cumple con la condición de que la relación entre niveles de iluminación medios se encuentre entre 0,9 y 1,1.

Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación de la zona estudiada, se ha obtenido una uniformidad global del 46,6%. Por lo tanto, la uniformidad global obtenida cumple con la condición establecida anteriormente.

### - Zona 9 – Secadoras

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
9.1	50	47,333	66	37	56,1%	0,947
9.2	50	169,833	273	58	21,2%	3,397

Tabla 27: Resultados luminotécnicos zona 9 (propuesta inicial).

Empezando por la zona 9.1, los resultados obtenidos han sido los correctos tanto en nivel de iluminación medio como en uniformidad global de la iluminación. El nivel de iluminación medio obtenido (47,333 lux) es 0,947 veces el nivel deseado (50 lux), debido a que el cociente entre ambos se encuentra entre 0,9 y 1,1, el nivel de iluminación medio obtenido en esta zona es el correcto. Siguiendo con la uniformidad de la iluminación (56,1%), ésta cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

Siguiendo con la zona 9.2, el nivel de iluminación medio obtenido (169,833 lux) es 3,397 veces superior al deseado (50 lux), por lo que no cumple con la condición establecida anteriormente. Atendiendo a la uniformidad global de la zona, ésta es del 21,2%. Esta uniformidad global se considera aceptable debido a que es mayor del 20%.

### - Zonas 10 y 11 – Control de calidad de las líneas de clasificación y embalaje

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
10.1	1000	114,500	147	93	63,3%	0,115
10.2	1000	134,000	170	107	62,9%	0,134
11.1	1000	164,333	198	138	69,7%	0,164
11.2	1000	236,333	259	207	79,9%	0,236
11.3	1000	201,667	242	159	65,7%	0,202
11.4	1000	155,000	155	155	100%	0,155

Tabla 28: Resultados luminotécnicos zonas 10 y 11 (propuesta inicial).

Las zonas 10 y 11 son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de clasificación y embalaje y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y a la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixto (iluminación natural y artificial).

**- Zonas 12 y 13 – Líneas de clasificación y embalaje**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
12	300	192,388	287	71	24,7%	0,641
13	300	210,134	528	52	9,8%	0,700

**Tabla 29: Resultados luminotécnicos zonas 12 y 13 (propuesta inicial).**

Tanto en la *zona 12* como en la *zona 13* (Tabla 29) los niveles de iluminación medios obtenidos no son los deseados. En ninguna de las zonas la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado llega a 0,9, por lo que el nivel de iluminación medio obtenido en ambas zonas no es el correcto.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación, en la *zona 12* se ha obtenido una uniformidad global del 24,7% y en la *zona 13* se ha obtenido una uniformidad global del 9,8%. La uniformidad global de la *zona 12* se considera aceptable pero la uniformidad de la *zona 13* no cumple con el 20% mínimo.

**- Zonas 14, 15 y 16 – Boxes**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
14	200	268,125	293	232	79,2%	1,341
15	200	124,250	204	37	18,1%	0,621
16	200	288,121	376	97	25,8%	1,441

**Tabla 30: Resultados luminotécnicos zonas 14, 15 y 16 (propuesta inicial).**

Atendiendo a las *zonas 14, 15 y 16*, los niveles de iluminación medio obtenidos no son los deseados y la uniformidad de la *zona 15* tampoco es la deseada.

Empezando por la *zona 14*, el nivel de iluminación medio obtenido (268,125 lux) sobrepasa el deseado (300 lux). En esta zona no se obtiene el nivel de iluminación medio deseado ya que el obtenido es 1,341 veces el impuesto, siendo esta relación mayor de 1,1. Atendiendo a la uniformidad global de iluminación, en esta zona se ha conseguido una uniformidad global del 79,2%, la cual cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

Siguiendo con los resultados luminotécnicos de la *zona 15*, el nivel de iluminación medio obtenido (124,25 lux) es 0,621 veces el deseado (200 lux), por lo que no se cumple la condición de que al menos esta relación tenga un valor de 0,9. Sobre la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad del 18,1%, un poco menor que el porcentaje mínimo fijado (20%).

Finalmente, en la *zona 16* ocurre lo contrario que en la *zona 15*, el nivel de iluminación medio obtenido (288,121 lux) es mayor que el deseado (200 lux). El cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado (1,441) sobrepasa el máximo indicado anteriormente (1,1), por lo que el nivel de iluminación medio obtenido no es el correcto. Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, se ha

obtenido un factor de uniformidad global del 25,8%, por lo tanto la uniformidad de la iluminación cumple con la condición de uniformidad mínima indicada anteriormente.

#### - Zona 17 – Almacén

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
17	200	293,343	430	43	10,0%	1,467

Tabla 31: Resultados luminotécnicos zona 17 (propuesta inicial).

En la zona 17 se ha sobrepasado el nivel medio de iluminación, siendo el obtenido (293,343 lux) 1,467 veces el deseado (200 lux). Debido a que se ha sobrepasado el valor máximo del cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado, el nivel de iluminación medio obtenido no es el correcto.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, se ha conseguido una uniformidad global del 10%, siendo ésta menor a la uniformidad mínima indicada anteriormente (20%).

#### - Zona 18 – Color

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
18	300	119,000	145	97	66,9%	0,397

Tabla 32: Resultados luminotécnicos zona 18 (propuesta inicial).

Atendiendo a los resultados luminotécnicos de la zona 18, cabe mencionar que el plano en el que es interesante conocer los niveles de iluminación media está a mayor altura que el plano útil, y por lo tanto los resultados luminotécnicos obtenidos no son analizables ya que no se corresponden a los resultados en el plano de interés. Aun así se comentarán los resultados luminotécnicos obtenidos para el plano útil. El nivel de iluminación medio obtenido es de 119 lux y la uniformidad global de la iluminación del 66,9%. El nivel de iluminación medio (0,397 veces el deseado) no cumple con la condición mínima (0,9 veces el deseado), pero la uniformidad global de la iluminación obtenida es muy elevada y sí que cumple con el porcentaje mínimo del 20%.

**- Zonas 19 y 20 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
19	200	183,612	356	53	14,9%	0,918
20	200	190,416	315	70	22,2%	0,952

**Tabla 33: Resultados luminotécnicos zonas 19 y 20 (propuesta inicial).**

En las zonas 19 y 20 se ha conseguido obtener un nivel de iluminación medio bastante cercano al deseado, ya que el cociente entre el nivel de iluminación obtenido y el deseado se acerca bastante a la unidad (con valores de 0,918 y 0,952 respectivamente). En ambos casos se cumple la condición de que al menos el valor del cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado sea de 0,9.

Los valores de uniformidad global de la iluminación obtenidos son del 14,9 % y del 22,2% para las zonas 19 y 20 respectivamente. En la zona 19 no se llega hasta la uniformidad mínima (20%) y en la zona 20 sí que se cumple dicha condición.

**- Zona 21 – Parque de contenedores de esmalte**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
21	300	408,718	625	240	38,4%	1,362

**Tabla 34: Resultados luminotécnicos zona 21 (propuesta inicial).**

Observando los resultados para la zona 21 en la Tabla 34, el nivel de iluminación medio obtenido (408,718 lux) es 1,362 veces el deseado (300 lux). La relación entre ambos niveles de iluminación supera el máximo de 1,1, por lo que el nivel de iluminación medio obtenido no cumple con dicha condición.

La uniformidad global de la iluminación de la zona es del 38,4%. Debido a que se ha obtenido una uniformidad global de iluminación en la zona mayor del 20%, dicha uniformidad de iluminación es aceptada.

- **Zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 – Zonas de paso**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
22	100	69,350	82	57	69,5%	0,694
23-24-25	100	130,625	181	88	48,6%	1,306
26	100	301,269	321	106	33,0%	3,013
27	100	72,750	83	56	67,5%	0,728
28	100	290,448	321	73	22,7%	2,904
29	100	164,167	185	129	69,7%	1,642
30	100	192,300	311	93	29,9%	1,923
31	100	239,688	369	117	31,7%	2,397
32	100	81,688	116	50	43,1%	0,817
33	100	190,741	360	41	11,4%	1,907
34	100	53,500	71	38	53,5%	0,535
35	100	293,750	354	212	59,9%	2,938
36-38	100	272,809	345	159	46,1%	2,728
37	100	92,692	162	58	35,8%	0,927
38	100	342,533	429	127	29,6%	3,425
39	100	62,915	157	29	18,5%	0,629
40	100	142,381	216	71	32,9%	1,424
41-42	100	69,350	82	57	69,5%	0,694

**Tabla 35: Resultados luminotécnicos de las zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 (propuesta inicial).**

Los resultados para las *zonas de paso* se pueden observar en la Tabla 35. Atendiendo al nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta inicial, solamente en la *zona 37* se ha obtenido un resultado aceptable, en las demás zonas se deberá de corregir el nivel medio de iluminación obtenido.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, debido a los bajos niveles de iluminación que necesitan las zonas estudiadas, las diferencias en los niveles de iluminación no provocarán molestias en los operarios y por lo tanto su importancia se ve menguada. Cabe mencionar que solamente en las *zonas 33* y *39* el porcentaje de uniformidad de la iluminación no cumple con el 20% mínimo establecido.

- **Zonas 43 y 47 – Control de calidad líneas de pulido y rectificado**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
43	1000	267,000	270	264	97,8%	0,267
47.1	1000	217,500	296	142	48,0%	0,218
47.2	1000	293,000	304	282	92,8%	0,293
47.3	1000	117,500	138	97	70,3%	0,118

Tabla 36: Resultado luminotécnico zonas 43 y 47 (propuesta inicial).

Las zonas 43 y 47 son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de pulido y rectificado y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y de la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixta (natural y artificial).

- **Zonas 44 y 48 – Líneas de pulido y rectificado**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
44	300	259,364	308	102	33,1%	0,865
48	300	251,229	314	113	36,0%	0,837

Tabla 37: Resultados luminotécnicos zonas 44 y 48 (propuesta inicial).

En la Tabla 37 se muestran los resultados luminotécnicos obtenidos para las zonas 44 y 48.

Empezando por la zona 44, casi se han obtenido los resultados deseados. El nivel de iluminación medio obtenido es de 259,364 lux mientras que el deseado es de 300 lux. En otras palabras, el nivel de iluminación obtenido es 0,865 veces el deseado, siendo esta relación menor al mínimo establecido anteriormente (0,9). Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad del 33,1%. Este porcentaje de uniformidad global se considera aceptable, ya que supera el porcentaje mínimo del 20%.

Siguiendo con la zona 48, en esta zona vuelve a ocurrir lo mismo que en la zona 44, los resultados obtenidos están cercanos a los resultados objetivo. El nivel de iluminación medio obtenido en esta zona es de 251,229 lux, mientras que el nivel deseado es de 300 lux, siendo la relación entre ambos (0,837) menor que el mínimo establecido (0,9). Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación en la zona estudiada, ésta es del 36%, por lo que se considera un porcentaje de uniformidad global aceptable.

- **Zonas 45 y 46 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
45	200	221,012	324	61	18,8%	1,105
46	200	178,100	236	100	42,4%	0,891

**Tabla 38: Resultados luminotécnicos zonas 45 y 46 (propuesta inicial).**

Atendiendo a los resultados luminotécnicos obtenidos en la *zona 45* (Tabla 38), el nivel de iluminación medio es prácticamente el deseado, mientras que no se ha conseguido llegar a una uniformidad de iluminación aceptable. El nivel de iluminación medio obtenido es de 221,012 lux, mientras que el objetivo es de 200 lux, como el cociente entre ambos (1,105) prácticamente es el máximo permitido (1,1), se necesitará una leve reducción en el nivel de iluminación medio para esta zona. La uniformidad global de la iluminación es del 18,8%, la cual no cumple con la condición de que sea de al menos del 20%.

Finalmente, los resultados luminotécnicos de la *zona 46* se pueden observar en la Tabla 38. En esta zona se ha obtenido un nivel de iluminación medio que es 0,891 veces el deseado, el cual no cumple con la condición de que dicha relación sea de al menos de 0,9. Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad global del 42,4%, y como este porcentaje es superior al mínimo establecido, la uniformidad global de la zona es la correcta.

### 6.4.3. Propuesta de Mejora

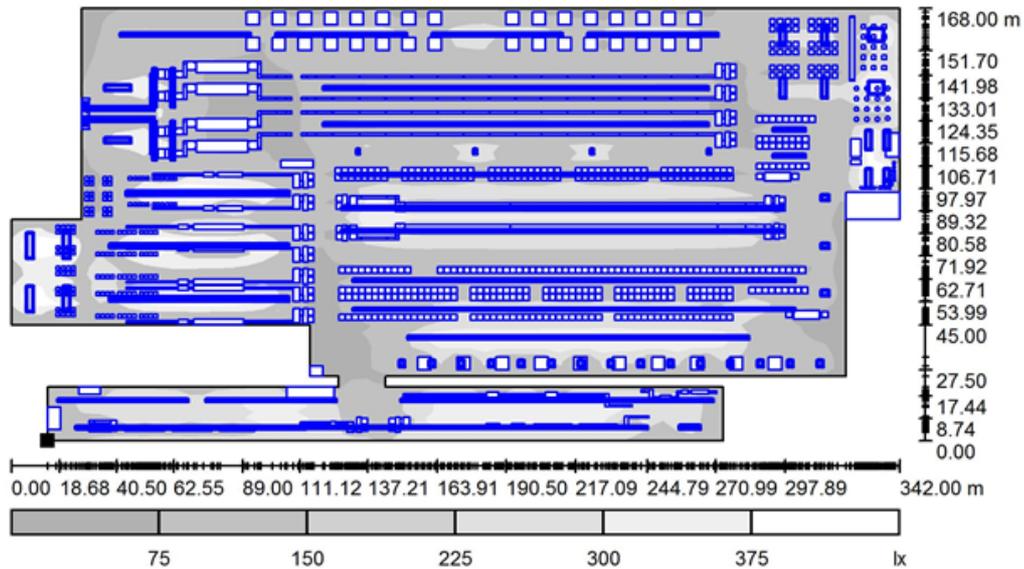
Basándose en los resultados luminotécnicos obtenidos de la propuesta inicial, se ha realizado una mejora de dicha propuesta con el objetivo principal de conseguir obtener un nivel medio de iluminación medio en cada zona parecido al impuesto por la norma. También existe un objetivo secundario en la realización de dicha mejora que es el aumento de la uniformidad global de la iluminación de cada zona de la planta estudiada.

Para la realización de dicha mejora se ha utilizado la misma área de lucernarios que se ha utilizado en la propuesta inicial (2528 m<sup>2</sup>) y los mismos datos que se han mencionado en el apartado 6.4.2.

Las acciones realizadas con el fin de alcanzar los objetivos descritos anteriormente en este punto son:

- Aumento del área de los lucernarios en aquellas zonas donde la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado en la propuesta inicial sea menor de 0,9.
- Reducción del área de los lucernarios en aquellas zonas donde la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado en la propuesta inicial sea mayor de 1,1.
- Reubicación y cambio de disposición de los lucernarios en aquellas zonas donde se deba de aumentar el porcentaje de la uniformidad global (zonas con una uniformidad global menor al 20%).

Con todo esto se ha realizado la simulación y se ha obtenido un valor de iluminación medio de 224 lux, valor muy cercano al deseado (222,45 lux). La distribución de los niveles de iluminación para la planta se muestran a continuación (posteriormente se analizarán los niveles de iluminación medios específicamente para cada zona de la planta):



**Figura 9: Resultado propuesta de mejora.**

En ninguna zona de la planta estudiada se producirán deslumbramientos. Para comprobar los deslumbramientos, se ha calculado el ángulo de incidencia de los haces de luz en todos los puntos de la planta en un plano horizontal a 0,85 m de altura, y se ha comprobado que ningún ángulo de incidencia se encuentra por debajo de 30°.

Cabe mencionar que se ha comprobado que la uniformidad de la iluminación en los puestos de trabajo que en cada uno de ellos el porcentaje de la uniformidad de la iluminación es mayor al 40%.

A continuación se muestra la comparación de los resultados luminotécnicos de las dos propuestas de iluminación natural realizadas:

**- Zona 1 – Serigrafía y Bombos**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
<b>1</b>	300	417,553	13,1%	1,392	301,974	15,4%	1,007

**Tabla 39: Comparación resultados luminotécnicos zona 1.**

En la *zona 1* se puede observar que se ha mejorado el nivel de iluminación medio, ya que éste ha sido rebajado de 417,553 lux a 301,974 lux. Esta importante reducción ha permitido que el nivel medio de iluminación sea prácticamente el deseado (el nivel medio de iluminación obtenido es 1,007 veces el deseado). Por lo tanto, se cumple la condición de que la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado se encuentre entre 0,9 y 1,1.

Atendiendo a la uniformidad global de la zona, en este aspecto no se ha conseguido realizar un aumento significativo. En la propuesta inicial se ha conseguido una uniformidad global del 13,1%, mientras que en la siguiente propuesta este porcentaje ha aumentado hasta el 15,4%, siendo este valor menor al mínimo establecido (20%).

**- Zona 2 – Hornos**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
<b>2</b>	300	320,410	59,5%	1,068	305,090	58,9%	1,017

**Tabla 40: Comparación resultados luminotécnicos zona 2.**

El nivel medio de iluminación obtenido en la propuesta inicial ya era aceptable (ya que prácticamente era el valor deseado). Aun no realizando ninguna modificación en las dimensiones de los lucernarios de la zona, el nivel medio de iluminación se ha reducido 15,32 luxes debido a las modificaciones en los lucernarios de las zonas adyacentes a ésta, provocando que el nivel medio de iluminación obtenido esté más cercano al deseado. Cabe mencionar que en ambas propuestas el nivel de iluminación medio obtenido cumplía con la condición expuesta en el punto 6.4.2.

En cuanto a la uniformidad global de la zona, ya que no se ha realizado ninguna redistribución de los lucernarios de la zona, ésta prácticamente no se ha alterado manteniéndose en un porcentaje aceptable cercano al 60%.

### - Zona 3 – Entrada – Salida de Hornos

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
3.1	300	283,500	44,9%	0,945	298,971	31,1%	0,997
3.2	300	309,941	31,8%	1,033	266,556	41,2%	0,889

Tabla 41: Comparación resultados luminotécnicos zona 3.

Empezando por la zona 3.1, en la propuesta de mejora del sistema de iluminación natural se ha aumentado el nivel de iluminación medio acercándose al impuesto (el nivel medio de iluminación obtenido en la propuesta de mejora es 0,997 veces el deseado), cumpliéndose la condición de que al menos el nivel de iluminación medio obtenido sea 0,9 veces el deseado. En el lado contrario, la uniformidad global de la zona se ha reducido de un 44,9% hasta el 31,1%. Aun siendo este cambio negativo, la uniformidad global de la zona cumple con el mínimo impuesto del 20%.

Siguiendo con la zona 3.2, en esta zona ocurre lo contrario que en la zona 3.1 ya que el nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta de mejora se aleja del deseado (pasa de ser 1,033 veces el deseado a ser 0,889 veces). Este cambio es negativo ya que la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado pasa a ser menor de 0,9. La uniformidad global aumenta (pasa de ser del 31,8% a ser del 41,2%), siendo este cambio positivo para la iluminación de la zona.

### - Zona 4 – Prensas

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
4	300	252,529	53,2%	0,842	298,735	50,0%	0,996

Tabla 42: Comparación resultados luminotécnicos zona 4.

En la zona 4 se ha conseguido obtener un nivel de iluminación medio mucho más cercano al nivel de iluminación medio impuesto por la norma. Este aumento de 46,206 lux se debe al aumento de las dimensiones de los lucernarios de la zona. Por consiguiente, la relación entre el nivel de iluminación obtenido y el deseado pasa de ser 0,842 a ser 0,996, estando entre los valores aceptados de 0,9 y 1,1.

Atendiendo a la uniformidad global, ésta no ha variado mucho entre ambas propuestas. Por lo tanto, la uniformidad global se mantiene en un porcentaje en torno al 50%, el cual es aceptable.

**- Zona 5 – Secadora**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
5	50	62,703	19,4%	1,254	81,324	15,2%	1,626

**Tabla 43: Comparación resultados luminotécnicos zona 5.**

Los resultados luminotécnicos obtenidos en la propuesta de mejora para la zona 5 son peores que los obtenidos en la propuesta inicial. El nivel de iluminación medio se aleja del nivel deseado. En la propuesta inicial se obtuvo un nivel de iluminación medio de 62,703 lux, mientras que en la propuesta de mejora se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 81,324. En otras palabras, el nivel de iluminación medio de la propuesta inicial era 1,254 veces el deseado, mientras que el obtenido en la propuesta de mejora es 1,626 veces el deseado, alejándose del valor máximo de 1,1.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta también se ha visto reducida de la propuesta inicial a la propuesta de mejora. Existe una reducción de la uniformidad global de la iluminación de la zona desde un 19,4% hasta un 15,2%, alejándose el porcentaje de la uniformidad global de la iluminación del 20% mínimo.

**- Zona 6 – Pasarelas**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
6	100	62,914	28,2%	0,629	72,690	31,5%	0,727

**Tabla 44: Comparación resultados luminotécnicos zona 6.**

Atendiendo a los resultados luminotécnicos obtenidos tanto en la propuesta inicial como en la propuesta de mejora para la zona 6, éstos han mejorado aunque no se ha conseguido llegar hasta el nivel de iluminación medio deseado. Empezando por el nivel de iluminación medio de la zona, éste ha aumentado (desde 62,914 lux hasta 72,69 lux) aunque no lo suficiente (ya que se pretendía llegar hasta 100 lux). Por lo tanto, el nivel de iluminación medio obtenido no cumple con la condición de que el cociente entre éste y el nivel de iluminación medio posea un valor de al menos de 0,9. Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta ha aumentado de un 28% hasta un 31,5% siendo un aumento positivo para la iluminación de la zona. Cabe mencionar que en ambos casos el porcentaje de uniformidad global de iluminación de la zona supera el 20% mínimo.

- **Zona 7 – Líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
7	300	227,313	46,3%	0,758	290,284	50,3%	0,968

Tabla 45: Comparación resultados luminotécnicos zona 7.

En los resultados luminotécnicos de la zona 7 se aprecia una mejora significativa en el nivel de iluminación medio y una leve mejora en la uniformidad global de la iluminación.

Empezando por el nivel de iluminación medio, en la propuesta inicial éste era de 227,313 lux (0,758 veces el nivel medio de iluminación deseado) y en la propuesta de mejora el nivel de iluminación medio se ha visto aumentado hasta 290,284 lux (0,968 veces el nivel medio de iluminación deseado). Esta aproximación al nivel medio de iluminación deseado supone una gran mejora en la iluminación de la zona, y además, se ha conseguido que el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado sea superior a 0,9.

Siguiendo con la uniformidad global de la zona, entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora éste se ha visto aumentado en un 4%, aumento casi inapreciable pero que supone una leve mejora en la iluminación de la zona. Tanto la uniformidad global de la propuesta inicial como de la propuesta de mejora cumple con la condición de que sea de al menos del 20%.

- **Zona 8 – Boxes líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
8	200	93,286	25,2%	0,466	119,357	28,8%	0,597

Tabla 46: Comparación resultados luminotécnicos zona 8.

En la zona 8 se ha conseguido una leve mejora en el nivel de iluminación medio y en la uniformidad global de la iluminación.

El nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta inicial es 0,466 veces el deseado, mientras que el obtenido en la propuesta de mejora es 0,597 veces el deseado. Este aumento del nivel de iluminación medio de la zona resulta positivo para la iluminación de la zona, aunque insuficiente para que el nivel de iluminación medio de la zona cumpla con la condición de que la relación entre éste y el deseado sea de al menos 0,9.

Atendiendo a la uniformidad global de iluminación de la zona estudiada, ésta aumenta de forma casi inapreciable entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora. Éste aumento es del 3,6%, un aumento tan bajo que prácticamente no altera la uniformidad global de la iluminación de la zona. Cabe mencionar que las uniformidades

globales de la propuesta inicial y las de la propuesta de mejora cumplen con la condición de que sean de al menos 20%.

**- Zona 9 – Secadoras**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
9.1	50	47,333	56,1%	0,947	46,000	52,2%	0,920
9.2	50	169,833	21,2%	3,397	100,833	29,2%	2,017

**Tabla 47: Comparación resultados luminotécnicos zona 9.**

Empezando por la *zona 9.1* los resultados luminotécnicos obtenidos en la propuesta de mejora han sido sutilmente perjudiciales si se comparan con los resultados luminotécnicos obtenidos en la propuesta inicial. El nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta de mejora es 1,333 lux menor que el nivel obtenido en la propuesta inicial. Esta disminución aleja un poco el nivel medio de iluminación medio obtenido del deseado, aunque como dicha diferencia es tan pequeña y la relación entre el nivel de iluminación medio y el deseado se encuentra en ambos casos entre 0,9 y 1,1 el efecto negativo es prácticamente nulo. Lo mismo ocurre con la uniformidad global de la iluminación de la zona, la uniformidad global en la propuesta inicial es de 56,1% mientras que en la propuesta de mejora es de 52,2%. Aun existiendo una leve disminución, como el valor de la uniformidad global es mayor del 20%, éste es aceptado.

Siguiendo por la *zona 9.2*, en la propuesta de mejora se han mejorado los resultados luminotécnicos de dicha zona con respecto a los obtenidos en la propuesta inicial. Empezando por el nivel de iluminación medio, éste se ha reducido de 169,833 lux inicialmente hasta los 100,833 lux. Por lo tanto, se ha conseguido reducir la distancia a los 50 lux impuestos por la norma a la zona, aunque este nivel de iluminación medio se encuentra por encima del tolerado (la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado es mayor de 1,1). Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación de la zona, se ha visto un aumento del 21,2% hasta el 29,2%. Siendo este aumento positivo y además cumple con la condición de que la uniformidad global de la iluminación sea de al menos del 20%.

**- Zonas 10 y 11 – Control de calidad de las líneas de clasificación y embalaje**

ZONA	E <sub>m</sub> - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m-impuesto</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m-impuesto</sub>
10.1	1000	114,500	63,3%	0,115	180,000	61,4%	0,180
10.2	1000	134,000	62,9%	0,134	211,250	59,8%	0,211
11.1	1000	164,333	69,7%	0,164	245,333	70,5%	0,245
11.2	1000	236,333	79,9%	0,236	357,000	84,8%	0,357
11.3	1000	201,667	65,7%	0,202	303,667	67,0%	0,304
11.4	1000	155,000	100%	0,155	233,000	100,0%	0,233

**Tabla 48: Comparación resultados luminotécnicos zonas 10 y 11.**

Tal y como se ha mencionado en el análisis de los resultados luminotécnicos para la propuesta inicial, las *zonas 10 y 11* son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de clasificación y embalaje y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y a la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixto (natural y artificial).

Conociendo la limitación de ambas zonas, se puede observar como se ha mejorado tanto en el nivel de iluminación medio como en la uniformidad global de la iluminación de la zona.

**- Zonas 12 y 13 – Líneas de clasificación y embalaje**

ZONA	E <sub>m</sub> - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m-impuesto</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m-impuesto</sub>
12	300	192,388	24,7%	0,641	294,909	21,8%	0,983
13	300	210,134	9,8%	0,700	283,876	16,7%	0,946

**Tabla 49: Comparación resultados luminotécnicos zonas 12 y 13.**

Empezando por la *zona 12*, de la propuesta inicial a la propuesta de mejora se ha mejorado el nivel de iluminación medio considerablemente y se ha empeorado de forma leve la uniformidad global de la iluminación de la zona. Empezando por el nivel de iluminación medio, en la propuesta inicial se consiguió un nivel de iluminación medio 0,641 veces el deseado, y en la propuesta de mejora el nivel de iluminación medio ha aumentado hasta ser 0,946 veces el deseado, es decir, el nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta de mejora se encuentra dentro del intervalo considerado como aceptable (relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado de entre 0,9 y 1,1). Siguiendo con la uniformidad global de iluminación de la zona, se ha reducido levemente dicha uniformidad del 24,7% al 21,8%. Debido a que este porcentaje de uniformidad global de la iluminación es mayor del 20%, se considera aceptable el porcentaje obtenido en la propuesta de mejora.

Siguiendo con la *zona 13*, en esta zona se ha mejorado tanto en el nivel de iluminación medio como en la uniformidad global de la zona de la propuesta inicial a la

propuesta de mejora. El nivel de iluminación medio ha pasado de ser 0,7 veces a ser 0,946 veces el deseado. Este aumento del nivel medio de iluminación resulta beneficioso para la iluminación de la zona ya que prácticamente se consigue el nivel medio de iluminación impuesto por la norma para la zona y el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado en la propuesta de mejora es mayor de 0,9. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, se ha conseguido aumentar dicha uniformidad global del 9,8% al 16,7%. Este aumento también resulta beneficioso para la iluminación de la zona, aunque no se ha conseguido llegar hasta el porcentaje mínimo del 20%.

**- Zonas 14, 15 y 16 – Boxes**

ZONA	E <sub>m</sub> - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m</sub> - impuesto	E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m</sub> - impuesto
<b>14</b>	200	268,125	79,2%	1,341	233,625	78,4%	1,168
<b>15</b>	200	124,250	18,1%	0,621	131,375	15,6%	0,657
<b>16</b>	200	288,121	25,8%	1,441	206,856	29,1%	1,034

**Tabla 50: Comparación resultados luminotécnicos zonas 14, 15 y 16.**

Los resultados luminotécnicos tanto para la propuesta inicial como para la propuesta de mejora de la *zona 14* se pueden observar en la Tabla 50. El nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta de mejora (233,625 lux) es menor que el obtenido en la propuesta inicial (268,125 lux), esto es positivo ya que el nivel de iluminación medio de la propuesta de mejora se acerca más al nivel medio deseado (200 lux). Se ha conseguido reducir el cociente entre el nivel medio de iluminación obtenido y el deseado de la propuesta inicial a la propuesta de mejora (de 1,341 a 1,168) aunque no se ha conseguido cumplir la condición que dicho cociente sea menor de 1,1. Atendiendo a la uniformidad de la iluminación de la zona, ésta prácticamente no varía entre propuestas y al tener un valor muy elevado la uniformidad global es la correcta.

Siguiendo con los resultados luminotécnicos de la propuesta inicial y de la propuesta de mejora para la *zona 15*, en esta zona no se ha conseguido mejorar la iluminación. El nivel de iluminación medio experimenta un aumento muy reducido entre la propuesta inicial (124,25 lux) y la propuesta de mejora (131,375 lux), por lo que el aproximamiento al nivel de iluminación medio deseado es prácticamente inapreciable. Cabe mencionar que en ambos casos, el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado no cumple la condición de que sea al menos 0,9. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, esta se ve reducida en un 2,5% entre ambas propuestas y no cumple la condición de que sea de al menos del 20%.

Finalmente, en la *zona 16* se ha conseguido mejorar el nivel de iluminación medio y la uniformidad global de la iluminación de la zona. Empezando por el nivel de iluminación medio, se ha conseguido reducir dicho nivel desde 288,21 lux hasta 206,856, siendo este valor prácticamente el deseado (200 lux). En esta zona se ha conseguido que la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado se encuentre entre el intervalo comprendido entre 0,9 y 1,1. Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta se ha aumentado un 3,3%, lo cual es

prácticamente inapreciable. Cabe mencionar que en ambas propuestas la uniformidad global de la iluminación cumple con el porcentaje mínimo establecido anteriormente.

#### - Zona 17 – Almacén

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
17	200	293,343	10,0%	1,467	236,455	17,7%	1,182

Tabla 51: Comparación resultados luminotécnicos zona 17.

En la zona 17 se ha conseguido mejorar tanto el nivel medio de iluminación como la uniformidad global de la iluminación de la zona. En la propuesta inicial, el nivel de iluminación medio era demasiado elevado (1,467 veces el deseado) y para rebajarlo se ha reducido las dimensiones de los lucernarios de la zona hasta conseguir un nivel de iluminación medio 1,182 veces el deseado. Aun reduciendo el nivel de iluminación medio de la zona, no se ha conseguido cumplir la condición de que la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado sea como máximo de 1,1. En cuanto a la uniformidad global, ésta se ha aumentado un 7,7% con respecto a la propuesta inicial, cabe mencionar que ésta no cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

#### - Zona 18 – Color

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
18	300	119,000	66,9%	0,397	121,400	66,9%	0,405

Tabla 52: Comparación resultados luminotécnicos zona 18.

Atendiendo a los resultados luminotécnicos de la zona 18, tal y como se ha mencionado en la propuesta inicial, el plano en el que es interesante conocer los niveles de iluminación media está a mayor altura que el plano útil, y por lo tanto los resultados luminotécnicos obtenidos no son analizables ya que no se corresponden a los resultados en el plano de interés. Aun así se compararán los resultados luminotécnicos obtenidos para el plano útil. Tal y como se puede observar en la Tabla 53, el nivel de iluminación medio prácticamente no ha variado (ha pasado de ser 119 lux a ser 121,4 lux) y la uniformidad global de la iluminación no ha variado entre las dos propuestas de iluminación natural.

**- Zonas 19 y 20 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
19	200	183,612	14,9%	0,918	193,712	13,9%	0,969
20	200	190,416	22,2%	0,952	181,865	23,8%	0,909

**Tabla 53: Comparación resultados luminotécnicos zonas 19 y 20.**

Empezando por los resultados luminotécnicos de la *zona 19*, tanto en el nivel de iluminación medio como en la uniformidad global de la iluminación no se han conseguido grandes variaciones. El nivel de iluminación medio ha aumentado de ser 0,918 veces el deseado en la propuesta inicial a ser 0,969 veces el deseado en la propuesta de mejora. Este aumento del nivel medio de iluminación supone una mejora leve en la calidad de la iluminación de la zona ya que éste se encuentra más cerca del nivel de iluminación medio impuesto por la norma. Por lo tanto, en ambas propuestas se ha conseguido llegar hasta el 0,9 mínimo. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, existe un cambio inapreciable entre la uniformidad global obtenida en la propuesta inicial y la obtenida en la propuesta de mejora (reducción del 1% entre propuestas), aun así, no se ha conseguido alcanzar el 20% de uniformidad global de la iluminación de la zona.

Atendiendo a los resultados luminotécnicos de la *zona 20*, entre ambas propuestas se ha obtenido un pequeño alejamiento del nivel de iluminación medio deseado y un leve aumento en la uniformidad global de la iluminación de la zona. Empezando por el nivel de iluminación medio, en la propuesta inicial se ha conseguido un nivel de 190,416 lux y en la propuesta de mejora se ha obtenido un nivel de 181,865 lux. Debido a que el nivel de iluminación medio deseado es de 200 lux, en esta zona se ha empeorado de forma reducida la iluminación de la zona, aunque la relación entre ambos niveles de iluminación continua siendo mayor de 0,9. Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación de la zona, prácticamente no ha variado entre ambas propuestas (se ha pasado de 22,2% a 23,8%), por lo que se sigue cumpliendo la condición de que posea un porcentaje superior al 20%.

- **Zona 21 – Parque de contenedores de esmalte**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
21	300	408,718	38,4%	1,362	307,051	34,7%	1,024

Tabla 54: Comparación resultados luminotécnicos zona 21.

En la zona 21 se ha mejorado el nivel de iluminación medio. En la propuesta inicial el nivel de iluminación medio era 1,362 veces el deseado, por lo que para reducir dicho nivel se ha reducido las dimensiones de los lucernarios de la zona. Como resultado se ha obtenido un nivel de iluminación medio que es 1,024 veces el deseado, es decir, se ha obtenido una relación que se encuentra dentro del intervalo aceptado. Atendiendo a la uniformidad global de la zona, ésta se ha reducido entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora (de 38,4% a 34,7%). Esta reducción del 3,7% resulta inapreciable debido al bajo nivel de iluminación medio de la zona y además, se sigue cumpliendo la condición que dicha uniformidad global sea de al menos del 20%.

- **Zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 – Zonas de paso**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
22	100	69,350	69,5%	0,694	73,050	67,4%	0,731
23-24- 25	100	130,625	48,6%	1,306	138,250	45,3%	1,383
26	100	301,269	33,0%	3,013	216,923	41,6%	2,169
27	100	72,750	67,5%	0,728	77,500	72,7%	0,775
28	100	290,448	22,7%	2,904	267,138	34,0%	2,671
29	100	164,167	69,7%	1,642	130,500	56,9%	1,305
30	100	192,300	29,9%	1,923	137,200	35,7%	1,372
31	100	239,688	31,7%	2,397	117,219	48,2%	1,172
32	100	81,688	43,1%	0,817	87,313	43,4%	0,873
33	100	190,741	11,4%	1,907	152,657	18,4%	1,527
34	100	53,500	53,5%	0,535	51,429	52,2%	0,514
35	100	293,750	59,9%	2,938	109,750	62,0%	1,098
36-38	100	272,809	46,1%	2,728	197,059	40,8%	1,971
37	100	92,692	35,8%	0,927	69,615	43,1%	0,696
38	100	342,533	29,6%	3,425	294,685	33,4%	2,947
39	100	62,915	18,5%	0,629	60,787	23,4%	0,608
40	100	142,381	32,9%	1,424	146,619	29,7%	1,466
41-42	100	69,350	69,5%	0,694	73,050	67,4%	0,731

Tabla 55: Comparación resultados luminotécnicos zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42.

Los resultados para las zonas de paso se pueden observar en la Tabla 55. El nivel de iluminación medio en estas zonas ha variado según la variación de las dimensiones de los lucernarios en estas zonas y en las zonas adyacentes a éstas. Cabe

mencionar que en ninguna zona se ha conseguido una relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado comprendido entre 0,9 y 1,1.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, debido a los bajos niveles de iluminación que necesitan las zonas estudiadas, las diferencias niveles de iluminación no provocarán molestias en los operarios y por lo tanto su importancia se ve menguada. Cabe mencionar que en la única zona donde no se ha obtenido un porcentaje de uniformidad global mayor del 20% es en la *zona 33*.

**- Zonas 43 y 47 – Control de calidad líneas de pulido y rectificado**

ZONA	E <sub>m</sub> - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m- impuesto</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>	E <sub>m</sub> /E <sub>m- impuesto</sub>
43	1000	267,000	97,8%	0,267	270,000	94,2%	0,270
47.1	1000	217,500	48,0%	0,218	228,500	46,3%	0,229
47.2	1000	293,000	92,8%	0,293	314,500	90,6%	0,315
47.3	1000	117,500	70,3%	0,118	124,500	61,7%	0,125

**Tabla 56: Comparación resultados luminotécnicos zonas 43 y 47.**

Tal y como se ha mencionado en el apartado 6.4.2. las *zonas 43 y 47* son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de pulido y rectificado y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y de la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixto (natural y artificial). Aun así, se puede observar en la Tabla 56 como el nivel de iluminación medio ha aumentado entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de estas zonas, en algunas zonas ésta ha aumentado o ha disminuido, pero debido a que se implementará iluminación artificial, la uniformidad global de la iluminación natural pierde toda importancia.

- **Zonas 44 y 48 – Líneas de pulido y rectificado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
44	300	259,364	33,1%	0,865	269,035	28,6%	0,897
48	300	251,229	36,0%	0,837	267,424	28,0%	0,891

Tabla 57: Comparación resultados luminotécnicos zonas 44 y 48.

Empezando por la zona 44, entre los resultados luminotécnicos de la propuesta inicial y los de la propuesta de mejora no ha habido ningún cambio significativo. El nivel de iluminación medio aumenta de 259,364 lux a 269,035 lux, el cual se acerca un poco más a los 300 lux deseados. Aun mejorando el nivel de iluminación medio de la zona, el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado sigue siendo menor a 0,9 y por tanto no cumple esta condición. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta se ve reducida en un 4,5%, cambio inapreciable para el nivel de iluminación medio de la zona. Cabe mencionar que la uniformidad global de la zona sigue cumpliendo con la condición de que sea de al menos del 20%.

Siguiendo por la zona 48, el nivel de iluminación medio y la uniformidad global de la iluminación han experimentado variaciones suaves entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora. En la propuesta inicial el nivel de iluminación medio es 0,837 veces el deseado, mientras que en la propuesta de mejora éste pasa a ser 0,891 veces el deseado. Este suave aumento del nivel de iluminación medio acerca este valor al impuesto por la norma, pero sigue sin cumplir la condición de que sea al menos 0,9 veces el deseado. Atendiendo a la uniformidad global de la zona, entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora la uniformidad global se ha reducido en un 8%, porcentaje que no provoca que la uniformidad global de la zona caiga del 20%.

**- Zonas 45 y 46 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
45	200	216,500	18,8%	1,083	230,698	27,1%	1,153
46	200	178,100	42,4%	0,891	215,200	47,1%	1,076

**Tabla 58: Comparación resultados luminotécnicos zonas 45 y 46.**

Empezando por los resultados luminotécnicos de la *zona 45*, en el nivel de iluminación medio ha habido un cambio negativo y en la uniformidad global de la zona el cambio ha sido positivo. Entre el nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta inicial y el obtenido en la propuesta de mejora ha habido un aumento de 14,2 lux, el cual aleja dicho valor del deseado. En este caso, se ha pasado de un cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado que se encontraba entre los valores aceptados a un cociente que no se encuentra entre dichos valores, por lo tanto se ha reducido la calidad de la iluminación de la zona. En cuanto a la uniformidad global de la zona, ésta ha aumentado de un 18,8% en la propuesta inicial a un 27,1% en la propuesta de mejora, cumpliéndose la condición de que al menos posea un porcentaje superior al 20%.

Siguiendo con los resultados luminotécnicos de la *zona 46*, en este caso tanto en el nivel de iluminación medio como en la uniformidad global de la iluminación de la zona han experimentado cambios positivos entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora. En la propuesta inicial el nivel de iluminación medio es 0,891 veces el deseado, por lo tanto se ha aumentado las dimensiones de los lucernarios de la zona para conseguir que un nivel de iluminación medio el cual es 1,076 veces el deseado, el cual cumple con la condición de que sea menor de 1,1 veces el deseado. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta también ha aumentado entre la propuesta inicial y la propuesta de mejora (ha pasado de ser del 42,4% a ser del 47,1%). En ambas propuestas, la uniformidad global es superior al 20% y por lo tanto cumple dicha condición.

#### 6.4.4. Resumen de resultados – Propuesta Inicial y Propuesta de Mejora

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos obtenidos tanto en la propuesta inicial como en la propuesta de mejora:

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA DE MEJORA		
		$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto	$E_m$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
1	300	417,553	13,1%	1,392	301,974	15,4%	1,007
2	300	320,410	59,5%	1,068	305,090	58,9%	1,017
3.1	300	283,500	44,9%	0,945	298,971	31,1%	0,997
3.2	300	309,941	31,8%	1,033	266,556	41,2%	0,889
4	300	252,529	53,2%	0,842	298,735	50,0%	0,996
5	50	62,703	19,4%	1,254	81,324	15,2%	1,626
6	100	62,914	28,2%	0,629	72,690	31,5%	0,727
7	300	227,313	46,3%	0,758	290,284	50,3%	0,968
8	200	93,286	25,2%	0,466	119,357	28,8%	0,597
9.1	50	47,333	56,1%	0,947	46,000	52,2%	0,920
9.2	50	169,833	21,2%	3,397	100,833	29,2%	2,017
10.1	1000	114,500	63,3%	0,115	180,000	61,4%	0,180
10.2	1000	134,000	62,9%	0,134	211,250	59,8%	0,211
11.1	1000	164,333	69,7%	0,164	245,333	70,5%	0,245
11.2	1000	236,333	79,9%	0,236	357,000	84,8%	0,357
11.3	1000	201,667	65,7%	0,202	303,667	67,0%	0,304
11.4	1000	155,000	100%	0,155	233,000	100,0%	0,233
12	300	192,388	24,7%	0,641	294,909	21,8%	0,983
13	300	210,134	9,8%	0,700	283,876	16,7%	0,946
14	200	268,125	79,2%	1,341	233,625	78,4%	1,168
15	200	124,250	18,1%	0,621	131,375	15,6%	0,657
16	200	288,121	25,8%	1,441	206,856	29,1%	1,034
17	200	293,343	10,0%	1,467	236,455	17,7%	1,182
18	300	119,000	66,9%	0,397	121,400	66,9%	0,405
19	200	183,612	14,9%	0,918	193,712	13,9%	0,969
20	200	190,416	22,2%	0,952	181,865	23,8%	0,909
21	300	408,718	38,4%	1,362	307,051	34,7%	1,024
22	100	69,350	69,5%	0,694	73,050	67,4%	0,731
23-24- 25	100	130,625	48,6%	1,306	138,250	45,3%	1,383
26	100	301,269	33,0%	3,013	216,923	41,6%	2,169
27	100	72,750	67,5%	0,728	77,500	72,7%	0,775
28	100	290,448	22,7%	2,904	267,138	34,0%	2,671
29	100	164,167	69,7%	1,642	130,500	56,9%	1,305
30	100	192,300	29,9%	1,923	137,200	35,7%	1,372
31	100	239,688	31,7%	2,397	117,219	48,2%	1,172
32	100	81,688	43,1%	0,817	87,313	43,4%	0,873
33	100	190,741	11,4%	1,907	152,657	18,4%	1,527
34	100	53,500	53,5%	0,535	51,429	52,2%	0,514
35	100	293,750	59,9%	2,938	109,750	62,0%	1,098
36-38	100	272,809	46,1%	2,728	197,059	40,8%	1,971
37	100	92,692	35,8%	0,927	69,615	43,1%	0,696
38	100	342,533	29,6%	3,425	294,685	33,4%	2,947
39	100	62,915	18,5%	0,629	60,787	23,4%	0,608

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

40	100	142,381	32,9%	1,424	146,619	29,7%	1,466
41-42	100	69,350	69,5%	0,694	73,050	67,4%	0,731
43	1000	267,000	97,8%	0,267	270,000	94,2%	0,270
44	300	259,364	33,1%	0,865	269,035	28,6%	0,897
45	200	216,500	18,8%	1,083	230,698	27,1%	1,153
46	200	178,100	42,4%	0,891	215,200	47,1%	1,076
47.1	1000	217,500	48,0%	0,218	228,500	46,3%	0,229
47.2	1000	293,000	92,8%	0,293	314,500	90,6%	0,315
47.3	1000	117,500	70,3%	0,118	124,500	61,7%	0,125
48	300	251,229	36,0%	0,837	267,424	28,0%	0,891

**Tabla 59: Cuadro resumen de resultados (Propuesta Inicial y Propuesta de Mejora).**

Como ya se ha mencionado anteriormente, se han realizado una serie de acciones sobre el sistema de iluminación natural con el fin de mejorar los resultados luminotécnicos de la propuesta inicial.

Cabe mencionar que los cambios en el sistema de iluminación natural se han centrado en todas las zonas donde ocurra un proceso o se almacene material. Con esto, las acciones realizadas se pueden dividir entre aquellas centradas a corregir el nivel de iluminación medio y aquellas centradas en aumentar la uniformidad global de la iluminación de la zona:

#### Nivel de Iluminación Medio

- Aumento de las dimensiones de los lucernarios: en aquellas zonas donde el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado en la propuesta inicial es menor de 0,9. Esto indica que es necesario aumentar el nivel de iluminación medio de la zona, y por lo tanto, un aumento de las dimensiones de los lucernarios aumenta el nivel de iluminación medio de la zona.
- Disminución de las dimensiones de los lucernarios: en aquellas zonas donde el cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado en la propuesta inicial es mayor de 1,1. Esto indica que es necesario reducir el nivel de iluminación medio de la zona, y por lo tanto, una disminución de las dimensiones de los lucernarios reduce el nivel de iluminación medio de la zona.

#### Uniformidad Global de la Iluminación

- Redistribución de los lucernarios existentes: cambio de las posiciones de los lucernarios ya existentes para aumentar la uniformidad global de la iluminación de la zona. Con esta acción se pretende que en aquellos lugares dentro de una zona donde existían concentraciones de máximos y mínimos de los niveles de iluminación medios desaparezcán y, por tanto, se aumente la uniformidad global de la iluminación de la zona.
- Cambio del número de lucernarios y de su disposición: en aquellas zonas donde la distribución de los niveles de iluminación medios mostraba grandes zonas donde se concentraban los niveles de iluminación medios más bajos o altos. En este caso se aumenta el número de los lucernarios presentes en la zona.

(manteniendo el área total de lucernarios necesaria para obtener el nivel de iluminación medio deseado) y se instalan en una disposición que evite estas zonas de concentración de niveles de iluminación elevados o bajos.

#### 6.4.5. Propuesta práctica

A continuación se presenta una propuesta práctica del sistema de iluminación natural de la planta estudiada. Dicha propuesta se ha realizado con el fin de diseñar un sistema de iluminación natural que sea posible implantarlo en la planta.

Para la realización de esta propuesta se ha utilizado un área de lucernarios de 2546,2 m<sup>2</sup> y se ha simulado utilizando los mismos datos mencionados en el apartado 6.4.2. La disposición y las dimensiones de los lucernarios se pueden observar en el PLANO 2<sup>8</sup>.

Las acciones que se han llevado a cabo para diseñar el sistema de iluminación natural de esta propuesta son:

- Reducción del número de lucernarios con medidas diferentes.
- Aumento del orden en la distribución de los lucernarios.

Una vez realizada la simulación, se ha obtenido un valor de iluminación medio de 225 lux, valor muy cercano al deseado (222,45 lux). La distribución de los niveles de iluminación para la planta se muestran a continuación (posteriormente se analizarán los niveles de iluminación medios específicamente para cada zona de la planta):

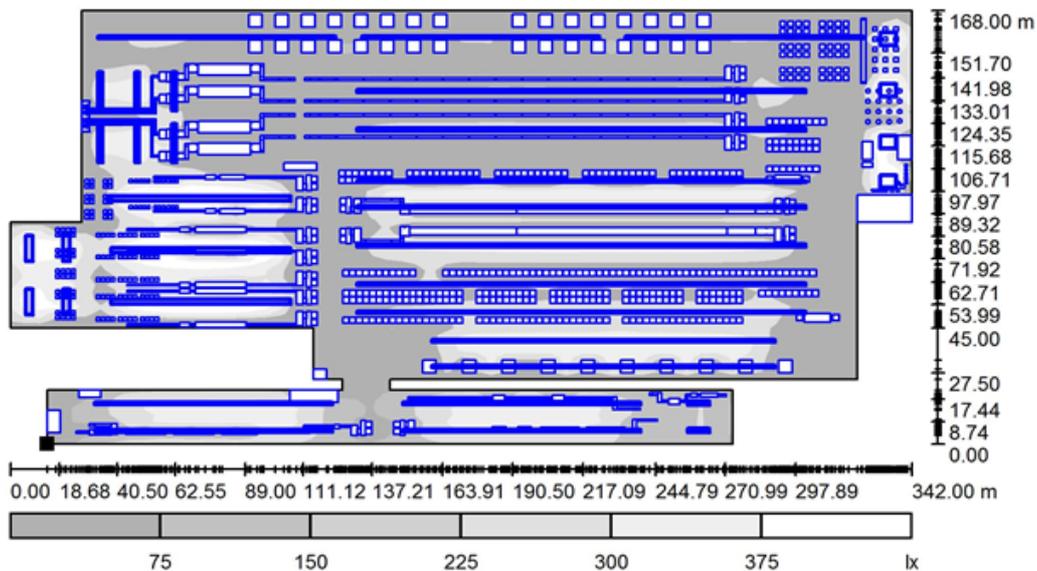


Figura 10: Resultado propuesta práctica.

<sup>8</sup> La zona 18 de la distribución en planta (Figura 2) no se tiene en cuenta ya que es un edificio independiente del resto de la planta.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

En esta propuesta, en ninguna zona de la planta estudiada se producirán deslumbramientos. Con el fin de comprobar si existen deslumbramientos, se ha calculado el ángulo de incidencia de los haces de luz en todos los puntos de la planta en un plano horizontal a 0,85 m de altura, y se ha comprobado que ningún ángulo de incidencia se encuentra por debajo de 30°.

Cabe mencionar que se ha comprobado que la uniformidad de la iluminación en los puestos de trabajo que en cada uno de ellos el porcentaje de la uniformidad de la iluminación es mayor al 40%.

A continuación se muestra la comparación de los resultados luminotécnicos de las dos propuestas de iluminación natural realizadas:

**- Zona 1 – Serigrafía y Bombos**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
<b>1</b>	300	308,553	561	58	10,3%	1,029

**Tabla 60: Resultados luminotécnicos zona 1 (propuesta práctica).**

Empezando por analizar la *zona 1*, se ha obtenido un buen resultado en el nivel de iluminación medio obtenido pero no en la uniformidad global. En primer lugar, el nivel de iluminación medio obtenido en esta zona (308,553 lux) supera al nivel de iluminación medio deseado (300 lux), siendo el valor obtenido 1,029 veces el valor deseado. Debido a que esta relación se encuentra entre 0,9 y 1,1, el nivel de iluminación medio obtenido se considera aceptable.

Atendiendo al factor de uniformidad global, en esta zona se ha obtenido un factor del 10,3%. Por lo tanto, el factor de uniformidad global de la *zona 1* no cumple con el mínimo establecido.

**- Zona 2 – Hornos**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
<b>2</b>	300	292,583	348	239	68,7%	0,975

**Tabla 61: Resultados luminotécnicos zona 2 (propuesta práctica).**

Atendiendo a los resultados luminotécnicos obtenidos de la propuesta inicial en la *zona 2*, se han obtenido unos resultados que se acercan bastante a los deseados. En primer lugar, el nivel de iluminación medio deseado es de 300 lux, y tras la simulación, se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 292,583 lux. El nivel de iluminación medio es 0,975 veces mayor que el deseado, lo cual significa que se ha obtenido un nivel de iluminación medio que cumple con los límites establecidos.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación, en esta zona se ha conseguido un factor de uniformidad global del 68,7%. Este factor de uniformidad cumple con lo establecido anteriormente.

### - Zona 3 – Entrada – Salida de Hornos

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
3.1	300	250,382	340	112	32,9%	0,835
3.2	300	282,278	339	210	61,9%	0,941

Tabla 62: Resultados luminotécnicos zona 3 (propuesta práctica).

Los resultados de la zona 3.1 se pueden observar en la Tabla 62. Empezando por el nivel de iluminación medio obtenido, éste es de 250,382 lux. Este valor es 0,835 veces el nivel de iluminación medio deseado, el cual está por debajo del 0,9 mínimo y por lo tanto, el nivel de iluminación medio obtenido para esta zona no se considera aceptable.

En la zona 3.1 la uniformidad global de la iluminación es del 32,9%. Por lo que se cumple con la condición de uniformidad de iluminación mínima del 20%.

Siguiendo con los resultados de la zona 3.2, el nivel de iluminación medio obtenido es de 282,278 lux, siendo este valor 0,941 veces el deseado. Por lo tanto, la relación de niveles medios de iluminación cumple con la límites establecidos.

Respecto a la uniformidad global de la iluminación de la zona estudiada, se ha obtenido un factor de uniformidad global del 61,9%, la cual cumple la condición establecida anteriormente.

### - Zona 4 – Prensas

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
4	300	270,000	338	183	54,1%	0,900

Tabla 63: Resultados luminotécnicos zona 4 (propuesta práctica).

Atendiendo a los resultados de la zona 4, se ha conseguido llegar hasta el nivel de iluminación medio deseado. El nivel de iluminación medio deseado es de 300 lux, mientras que el obtenido mediante la simulación es de 270 lux, es decir, el nivel de iluminación medio obtenido es 0,9 veces el deseado., cumpliendo con la condición de que el nivel de iluminación medio obtenido sea al menos 0,9 veces el nivel de iluminación medio deseado.

En cuanto a la uniformidad lumínica global en la zona estudiada, ésta es del 54,1%, al ser una uniformidad mayor del 20% se considera como aceptable.

- **Zona 5 – Secadora**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
5	50	80,784	194	29	14,9%	1,616

Tabla 64: Resultados luminotécnicos zona 5 (propuesta práctica).

En la zona 5 se ha sobrepasado el nivel de iluminación medio deseado. Se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 80,784 lux, siendo este valor 1,616 veces el valor deseado. Como la relación de niveles de iluminación medios es mayor de 1,1, no se ha obtenido un correcto nivel de iluminación medio en esta zona.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, en este caso se consigue una uniformidad global del 14,9%, el cual no cumple con la condición de que la uniformidad global de la iluminación sea como mínimo del 20%.

- **Zona 6 – Pasarelas**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
6	100	48,052	109	32	29,4%	0,481

Tabla 65: Resultados luminotécnicos zona 6 (propuesta práctica).

Los resultados de la zona 6 se pueden observar en la Tabla 65. Empezando por el valor del nivel de iluminación medio, en esta zona no se ha conseguido llegar al valor deseado de 100 lux. En realidad se ha obtenido un nivel de iluminación medio de 48,052 lux, por lo que la relación entre ambos niveles de iluminación medio (0,481) es menor que el mínimo establecido (0,9).

Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, en este caso la uniformidad es del 29,4%. La uniformidad global cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

- **Zona 7 – Líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
7	300	262,149	336	58	17,3%	0,874

Tabla 66: Resultados luminotécnicos zona 7 (propuesta práctica).

Atendiendo a los resultados de la zona 7, el nivel de iluminación medio obtenido (262,149 luxes) es 0,874 veces el deseado (300 luxes), por lo que no se cumple con la condición de que la relación entre niveles de iluminación medios sea de al menos 0,9.

En cuanto a la uniformidad global de la iluminación, en esta zona se ha obtenido una uniformidad del 17,3%, la cual no cumple con el mínimo establecido.

- **Zona 8 – Boxes líneas de esmaltado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
8	200	226,000	334	77	23,1%	1,130

**Tabla 67: Resultados luminotécnicos zona 8 (propuesta práctica).**

Los resultados de la *zona 8* se pueden observar en la Tabla 67. Atendiendo al nivel de iluminación medio obtenido (226 lux), éste es 1,13 veces el deseado (200 lux). Debido a que la relación entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado es mayor de 1,1, el nivel de iluminación medio obtenido no se considera aceptable.

Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación de la zona estudiada, se ha obtenido una uniformidad global del 23,1%. Por lo tanto, la uniformidad global obtenida cumple con la condición establecida anteriormente.

- **Zona 9 – Secadoras**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
9.1	50	89,333	196	34	17,3%	1,787
9.2	50	88,333	197	29	14,7%	1,767

**Tabla 68: Resultados luminotécnicos zona 9 (propuesta práctica).**

Empezando por la *zona 9.1*, los resultados luminotécnicos obtenidos no han sido los deseados. El nivel de iluminación medio obtenido (89,333 lux) es 1,787 veces el nivel deseado (50 lux), debido a que el cociente entre ambos se encuentra por encima de 1,1, el nivel de iluminación medio obtenido en esta zona no es el correcto. Siguiendo con la uniformidad de la iluminación (17,3%), ésta no cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

Siguiendo con la *zona 9.2*, el nivel de iluminación medio obtenido (88,333 lux) es 1,767 veces superior al deseado (50 lux), por lo que no cumple con la condición establecida anteriormente. Atendiendo a la uniformidad global de la zona, ésta es del 14,7%. Esta uniformidad global no se considera aceptable debido a que es menor del 20%.

- **Zonas 10 y 11 – Control de calidad de las líneas de clasificación y embalaje**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
10.1	1000	169,500	221	134	60,6%	0,170
10.2	1000	250,250	321	194	60,4%	0,250
11.1	1000	267,333	320	231	72,2%	0,267
11.2	1000	395,333	421	373	88,6%	0,395
11.3	1000	344,333	404	288	71,3%	0,344
11.4	1000	258,000	258	258	100,0%	0,258

Tabla 69: Resultados luminotécnicos zonas 10 y 11 (propuesta práctica).

Las zonas 10 y 11 son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de clasificación y embalaje y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y a la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixto (iluminación natural y artificial).

- **Zonas 12 y 13 – Líneas de clasificación y embalaje**

ZONA	$E_{m-impuesto}$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
12	300	333,181	506	98	19,4%	1,111
13	300	297,515	462	119	25,8%	0,992

Tabla 70: Resultados luminotécnicos zonas 12 y 13 (propuesta práctica).

En la zona 12, el nivel de iluminación medio obtenido no es el deseable. El cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado (1,111) es mayor de 1,1. Aunque dicho cociente está muy cerca del valor máximo, el nivel de iluminación medio obtenido en la zona no se considera aceptable. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, tampoco se ha conseguido obtener un valor aceptable. En esta zona, la uniformidad global de la iluminación es del 19,4%, menor al mínimo establecido.

Atendiendo a los resultados luminotécnicos de la zona 13, el nivel de iluminación medio obtenido y la uniformidad global de la iluminación son los deseados. El nivel de iluminación medio obtenido (297,515 lux) es 0,992 veces el deseado (300 lux). Como la relación entre ambos niveles de iluminación medio supera el 0,9, el nivel de iluminación medio obtenido es aceptable. En cuanto a la uniformidad global de la iluminación de la zona, ésta es del 25,8%. Esta uniformidad global de la iluminación se considera aceptable ya que es superior al 20%.

### - Zonas 14, 15 y 16 – Boxes

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
14	200	242,500	273	203	74,4%	1,213
15	200	158,688	300	34	11,3%	0,793
16	200	237,470	316	84	26,6%	1,187

Tabla 71: Resultados luminotécnicos zonas 14, 15 y 16 (propuesta práctica).

Atendiendo a las zonas 14, 15 y 16, los niveles de iluminación medio obtenidos no son los deseados y la uniformidad de la zona 15 tampoco es la deseada.

Empezando por la zona 14, el nivel de iluminación medio obtenido (242,5 lux) es mayor que el deseado (200 lux). En esta zona no se obtiene el nivel de iluminación medio deseado, ya que el obtenido es 1,213 veces el impuesto, siendo esta relación mayor de 1,1. Atendiendo a la uniformidad global de iluminación, en esta zona se ha conseguido una uniformidad global del 74,4%, la cual cumple con la condición de que al menos sea del 20%.

Siguiendo con los resultados luminotécnicos de la zona 15, el nivel de iluminación medio obtenido (158,688 lux) es 0,793 veces el deseado (200 lux), por lo que no se cumple la condición de que al menos esta relación tenga un valor de 0,9. Sobre la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad del 11,3%, siendo ésta menor que el porcentaje mínimo fijado (20%).

Finalmente, en la zona 16 ocurre lo contrario que en la zona 15, el nivel de iluminación medio obtenido (237,47 lux) es mayor que el deseado (200 lux). El cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado (1,187) sobrepasa el máximo indicado anteriormente (1,1), por lo que el nivel de iluminación medio obtenido no es el correcto. Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido un factor de uniformidad global del 26,6%, por lo tanto la uniformidad global de la iluminación cumple con la condición de uniformidad mínima indicada anteriormente.

### - Zona 17 – Almacén

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
17	200	256,075	365	26	7,1%	1,280

Tabla 72: Resultados luminotécnicos zona 17 (propuesta práctica).

En la zona 17 se ha sobrepasado el nivel medio de iluminación, siendo el obtenido (256,075 lux) 1,28 veces el deseado (200 lux). Debido a que se ha sobrepasado el valor máximo del cociente entre el nivel de iluminación medio obtenido y el deseado, el nivel de iluminación medio obtenido no es el correcto.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, se ha conseguido una uniformidad global del 7,1%, siendo ésta menor a la uniformidad mínima indicada anteriormente (20%).

**- Zona 18 – Color**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
<b>18</b>	300	215,800	292	150	51,4%	0,719

**Tabla 73: Resultados luminotécnicos zona 18 (propuesta práctica).**

Atendiendo a los resultados luminotécnicos de la *zona 18*, cabe mencionar que el plano en el que es interesante conocer los niveles de iluminación media está a mayor altura que el plano útil, y por lo tanto los resultados luminotécnicos obtenidos no son analizables ya que no se corresponden a los resultados en el plano de interés. Aun así se comentarán los resultados luminotécnicos obtenidos para el plano útil. El nivel de iluminación medio obtenido es de 215,8 lux y la uniformidad global de la iluminación del 51,4%. El nivel de iluminación medio (0,719 veces el deseado) no cumple con la condición mínima (0,9 veces el deseado), pero la uniformidad global de la iluminación obtenida es elevada y sí que cumple con el porcentaje mínimo del 51,4%.

**- Zonas 19 y 20 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
<b>19</b>	200	190,697	390	67	17,2%	0,953
<b>20</b>	200	160,809	287	60	20,9%	0,804

**Tabla 74: Resultados luminotécnicos zonas 19 y 20 (propuesta práctica).**

En las *zonas 19 y 20* se ha conseguido obtener un nivel de iluminación medio 0,953 y 0,804 veces el deseado respectivamente. En la *zona 19* el nivel de iluminación medio obtenido se considera aceptable, pero en el nivel de iluminación medio de la *zona 20* no se considera aceptable.

Los valores de uniformidad global de la iluminación obtenidos son del 17,2 % y del 20,9% para las *zonas 19 y 20* respectivamente. En la *zona 19* no se llega hasta la uniformidad mínima (20%) y en la *zona 20* sí que se cumple dicha condición.

- **Zona 21 – Parque de contenedores de esmalte**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
21	300	312,846	499	175	35,1%	1,043

Tabla 75: Resultados luminotécnicos zona 21 (propuesta práctica).

Observando los resultados para la zona 21 en la Tabla 34, el nivel de iluminación medio obtenido (312,846 lux) es 1,043 veces el deseado (300 lux). La relación entre ambos niveles de iluminación se encuentra entre 0,9 y 1,1, por lo que el nivel de iluminación medio obtenido cumple con dicha condición.

La uniformidad global de la iluminación de la zona es del 35,1%. Debido a que se ha obtenido una uniformidad global de iluminación en la zona mayor del 20%, dicha uniformidad de iluminación es aceptada.

- **Zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 – Zonas de paso**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
22	100	219,800	320	133	41,6%	2,198
23-24-25	100	199,500	285	132	46,3%	1,995
26	100	296,462	324	70	21,6%	2,965
27	100	42,750	48	40	83,3%	0,428
28	100	289,103	324	51	15,7%	2,891
29	100	225,833	304	103	33,9%	2,258
30	100	104,900	184	58	31,5%	1,049
31	100	104,844	239	44	18,4%	1,048
32	100	57,813	72	38	52,8%	0,578
33	100	207,407	303	42	13,9%	2,074
34	100	53,071	72	39	54,2%	0,531
35	100	46,083	58	35	60,3%	0,461
36-38	100	232,706	308	92	29,9%	2,327
37	100	51,769	124	25	20,2%	0,518
38	100	280,870	365	62	17,0%	2,809
39	100	42,426	94	23	24,5%	0,424
40	100	70,524	131	42	32,1%	0,705
41-42	100	219,800	320	133	41,6%	2,198

Tabla 76: Resultados luminotécnicos de las zonas 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 y 42 (propuesta práctica).

Los resultados para las zonas de paso se pueden observar en la Tabla 76. Atendiendo al nivel de iluminación medio obtenido en la propuesta inicial, solamente en la zona 30 y en la zona 31 se ha obtenido un resultado aceptable.

Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación, debido a los bajos niveles de iluminación que necesitan las zonas estudiadas, las diferencias en los niveles de iluminación no provocarán molestias en los operarios y por lo tanto su importancia se

ve menguada. Cabe mencionar que solamente en las *zonas 28, 31, 33 y 38* el porcentaje de uniformidad de la iluminación no cumple con el 20% mínimo establecido.

**- Zonas 43 y 47 – Control de calidad líneas de pulido y rectificado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
43	1000	171,500	176	167	94,9%	0,172
47.1	1000	218,750	304	139	45,7%	0,219
47.2	1000	309,500	325	294	90,5%	0,310
47.3	1000	97,000	117	77	65,8%	0,097

**Tabla 77: Resultado luminotécnico zonas 43 y 47 (propuesta práctica).**

Las *zonas 43 y 47* son zonas donde se realizan los controles de calidad en las líneas de pulido y rectificado y por lo tanto precisan de un nivel de iluminación muy elevado (1000 lux). Debido a la pequeña extensión de dichas zonas y de la elevada necesidad de iluminación, la iluminación natural no es suficiente y por lo tanto sería necesaria la utilización de un sistema de iluminación mixta (natural y artificial).

**- Zonas 44 y 48 – Líneas de pulido y rectificado**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
44	300	244,825	328	62	18,9%	0,816
48	300	240,007	337	76	22,6%	0,800

**Tabla 78: Resultados luminotécnicos zonas 44 y 48 (propuesta práctica).**

En la Tabla 78 se muestran los resultados luminotécnicos obtenidos para las *zonas 44 y 48*.

Empezando por la *zona 44*, casi se han obtenido los resultados luminotécnicos deseados. El nivel de iluminación medio obtenido es de 244,825 lux mientras que el deseado es de 300 lux. En otras palabras, el nivel de iluminación obtenido es 0,816 veces el deseado, siendo esta relación menor al mínimo establecido anteriormente (0,9). Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad del 18,9%. Este porcentaje de uniformidad global no se considera aceptable, ya que es menor que el porcentaje mínimo (20%).

Siguiendo con la *zona 48*, en esta zona vuelve a ocurrir lo mismo que en la *zona 44*, los resultados obtenidos están cercanos a los resultados objetivo. El nivel de iluminación medio obtenido en esta zona es de 240,007 lux, mientras que el nivel deseado es de 300 lux, siendo la relación entre ambos (0,8) menor que el mínimo establecido (0,9). Atendiendo a la uniformidad global de la iluminación en la zona estudiada, ésta es del 22,6%, por lo que se considera un porcentaje de uniformidad global aceptable.

- **Zonas 45 y 46 – Almacén**

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_m$ - impuesto
45	200	206,529	333	26	7,8%	1,033
46	200	183,250	250	114	45,6%	0,916

**Tabla 79: Resultados luminotécnicos zonas 45 y 46 (propuesta práctica).**

Atendiendo a los resultados luminotécnicos obtenidos en la *zona 45*, el nivel de iluminación medio es prácticamente el deseado, mientras que no se ha conseguido llegar a una uniformidad de iluminación aceptable. El nivel de iluminación medio obtenido es de 206,529 lux, mientras que el objetivo es de 200 lux, como el cociente entre ambos (1,033) prácticamente es menor que el máximo permitido (1,1), el nivel de iluminación medio obtenido en esta zona se considera aceptable. La uniformidad global de la iluminación es del 7,8%, la cual no cumple con la condición de que sea de al menos del 20%.

Finalmente, los resultados luminotécnicos de la *zona 46* se pueden observar en la Tabla 79. En esta zona se ha obtenido un nivel de iluminación medio que es 0,916 veces el deseado, el cual cumple con la condición de que dicha relación sea de al menos de 0,9. Siguiendo con la uniformidad global de la iluminación, se ha obtenido una uniformidad global del 45,6%, y como este porcentaje es superior al mínimo establecido, la uniformidad global de la zona es la correcta.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

#### 6.4.6. Resumen de resultados – Propuesta Práctica

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos obtenidos en la propuesta práctica:

ZONA	$E_m$ - impuesto (lux)	$E_m$ (lux)	$E_{max}$ (lux)	$E_{min}$ (lux)	$E_{min}/E_{max}$	$E_m/E_{m-impuesto}$
1	300	308,553	561	58	10,3%	1,029
2	300	292,583	348	239	68,7%	0,975
3.1	300	250,382	340	112	32,9%	0,835
3.2	300	282,278	339	210	61,9%	0,941
4	300	270,000	338	183	54,1%	0,900
5	50	80,784	194	29	14,9%	1,616
6	100	48,052	109	32	29,4%	0,481
7	300	262,149	336	58	17,3%	0,874
8	200	226,000	334	77	23,1%	1,130
9.1	50	89,333	196	34	17,3%	1,787
9.2	50	88,333	197	29	14,7%	1,767
10.1	1000	169,500	221	134	60,6%	0,170
10.2	1000	250,250	321	194	60,4%	0,250
11.1	1000	267,333	320	231	72,2%	0,267
11.2	1000	395,333	421	373	88,6%	0,395
11.3	1000	344,333	404	288	71,3%	0,344
11.4	1000	258,000	258	258	100,0%	0,258
12	300	333,181	506	98	19,4%	1,111
13	300	297,515	462	119	25,8%	0,992
14	200	242,500	273	203	74,4%	1,213
15	200	158,688	300	34	11,3%	0,793
16	200	237,470	316	84	26,6%	1,187
17	200	256,075	365	26	7,1%	1,280
18	300	215,800	292	150	51,4%	0,719
19	200	190,697	390	67	17,2%	0,953
20	200	160,809	287	60	20,9%	0,804
21	300	312,846	499	175	35,1%	1,043
22	100	219,800	320	133	41,6%	2,198
23-24-25	100	199,500	285	132	46,3%	1,995
26	100	296,462	324	70	21,6%	2,965
27	100	42,750	48	40	83,3%	0,428
28	100	289,103	324	51	15,7%	2,891
29	100	225,833	304	103	33,9%	2,258
30	100	104,900	184	58	31,5%	1,049
31	100	104,844	239	44	18,4%	1,048
32	100	57,813	72	38	52,8%	0,578
33	100	207,407	303	42	13,9%	2,074
34	100	53,071	72	39	54,2%	0,531
35	100	46,083	58	35	60,3%	0,461
36-38	100	232,706	308	92	29,9%	2,327
37	100	51,769	124	25	20,2%	0,518
38	100	280,870	365	62	17,0%	2,809
39	100	42,426	94	23	24,5%	0,424
40	100	70,524	131	42	32,1%	0,705
41-42	100	219,800	320	133	41,6%	2,198

<b>43</b>	1000	171,500	176	167	94,9%	0,172
<b>44</b>	300	244,825	328	62	18,9%	0,816
<b>45</b>	200	206,529	333	26	7,8%	1,033
<b>46</b>	200	183,250	250	114	45,6%	0,916
<b>47.1</b>	1000	218,750	304	139	45,7%	0,219
<b>47.2</b>	1000	309,500	325	294	90,5%	0,310
<b>47.3</b>	1000	97,000	117	77	65,8%	0,097
<b>48</b>	300	240,007	337	76	22,6%	0,800

**Tabla 80: Cuadro resumen de resultados (Propuesta Práctica).**

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la distribución de los lucernarios en la propuesta práctica se ha realizado centrándose en facilitar la materialización de dicha propuesta en la planta. Es decir, la atención para desarrollar dicho sistema de iluminación natural se ha enfocado en facilitar su implementación en la planta.

La propuesta inicial y la propuesta de mejora son propuesta teóricas debido a la imposibilidad de implementar dichos sistemas de iluminación natural por su diversidad en dimensiones de lucernarios y en ubicación de éstos. Es por ello, que la reducción del número de dimensiones diferentes de los lucernarios y el mayor ordenamiento de éstos en la propuesta práctica, permite que esta propuesta sea factible para ser implementada en la planta.

## 6.5. Iluminación Artificial

En este punto se realizarán unas aproximaciones a sistemas de iluminación artificial para la planta estudiada. Para ello se utilizará el programa *DIALUX LIGHT*.

La planta estudiada posee un sistema de iluminación artificial compuesto por 728 luminarias. Las luminarias instaladas son el modelo *Philips HPK380 1xHPI-P400W-BU P-MB + GPK380 R D465* (Potencia de 428W). Estas luminarias son luminarias de haluro metálico específicas para naves a gran altura.

La razón por la que se realiza dicho apartado es porque la iluminación natural depende directamente de las horas de luz diurna que haya en cada día y de la meteorología. Es por ello que se deberá tener en cuenta la utilización de luz artificial para la iluminación de la planta estudiada.

Los casos estudiados son:

1. 100% iluminación artificial
2. 40% iluminación artificial + 60% iluminación natural
3. 20% iluminación artificial + 80% iluminación natural

Los resultados obtenidos para cada caso son los siguientes:

CASO	NÚMERO DE LUMINARIAS	$E_m$ (plano útil)
1	728	259 lux
2	288	103 lux
3	143	52 lux

Tabla 81: *Iluminación artificial.*

## 6.6. Eficiencia Energética en Iluminación

Con el fin de constatar el aumento de la eficiencia energética en iluminación según se reduce la utilización sistemas de iluminación artificial y se aumenta en la utilización de sistemas de iluminación natural se realizará una comparación entre los casos de sistemas de iluminación anteriormente mencionados.

Antes de realizar dicha comparación, cabe mencionar que para el cálculo de sistemas de iluminación mixtos se ha calculado el número de luminarias necesarias para iluminar un porcentaje del nivel medio de iluminación necesario para cada caso. Es por ello que para el cálculo del VEEI se utilizará el nivel de iluminación medio deseado.

Los VEEI resultantes son los siguientes:

1. 100% Iluminación Artificial

Potencia Total	Superficie	$E_m$	VEEI
311584 W	48655 m <sup>2</sup>	259 lux	2,47 (W/m <sup>2</sup> )/(100 lux)

**Tabla 82: VEEI 100% iluminación artificial.**

2. 40% Iluminación Artificial + 60% iluminación natural

Potencia Total	Superficie	$E_m$	VEEI
123264 W	48655 m <sup>2</sup>	222,45 lux	1,14 (W/m <sup>2</sup> )/(100 lux)

**Tabla 83: VEEI 40% iluminación natural + 60% iluminación natural.**

3. 20% Iluminación Artificial + 80% iluminación natural

Potencia Total	Superficie	$E_m$	VEEI
61204 W	48655 m <sup>2</sup>	222,45 lux	0,57 (W/m <sup>2</sup> )/(100 lux)

**Tabla 84: VEEI 20% iluminación natural + 80% iluminación natural.**

Como era de esperar, a menor porcentaje de iluminación artificial y a mayor porcentaje de iluminación natural la eficiencia energética en iluminación aumenta (VEEI disminuye). A menor porcentaje de iluminación artificial el valor de VEEI es menor, indicando que para alumbrar 1 m<sup>2</sup> con 100 lux será necesaria menos potencia eléctrica.

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se realizará un análisis económico de la distribución de lucernarios de la “propuesta de mejora” para comprobar la viabilidad de dicha inversión.

El análisis económico consistirá en un presupuesto para la colocación de los lucernarios necesarios para el sistema de iluminación natural y en un balance económico donde se comparará el gasto de diversos sistemas de iluminación.

### 7.1. Presupuesto

El presupuesto para la instalación de los luminarios para el sistema de iluminación natural se ha realizado utilizando los datos presentes en la base de datos del *Instituto Valenciano de la Edificación (IVE)* del 2014 y de catálogos comerciales.

El presupuesto para la instalación de los luminarios para el sistema de iluminación natural de la planta estudiada es el siguiente:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	m2	<b>Realización del Huevo</b>				
	hr	Oficial 1º Vidrio	0,3	15,05	4,515	
	hr	Ayudante Vidrio	0,3	14,14	4,242	
	día	Plataforma elevadora de tijera diésel	0,0125	74,16	0,927	
	hr	Grúa Elevadora	0,3	38,78	11,634	
	%	Costes Directos	0,02	21,318	0,426	
						21,744
01.02	m2	<b>Colocación Carpintería</b>				
	m	Premarco (1,5mm) de aluminio	4	6,05	24,2	
	hr	Oficial 1º Carpintería	0,15	19,83	2,975	
	hr	Ayudante Carpintería	0,15	17	2,550	
	día	Plataforma elevadora de tijera diésel	0,0063	74,16	0,464	
	hr	Grúa Elevadora	0,15	38,78	5,817	
	%	Costes Directos	0,02	36,005	0,720	
						36,725

<b>COD.</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO (€/ud)</b>	<b>SUBTOTAL (€)</b>	<b>TOTAL (€)</b>
01.03	m2	<b>Colocación Paneles</b>				
	m2	Panel	1	32,71	32,71	
	hr	Oficial 1º Carpintería	0,28	19,83	5,552	
	hr	Ayudante Carpintería	0,28	17	4,760	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	0,0111	74,16	0,823	
	hr	Grua Elevadora	0,28	38,78	10,858	
	%	Costes Directos	0,02	54,704	1,094	
						55,798
01.04	m2	<b>Soldado</b>				
	hr	Oficial 1º Carpintería	0,1	19,83	1,983	
	hr	Ayudante Carpintería	0,1	17	1,700	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	0,00417	74,16	0,309	
	%	Costes Directos	0,02	3,992	0,080	
						4,072

**Tabla 85: Cuadro de precios descompuestos.**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Cod.	Ud	Descripción	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	<b>Realización del Huevo</b>						
	m2	Lucernario 1	7	0,8	90		504	
	m2	Lucernario 2	2	1,5	8		24	
	m2	Lucernario 3	2	0,8	130		208	
	m2	Lucernario 4	3	1,8	68		367,2	
	m2	Lucernario 5	3	0,8	170		408	
	m2	Lucernario 6	4	10	2,5		100	
	m2	Lucernario 7	4	1	170		680	
	m2	Lucernario 8	4	5	6		120	
	m2	Lucernario 9	6	15	1,5		135	
								2546,2
01.02	m2	<b>Colocación Carpintería</b>						
	m2	Lucernario 1	7	0,8	90		504	
	m2	Lucernario 2	2	1,5	8		24	
	m2	Lucernario 3	2	0,8	130		208	
	m2	Lucernario 4	3	1,8	68		367,2	
	m2	Lucernario 5	3	0,8	170		408	
	m2	Lucernario 6	4	10	2,5		100	
	m2	Lucernario 7	4	1	170		680	
	m2	Lucernario 8	4	5	6		120	
	m2	Lucernario 9	6	15	1,5		135	
								2546,2
01.03	m2	<b>Colocación Paneles</b>						
	m2	Lucernario 1	7	0,8	90		504	
	m2	Lucernario 2	2	1,5	8		24	
	m2	Lucernario 3	2	0,8	130		208	
	m2	Lucernario 4	3	1,8	68		367,2	
	m2	Lucernario 5	3	0,8	170		408	
	m2	Lucernario 6	4	10	2,5		100	
	m2	Lucernario 7	4	1	170		680	
	m2	Lucernario 8	4	5	6		120	
	m2	Lucernario 9	6	15	1,5		135	
								2546,2

<b>Cod.</b>	<b>Ud</b>	<b>Descripción</b>	<b>N</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>	<b>ALTO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
01.04	m2	<b>Soldado</b>						
	m2	Lucernario 1	7	0,8	90		504	
	m2	Lucernario 2	2	1,5	8		24	
	m2	Lucernario 3	2	0,8	130		208	
	m2	Lucernario 4	3	1,8	68		367,2	
	m2	Lucernario 5	3	0,8	170		408	
	m2	Lucernario 6	4	10	2,5		100	
	m2	Lucernario 7	4	1	170		680	
	m2	Lucernario 8	4	5	6		120	
	m2	Lucernario 9	6	15	1,5		135	
								2546,2

Tabla 86: Cuadro de mediciones.

<b>COD.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
01.01	<b>Realización del Hueco</b>	55365,489	
01.02	<b>Colocación Carpintería</b>	93509,450	
01.03	<b>Colocación Paneles</b>	142073,009	
01.04	<b>Soldado</b>	10368,361	
			301.316,31 €

Tabla 87: Cuadro de precios parciales.

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se utilizará un 15% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial.

Para el cálculo del Presupuesto Total se utilizará un impuesto de IVA del 21%.

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b>	301.316,31 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	364.592,73 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>441.157,21 €</b>

Tabla 88: Presupuesto final.

## 7.2. Balance Económico

En este punto se supone que primero existe un sistema de iluminación artificial y luego se analizarán las mejoras de implementar la iluminación natural.

Con el fin de realizar una comparativa de costes entre utilizar una iluminación completamente artificial, o utilizar un sistema de iluminación mixta (natural y artificial) se calculará la potencia eléctrica total demandada en la planta, el consumo eléctrico, el presupuesto para colocar las luminarias y el presupuesto para mantener el sistema de iluminación natural.

### 7.2.1. Iluminación Artificial

En este apartado se realizará el cálculo de la factura de luz anual para el sistema de iluminación artificial, el presupuesto de mantenimiento y renovación de dicho sistema y se calculará el gasto anual en iluminación de la planta.

#### Factura Eléctrica

Empezando por la potencia demandada en la planta, las potencias de cada máquina del proceso productivo y de las tomas de corriente son las siguientes:

Nombre	Ud	kW/Ud	kW
Cinta Transportadoras	21	9,58	201,18
Prensa	4	144	576
Secadero Monocanal	2	44	88
Secadero Túnel	4	50	200
Granilladora	4	1,4	5,6
Esmaltadora	4	1,4	5,6
Engobe	4	1,4	5,6
Rodillos Impresión	4	3	12
Impresora	4	4	16
Línea de selección, apiladora y empaquetamiento	7	22	154
Paletizador	7	9	63
Rectificadora	4	43,27	173,08
Pulidora	4	56,2	224,8
Molino (4443L)	3	11	33
Molino (1807L)	2	5,5	11
Molino (388l)	4	1,5	6
Vibrotamiz	2	1,2	2,4
Luminarias	728	0,428	311,584
Tomas de corriente	12	3,68	44,16
Tomas de corriente trifásicas	84	10	840
<b>TOTAL</b>			<b>2973,004 kW</b>

**Tabla 89: Potencias planta.**

La potencia total demandada por la planta es de 2973 kW. La tarifa eléctrica contratada en la empresa es la tarifa eléctrica 6.1A. La tarifa 6.1A posee un sistema de discriminación horaria de 6 periodos, los cuales varían según el mes que se considere. Dicha discriminación horaria se muestra en la siguiente tabla:

Desde las...	HORAS																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Enero	P6							P2	P1			P2						P1			P2			
Febrero	P6							P2	P1			P2						P1			P2			
Marzo	P6							P4						P3						P4				
Abril	P6							P5																
Mayo	P6							P5																
1ª Junio	P6							P4	P3						P4									
2ª Junio	P6							P2	P1											P2				
Julio	P6							P2	P1											P2				
Agosto	P6																							
Septiembre	P6							P4	P3						P4									
Octubre	P6							P5																
Noviembre	P6							P4						P3						P4				
Diciembre	P6							P2	P1			P2						P1			P2			
Sábados, Domingos y festivos, entre las 8:00 y las 24:00 horas																								P6

Según Orden ITC 2794/2007 de 27 de septiembre de 2007, Anexo II, Apartado 3.3  
**Tabla 90: Discriminación horaria tarifa 6.1A.**

Los precios del término de potencia para cada periodo son los siguientes:

- P1: 0,107231 €/(kW·día)
- P2: 0,053662 €/(kW·día)
- P3: 0,039271 €/(kW·día)
- P4: 0,039271 €/(kW·día)
- P5: 0,039271 €/(kW·día)
- P6: 0,017918 €/(kW·día)

El valor del término de potencia para cada mes se calculará de la siguiente forma:

$$Término de potencia (\text{€}) = \sum_i P_T(\text{kW}) \cdot P_i\left(\frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}}\right) \cdot N_i(\text{día}) \quad (6)$$

Dónde:

- $P_T$  (kW): Potencia total demandada por la planta
- $P_i$  (€/kW·día): Precio de cada periodo
- $N_i$  (día): Número de días de cada mes que se encuentren en el periodo  $i$ .
- $i$ : Número del periodo

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Tras realizar los pertinentes cálculos, el término de potencia resultante para cada mes se muestra en la siguiente tabla:

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
ENERO	27.337,79 €
FEBRERO	24.692,20 €
MARZO	27.337,79 €
ABRIL	26.455,93 €
MAYO	27.337,79 €
1ª QUINCENA JUNIO	13.227,97 €
2ª QUINCENA JUNIO	13.227,97 €
JULIO	27.337,79 €
AGOSTO	27.337,79 €
SEPTIEMBRE	26.455,93 €
OCTUBRE	27.337,79 €
NOVIEMBRE	26.455,93 €
DICIEMBRE	27.337,79 €
<b>TOTAL</b>	<b>321.880,48 €</b>

**Tabla 91: Término de Potencia.**

Atendiendo a un horario de trabajo que se comprende entre las 9:00 y las 18:00, para cada mes las horas de trabajo diarias desde el Lunes hasta el Viernes (sin contar festivos) dentro de cada periodo son las siguientes:

	Horas P1	Horas P2	Horas P3	Horas P4	Horas P5	Horas P6
Enero	3	6	0	0	0	0
Febrero	3	6	0	0	0	0
Marzo	0	0	2	7	0	0
Abril	0	0	0	0	9	0
Mayo	0	0	0	0	9	0
1ª Quincena Junio	0	0	6	3	0	0
2ª Quincena Junio	7	2	0	0	0	0
Julio	7	2	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	9
Septiembre	0	0	6	3	0	0
Octubre	0	0	0	0	9	0
Noviembre	0	0	2	7	0	0
Diciembre	3	6	0	0	0	0

**Tabla 92: Horas diarias Tarifa 6.1A.**

Los sábados, domingos y los festivos entran dentro del periodo 6 y por lo tanto las horas diarias en dicho periodo son 9 horas.

La energía eléctrica para cada mes y para cada periodo se muestran en la siguiente tabla:

	<b>P1 (kWh)</b>	<b>P2 (kWh)</b>	<b>P3 (kWh)</b>	<b>P4 (kWh)</b>	<b>P5 (kWh)</b>	<b>P6 (kWh)</b>
<b>ENERO</b>	19629,79	39259,58	-	-	-	28042,56
<b>FEBRERO</b>	18695,04	37390,08	-	-	-	22434,05
<b>MARZO</b>	-	-	12463,36	43621,76	-	30846,82
<b>ABRIL</b>	-	-	-	-	53280,86	30846,82
<b>MAYO</b>	-	-	-	-	58889,38	28042,56
<b>1ª QUINCENA JUNIO</b>	-	-	14956,03	7478,02	-	19629,79
<b>2ª QUINCENA JUNIO</b>	21810,88	6231,68	-	-	-	14021,28
<b>JULIO</b>	47983,94	13709,70	-	-	-	25238,30
<b>AGOSTO</b>	-	-	-	-	-	86931,94
<b>SEPTIEMBRE</b>	-	-	41129,09	20564,54	-	22434,05
<b>OCTUBRE</b>	-	-	-	-	64497,89	22434,05
<b>NOVIEMBRE</b>	-	-	12463,36	43621,76	-	28042,56
<b>DICIEMBRE</b>	19629,79	39259,58	-	-	-	28042,56
<b>TOTAL</b>	<b>386987,33</b>					

**Tabla 93: Energía eléctrica para cada mes.**

Los precios de la energía eléctrica según el periodo son los siguientes:

- P1: 0,026674 €/kWh
- P2: 0,019921 €/kWh
- P3: 0,010615 €/kWh
- P4: 0,005283 €/kWh
- P5: 0,003411 €/kWh
- P6: 0,002137 €/kWh

El valor del término de energía eléctrica para cada cada mes se calculará de la siguiente forma:

$$\text{Término de energía eléctrica (€)} = \sum_i E_i(\text{kWh}) \cdot P_i\left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right) \quad (7)$$

Dónde:

$E_i$  (kWh): Energía eléctrica correspondiente a cada periodo.

$P_i$  (€/kWh): Precio de cada periodo

$i$ : Número del periodo

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Tras realizar los pertinentes cálculos, el término de energía eléctrica resultante para cada mes se muestra en la siguiente tabla:

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ENERO	1.365,62 €
FEBRERO	1.291,46 €
MARZO	428,67 €
ABRIL	247,66 €
MAYO	260,80 €
1ª QUINCENA JUNIO	240,21 €
2ª QUINCENA JUNIO	735,89 €
JULIO	1.606,97 €
AGOSTO	185,77 €
SEPTIEMBRE	593,17 €
OCTUBRE	267,94 €
NOVIEMBRE	422,68 €
DICIEMBRE	1.365,62 €
<b>TOTAL</b>	<b>9.012,47 €</b>

**Tabla 94: Término de Energía Eléctrica.**

A continuación se impone un impuesto eléctrico a la suma total del término de potencia y al término de energía eléctrica. Dicho impuesto se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Impuesto Eléctrico} = (TP + TEE) \cdot 1,051127 \cdot 4,864\% \quad (8)$$

Dónde:

TP (€): Término de potencia

TEE (€): Término de energía eléctrica

El importe del impuesto eléctrico para cada mes se muestra en la siguiente tabla:

MES	TP + TEE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
ENERO	28.703,42 €	1.467,51 €
FEBRERO	25.983,66 €	1.328,46 €
MARZO	27.766,47 €	1.419,61 €
ABRIL	26.703,59 €	1.365,27 €
MAYO	27.598,59 €	1.411,03 €
1ª QUINCENA JUNIO	13.468,18 €	688,59 €
2ª QUINCENA JUNIO	13.963,85 €	713,93 €
JULIO	28.944,76 €	1.479,85 €
AGOSTO	27.523,57 €	1.407,19 €
SEPTIEMBRE	27.049,10 €	1.382,93 €
OCTUBRE	27.605,74 €	1.411,39 €
NOVIEMBRE	26.878,61 €	1.374,22 €
DICIEMBRE	28.703,42 €	1.467,51 €
<b>TOTAL</b>	<b>330.892,96 €</b>	<b>16.917,50 €</b>

**Tabla 95: Impuesto sobre electricidad.**

También es necesario tener en cuenta el precio de alquiler del equipo de medida, el cual es de 98 €/mes.

A continuación se calcula el importe del impuesto del IVA:

$$IVA = (TP + TEE + ISE + PAE) \cdot 21\% \quad (9)$$

Dónde:

TP (€): Término de potencia

TEE (€): Término de energía eléctrica

ISE (€): Impuesto sobre electricidad

PAE (€): Precio de alquiler del equipo

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

MES	TP + TEE + ISE + PAE	IVA
ENERO	30.268,93 €	6.356,48 €
FEBRERO	27.410,12 €	5.756,13 €
MARZO	29.284,08 €	6.149,66 €
ABRIL	28.166,86 €	5.915,04 €
MAYO	29.107,62 €	6.112,60 €
1ª QUINCENA JUNIO	14.205,76 €	2.983,21 €
2ª QUINCENA JUNIO	14.726,78 €	3.092,62 €
JULIO	30.522,62 €	6.409,75 €
AGOSTO	29.028,76 €	6.096,04 €
SEPTIEMBRE	28.530,03 €	5.991,31 €
OCTUBRE	29.115,13 €	6.114,18 €
NOVIEMBRE	28.350,83 €	5.953,67 €
DICIEMBRE	30.268,93 €	6.356,48 €
<b>TOTAL</b>	<b>348.986,46 €</b>	<b>73.287,16 €</b>

Tabla 96: IVA

Finalmente, el importe total de la factura será la siguiente suma:

$$\text{Importe Total} = TP + TEE + ISE + PAE + IVA \quad (10)$$

Dónde:

- TP (€): Término de potencia
- TEE (€): Término de energía eléctrica
- ISE (€): Impuesto sobre electricidad
- PAE (€): Precio de alquiler del equipo
- IVA (€): Impuesto del IVA

El importe total de la factura eléctrica mensual se muestra en la siguiente tabla:

MES	TOTAL FACTURA ELÉCTRICA
ENERO	36.625,41 €
FEBRERO	33.166,25 €
MARZO	35.433,73 €
ABRIL	34.081,90 €
MAYO	35.220,22 €
1ª QUINCENA JUNIO	17.188,97 €
2ª QUINCENA JUNIO	17.819,40 €
JULIO	36.932,37 €
AGOSTO	35.124,80 €
SEPTIEMBRE	34.521,34 €
OCTUBRE	35.229,31 €
NOVIEMBRE	34.304,50 €
DICIEMBRE	36.625,41 €
<b>TOTAL</b>	<b>422.273,62 €</b>

*Tabla 97: Importe total factura eléctrica.*

#### Presupuesto de Mantenimiento y Renovación

Antes de empezar con el presupuesto de mantenimiento y renovación de las luminarias, es necesario conocer la vida útil de dichas luminarias. Para luminarias HID, la vida útil se encuentra en torno a 25000 horas. Conociendo que las luminarias se encuentran encendidas 3285 h/año, su vida útil será la siguiente:

$$Vida \text{ Útil} = \frac{25000 \text{ h}}{3285 \text{ h/año}} = 7,61 \text{ años}$$

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Conociendo la vida útil de las luminarias instaladas (7,61 años), se procede a realizar el presupuesto de mantenimiento y renovación de dicho sistema de iluminación artificial:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1,00	332,44	332,440	
	hr	Operario 1ª	0,35	19,23	6,731	
	hr	Peón Electricidad	0,35	17,98	6,293	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	1,46E-02	74,16	1,083	
	%	Costes Directos	0,02	346,55	6,931	

**Tabla 98: Cuadro de precios descompuestos (iluminación 100% artificial).**

Cod.	Ud	Descripción	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>						
	ud	Luminaria	728				728	
								728

**Tabla 99: Cuadro de mediciones (iluminación 100% artificial).**

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	<b>Colocación Luminarias</b>	257.331,373	
			257.331,373

**Tabla 100: Cuadro de precios parciales (iluminación 100% artificial).**

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se utilizará un 15% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial.

Para el cálculo del Presupuesto Total se utilizará un impuesto de IVA del 21%.

Para el cálculo del Presupuesto Total por Año se dividirá el Presupuesto Total por la vida útil de las luminarias.

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b>	257.331,37 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	311.370,96 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>376.758,86 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO</b>	<b>49.506,11 €</b>

Tabla 101: Presupuesto final (iluminación 100% artificial).

#### Gasto Anual en Iluminación

<b>Gasto Electricidad</b>	11.462,64 €
<b>Gasto Renovación Luminarias Anual</b>	49.506,11 €
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>60.968,75 €</b>

Tabla 102: Gasto anual en iluminación (iluminación 100% artificial).

#### 7.2.2. Iluminación Mixta

A continuación se realizará al cálculo del presupuesto de mantenimiento de los lucernarios de la planta, de la factura de luz anual para el sistema de iluminación artificial, y el presupuesto de mantenimiento y renovación de dicho sistema para los dos casos mencionados en el apartado 6.5.

#### Presupuesto de Mantenimiento de los Lucernarios de la Planta

<b>COD.</b>	<b>UD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO (€/ud)</b>	<b>SUBTOTAL (€)</b>	<b>TOTAL (€)</b>
01.01	m <sup>2</sup>	<b>Mant. Lucernarios</b>				
	hr	Operario	0,08	12,000	0,960	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	0,0033	74,160	0,245	
	%	Costes Directos	0,02	1,205	0,024	

Tabla 103: Cuadro de precios descompuestos (mantenimiento lucernarios).

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Cod.	Ud	Descripción	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	m2	<b>Mant. Lucernarios</b>						
	m2	Lucernario 1	7	0,8	90		504	
	m2	Lucernario 2	2	1,5	8		24	
	m2	Lucernario 3	2	0,8	130		208	
	m2	Lucernario 4	3	1,8	68		367,2	
	m2	Lucernario 5	3	0,8	170		408	
	m2	Lucernario 6	4	10	2,5		100	
	m2	Lucernario 7	4	1	170		680	
	m2	Lucernario 8	4	5	6		120	
	m2	Lucernario 9	6	15	1,5		135	
								2546,2

**Tabla 104: Cuadro de mediciones (mantenimiento lucernarios).**

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	<b>Mantenimiento Lucernarios</b>	3128,828	
			3128,828

**Tabla 105: Cuadro de precios parciales (mantenimiento lucernarios).**

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se utilizará un 15% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial.

Para el cálculo del Presupuesto Total se utilizará un impuesto de IVA del 21%.

Para el cálculo del Presupuesto Total por Año se dividirá el Presupuesto Total por 5 años (la limpieza de los lucernarios se realizará cada 5 años).

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b>	3.128,83 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	3.785,88 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>4.580,92 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO</b>	<b>916,18 €</b>

**Tabla 106: Presupuesto final (mantenimiento lucernarios).**

Factura Eléctrica

- 40% Iluminación Artificial y 60% Iluminación Natural

La potencia demandada por la planta es la siguiente:

Nombre	Ud	kW/Ud	kW
Cinta Transportadoras	21	9,58	201,18
Prensa	4	144	576
Secadero Monocanal	2	44	88
Secadero Túnel	4	50	200
Granilladora	4	1,4	5,6
Esmaltadora	4	1,4	5,6
Engobe	4	1,4	5,6
Rodillos Impresión	4	3	12
Impresora	4	4	16
Línea de selección, apiladora y empaquetamiento	7	22	154
Paletizador	7	9	63
Rectificadora	4	43,27	173,08
Pulidora	4	56,2	224,8
Molino (4443L)	3	11	33
Molino (1807L)	2	5,5	11
Molino (388l)	4	1,5	6
Vibrotamiz	2	1,2	2,4
Luminarias	288	0,428	123,264
Tomas de corriente	12	3,68	44,16
Tomas de corriente trifásicas	84	10	840
<b>TOTAL</b>			<b>2784,684 kW</b>

**Tabla 107: Potencia planta (40% iluminación artificial).**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El término de potencia para este caso se presenta en la siguiente tabla:

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
ENERO	25.606,13 €
FEBRERO	23.128,11 €
MARZO	25.606,13 €
ABRIL	24.780,12 €
MAYO	25.606,13 €
1ª QUINCENA JUNIO	12.390,06 €
2ª QUINCENA JUNIO	12.390,06 €
JULIO	25.606,13 €
AGOSTO	25.606,13 €
SEPTIEMBRE	24.780,12 €
OCTUBRE	25.606,13 €
NOVIEMBRE	24.780,12 €
DICIEMBRE	25.606,13 €
<b>TOTAL</b>	<b>301.491,50 €</b>

Tabla 108: Término de potencia (40% iluminación artificial).

El término de energía eléctrica para este caso es el siguiente:

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ENERO	540,25 €
FEBRERO	510,91 €
MARZO	169,58 €
ABRIL	97,98 €
MAYO	103,17 €
1ª QUINCENA JUNIO	95,03 €
2ª QUINCENA JUNIO	291,12 €
JULIO	635,72 €
AGOSTO	26,08 €
SEPTIEMBRE	234,66 €
OCTUBRE	106,00 €
NOVIEMBRE	167,21 €
DICIEMBRE	540,25 €
<b>TOTAL</b>	<b>3.517,96 €</b>

Tabla 109: Término de energía eléctrica (40% iluminación artificial).

El importe del impuesto eléctrico para cada mes se muestra en la siguiente tabla:

MES	TP + TEE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
ENERO	26.146,37 €	1.336,78 €
FEBRERO	23.639,02 €	1.208,59 €
MARZO	25.775,71 €	1.317,83 €
ABRIL	24.878,10 €	1.271,94 €
MAYO	25.709,30 €	1.314,43 €
1ª QUINCENA JUNIO	12.485,09 €	638,32 €
2ª QUINCENA JUNIO	12.681,18 €	648,35 €
JULIO	26.241,85 €	1.341,66 €
AGOSTO	25.632,21 €	1.310,49 €
SEPTIEMBRE	25.014,78 €	1.278,93 €
OCTUBRE	25.712,13 €	1.314,58 €
NOVIEMBRE	24.947,34 €	1.275,48 €
DICIEMBRE	26.146,37 €	1.336,78 €
<b>TOTAL</b>	<b>305.009,46 €</b>	<b>15.594,16 €</b>

**Tabla 110: Impuesto sobre electricidad (40% iluminación artificial).**

El alquiler del equipo de medida tiene un coste de 98 €/mes.

El impuesto del IVA para cada mes se presenta a continuación:

MES	TP + TEE + ISE + PAE	IVA
ENERO	27.581,15 €	5.792,04 €
FEBRERO	24.945,61 €	5.238,58 €
MARZO	27.191,54 €	5.710,22 €
ABRIL	26.248,04 €	5.512,09 €
MAYO	27.121,74 €	5.695,56 €
1ª QUINCENA JUNIO	13.221,41 €	2.776,50 €
2ª QUINCENA JUNIO	13.427,53 €	2.819,78 €
JULIO	27.681,51 €	5.813,12 €
AGOSTO	27.040,70 €	5.678,55 €
SEPTIEMBRE	26.391,71 €	5.542,26 €
OCTUBRE	27.124,71 €	5.696,19 €
NOVIEMBRE	26.320,81 €	5.527,37 €
DICIEMBRE	27.581,15 €	5.792,04 €
<b>TOTAL</b>	<b>321.877,62 €</b>	<b>67.594,30 €</b>

**Tabla 111: IVA (40% iluminación artificial).**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El importe total de la factura eléctrica mensual se muestra en la siguiente tabla:

<b>MES</b>	<b>TOTAL FACTURA ELÉCTRICA</b>
ENERO	33.373,20 €
FEBRERO	30.184,19 €
MARZO	32.901,77 €
ABRIL	31.760,12 €
MAYO	32.817,30 €
1ª QUINCENA JUNIO	15.997,91 €
2ª QUINCENA JUNIO	16.247,31 €
JULIO	33.494,63 €
AGOSTO	32.719,25 €
SEPTIEMBRE	31.933,97 €
OCTUBRE	32.820,89 €
NOVIEMBRE	31.848,19 €
DICIEMBRE	33.373,20 €
<b>TOTAL</b>	<b>389.471,92 €</b>

*Tabla 112: Importe total factura eléctrica (40% iluminación artificial).*

- 20% Iluminación Artificial y 60% Iluminación Natural

La potencia demandada por la planta es la siguiente:

Nombre	Ud	kW/Ud	kW
Cinta Transportadoras	21	9,58	201,18
Prensa	4	144	576
Secadero Monocanal	2	44	88
Secadero Túnel	4	50	200
Granilladora	4	1,4	5,6
Esmaltadora	4	1,4	5,6
Engobe	4	1,4	5,6
Rodillos Impresión	4	3	12
Impresora	4	4	16
Línea de selección, apiladora y empaquetamiento	7	22	154
Paletizador	7	9	63
Rectificadora	4	43,27	173,08
Pulidora	4	56,2	224,8
Molino (4443L)	3	11	33
Molino (1807L)	2	5,5	11
Molino (388l)	4	1,5	6
Vibrotamiz	2	1,2	2,4
Luminarias	143	0,428	61,204
Tomas de corriente	12	3,68	44,16
Tomas de corriente trifásicas	84	10	840
<b>TOTAL</b>			<b>2722,624 kW</b>

**Tabla 113: Potencia planta (20% iluminación artificial).**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El término de potencia para este caso se presenta en la siguiente tabla:

MES	TÉRMINO DE POTENCIA
ENERO	25.035,46 €
FEBRERO	22.612,68 €
MARZO	25.035,46 €
ABRIL	24.227,87 €
MAYO	25.035,46 €
1ª QUINCENA JUNIO	12.113,93 €
2ª QUINCENA JUNIO	12.113,93 €
JULIO	25.035,46 €
AGOSTO	25.035,46 €
SEPTIEMBRE	24.227,87 €
OCTUBRE	25.035,46 €
NOVIEMBRE	24.227,87 €
DICIEMBRE	25.035,46 €
<b>TOTAL</b>	<b>294.772,40 €</b>

Tabla 114: *Término de potencia (20% iluminación artificial).*

El término de energía eléctrica para este caso es el siguiente:

MES	TÉRMINO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ENERO	268,25 €
FEBRERO	253,68 €
MARZO	84,20 €
ABRIL	48,65 €
MAYO	51,23 €
1ª QUINCENA JUNIO	47,18 €
2ª QUINCENA JUNIO	144,55 €
JULIO	315,65 €
AGOSTO	12,95 €
SEPTIEMBRE	116,52 €
OCTUBRE	52,63 €
NOVIEMBRE	83,03 €
DICIEMBRE	268,25 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.746,76 €</b>

Tabla 115: *Término de energía eléctrica (20% iluminación artificial).*

El importe del impuesto eléctrico para cada mes se muestra en la siguiente tabla:

MES	TP + TEE	IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD
ENERO	25.303,71 €	1.293,70 €
FEBRERO	22.866,36 €	1.169,08 €
MARZO	25.119,67 €	1.284,29 €
ABRIL	24.276,52 €	1.241,18 €
MAYO	25.086,69 €	1.282,60 €
1ª QUINCENA JUNIO	12.161,12 €	621,76 €
2ª QUINCENA JUNIO	12.258,48 €	626,74 €
JULIO	25.351,12 €	1.296,12 €
AGOSTO	25.048,41 €	1.280,65 €
SEPTIEMBRE	24.344,38 €	1.244,65 €
OCTUBRE	25.088,10 €	1.282,67 €
NOVIEMBRE	24.310,89 €	1.242,94 €
DICIEMBRE	25.303,71 €	1.293,70 €
<b>TOTAL</b>	<b>296.519,17€</b>	<b>15.160,08 €</b>

**Tabla 116: Impuesto sobre electricidad (20% iluminación artificial).**

El alquiler del equipo de medida tiene un coste de 98 €/mes.

El impuesto del IVA para cada mes se presenta a continuación:

MES	TP + TEE + ISE + PAE	IVA
ENERO	26.695,41 €	5.606,04 €
FEBRERO	24.133,44 €	5.068,02 €
MARZO	26.501,96 €	5.565,41 €
ABRIL	25.615,70 €	5.379,30 €
MAYO	26.467,30 €	5.558,13 €
1ª QUINCENA JUNIO	12.880,88 €	2.704,98 €
2ª QUINCENA JUNIO	12.983,22 €	2.726,48 €
JULIO	26.745,24 €	5.616,50 €
AGOSTO	26.427,06 €	5.549,68 €
SEPTIEMBRE	25.687,03 €	5.394,28 €
OCTUBRE	26.468,77 €	5.558,44 €
NOVIEMBRE	25.651,83 €	5.386,89 €
DICIEMBRE	26.695,41 €	5.606,04 €
<b>TOTAL</b>	<b>312.953,25 €</b>	<b>65.720,18 €</b>

**Tabla 117: IVA (20% iluminación artificial).**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

El importe total de la factura eléctrica mensual se muestra en la siguiente tabla:

MES	TOTAL FACTURA ELÉCTRICA
ENERO	32.301,45 €
FEBRERO	29.201,46 €
MARZO	32.067,37 €
ABRIL	30.994,99 €
MAYO	32.025,43 €
1ª QUINCENA JUNIO	15.585,86 €
2ª QUINCENA JUNIO	15.709,70 €
JULIO	32.361,74 €
AGOSTO	31.976,74 €
SEPTIEMBRE	31.081,31 €
OCTUBRE	32.027,21 €
NOVIEMBRE	31.038,72 €
DICIEMBRE	32.301,45 €
<b>TOTAL</b>	<b>378.673,43 €</b>

**Tabla 118: Importe total factura eléctrica (20% iluminación artificial).**

Presupuesto de Mantenimiento y Renovación

- 40% Iluminación Artificial y 60% Iluminación Natural

Conociendo la vida útil de las luminarias instaladas (7,61 años), se procede a realizar el presupuesto de mantenimiento y renovación de dicho sistema de iluminación artificial:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1,00	332,44	332,440	
	hr	Operario 1ª	0,35	19,23	6,731	
	hr	Peón Electricidad	0,35	17,98	6,293	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	0,01	74,16	1,083	
	%	Costes Directos	0,02	346,55	6,931	

**Tabla 119: Cuadro de precios descompuestos (iluminación 40% artificial).**

<b>Cod.</b>	<b>Ud</b>	<b>Descripción</b>	<b>N</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>	<b>ALTO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>						
	ud	Luminaria	288				288	
								288

**Tabla 120: Cuadro de mediciones (iluminación 40% artificial).**

<b>COD.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
01.01	<b>Colocación Luminarias</b>	101.801,422	
			101.801,422

**Tabla 121: Cuadro de precios parciales (iluminación 40% artificial).**

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se utilizará un 15% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial.

Para el cálculo del Presupuesto Total se utilizará un impuesto de IVA del 21%.

Para el cálculo del Presupuesto Total por Año se dividirá el Presupuesto Total por la vida útil de las luminarias.

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b>	101.801,42 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	123.179,72 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>149.047,46 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO</b>	<b>19.585,74 €</b>

**Tabla 122: Presupuesto final (iluminación 40% artificial).**

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

- 20% Iluminación Artificial y 80% Iluminación Natural

Conociendo la vida útil de las luminarias instaladas (7,61 años), se procede a realizar el presupuesto de mantenimiento y renovación de dicho sistema de iluminación artificial:

COD.	UD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO (€/ud)	SUBTOTAL (€)	TOTAL (€)
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>				
	ud	Luminaria	1,00	332,44	332,44	
	hr	Operario 1ª	0,35	19,23	6,73	
	hr	Peón Electricidad	0,35	17,98	6,29	
	día	Plataforma elevadora de tijera diesel	0,01	74,16	1,08	
	%	Costes Directos	0,02	334,07	6,68	

**Tabla 123: Cuadro de precios descompuestos (iluminación 20% artificial).**

Cod.	Ud	Descripción	N	ANCHO	LARGO	ALTO	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	ud	<b>Colocación Luminarias</b>						
	ud	Luminaria	143				143	
								143

**Tabla 124: Cuadro de mediciones (iluminación 20% artificial).**

COD.	DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL	TOTAL
01.01	<b>Colocación Luminarias</b>	50.511,552	
			50.511,552

**Tabla 125: Cuadro de precios parciales (iluminación 20% artificial).**

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) se utilizará un 15% de Gastos Generales y un 6% de Beneficio Industrial.

Para el cálculo del Presupuesto Total se utilizará un impuesto de IVA del 21%.

Para el cálculo del Presupuesto Total por Año se dividirá el Presupuesto Total por la vida útil de las luminarias.

<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)</b>	50.511,55 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)</b>	61.118,98 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>73.953,96 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL POR AÑO</b>	<b>9.718,00 €</b>

*Tabla 126: Presupuesto final (iluminación 20% artificial).*

### Gasto Anual en Iluminación

<b>Gasto Electricidad</b>	4.474,36 €
<b>Gasto Renovación Luminarias Anual</b>	19.585,74 €
<b>Gasto Mantenimiento Lucernarios Anual</b>	909,63 €
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>24.969,74 €</b>

*Tabla 127: Gasto anual en iluminación (iluminación 40% artificial).*

<b>Gasto Electricidad</b>	2.221,65 €
<b>Gasto Renovación Luminarias Anual</b>	9.718,00 €
<b>Gasto Mantenimiento Lucernarios Anual</b>	909,63 €
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>12.849,28 €</b>

*Tabla 128: Gasto anual en iluminación (iluminación 20% artificial).*

### 7.2.3. Análisis Económico

A continuación se estudiará la viabilidad económica del sistema de iluminación natural. Para ello, primero se debe de conocer el ahorro que supone la utilización de un sistema de iluminación natural, dicho ahorro se muestra en la siguiente tabla:

<b>CASO</b>	<b>GASTO</b>	<b>AHORRO</b>
100% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL	60.968,75 €	
40% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL	24.976,29 €	35.992,47 €
20% ILUMINACIÓN ARTIFICIAL	12.855,83 €	48.112,92 €

*Tabla 129: Ahorro sistema de iluminación.*

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL  
DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

Antes de comenzar con el estudio de la viabilidad económica se debe de conocer los significados del VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno):

**VAN:** “Se define como el valor actual de todos los flujos de caja generados por el proyecto de inversión menos el coste inicial necesario para la realización del mismo.” (Aguilar Díaz, 2005)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{r}{(1+i)^t} - I_0 \quad (11)$$

Dónde:

VAN: Valor Actual Neto

n: Número de periodos

r: Anualidad (cantidad recuperada cada año)

i: Interés

I<sub>0</sub>: Inversión inicial

**TIR:** “Se define como aquel tipo de actualización o descuento que iguala el valor actual de los flujos netos de caja con el desembolso inicial, es decir, es la tasa de actualización o descuento que iguala a cero el valor actual neto.” (Aguilar Díaz, 2005)

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{r}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (12)$$

Dónde:

TIR: Tasa Interna de Retorno

n: Número de periodos

r: Anualidad (cantidad recuperada cada año)

I<sub>0</sub>: Inversión inicial

Para el cálculo del VAN y el TIR se van a hacer las siguientes suposiciones:

1. La anualidad (r) será el ahorro energético de cada caso.
2. El número de periodos (n) corresponderá a la vida útil del sistema de iluminación natural, el cual se asumirá que será de 20 años.

A continuación se presentan los valores de VAN y TIR:

CASO	I <sub>0</sub> (€)	r (€)	VAN 2% (€)	VAN 4% (€)	VAN 6% (€)	TIR
40% Ilum. Artificial	441.157,21	35.992,47	147.371,20	47.992,15	-28.326,46	5,20%
20% Ilum. Artificial	441.157,21	48.112,92	345.558,06	212.713,13	110.694,24	8,94%

**Tabla 130: VAN y TIR.**

Para 20 años de vida útil del sistema de iluminación natural dicho sistema será rentable en los siguientes casos:

- 40% Iluminación Artificial + 60% Iluminación Natural: A partir de intereses menores del 5,20%.
- 20% Iluminación Artificial + 80% Iluminación Natural: A partir de intereses menores del 8,94%.

## 8. CONCLUSIONES

Las conclusiones de dicho trabajo son las siguientes:

- El cálculo de la superficie de aberturas teórica mediante el *método del cálculo analítico* es una aproximación de la superficie real de aberturas necesarias.
- Es necesario iterar mediante estimación por el *método del cálculo analítico y simulación* sobre software específico. DIALUX ofrece una herramienta práctica para proyectos reales.
- Mediante un proceso iterativo se ha mejorado el sistema de iluminación natural teórico, siendo los resultados luminotécnicos obtenidos en la *Propuesta de Mejora* mejores que los resultados luminotécnicos de la *Propuesta Inicial* (tanto en el nivel de iluminación medio como en la uniformidad global de cada zona).
- La *Propuesta Práctica* muestra un sistema de iluminación medio implementable en la planta estudiada.
- No existen deslumbramientos en ninguna de las tres propuestas estudiadas.
- El empleo únicamente de un sistema de iluminación natural para la iluminación de una planta industrial no resulta viable debido a que ésta depende directamente de las horas de luz diarias y de la meteorología. Es por ello que un sistema de iluminación natural debe de estar complementado con un sistema de iluminación artificial.
- En los edificios industriales (edificios grandes y diáfanos) resulta complicada la valoración de la eficiencia debido a que no existen umbrales claros del VEEI para edificios industriales.
- El empleo de iluminación natural reduce considerablemente el valor del VEEI, por lo que la eficiencia energética aumenta.
- La implementación de sistemas de iluminación natural reduce el uso de energía eléctrica, tal y como se observa en el gasto de electricidad entre el uso de un sistema de iluminación completamente artificial y el uso de un sistema de iluminación que combine la iluminación artificial con la natural.
- Mediante un balance económico (VAN y TIR) se han indicado las condiciones económicas a partir de las cuales una inversión para la implementación de un sistema de iluminación que combina iluminación artificial con natural resulta rentable.



## 9 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Díaz, I. (2005). *Finanzas corporativas en la práctica*. Las Rozas: Delta Publicaciones.

Albors, J., & Hervás, J. (2006). La industria cerámica europea en el siglo XXI. Retos tecnológicos y desafíos de la próxima década. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* (45), 13-21.

ASCER. (1997-2014). *Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos*. Retrieved 9 de Septiembre de 2014 from <http://www.ascer.es>

IVACE. (2014). *Productos Cerámicos de la Comunitat Valenciana*. Valencia.

Stock, D. (2013). World Production and Consumption Statistics. *Tile Today*, 60-70.

Viñoles Cebolla, R., Fuentes Bargues, J., & Vivancos Bono, J. (2002). *Cuestiones resueltas de oficina técnica y gestión de proyectos*. Universitat Politècnica de València.

AENOR. *Iluminación de los lugares de trabajo*. UNE-EN 12464-1. Madrid: AENOR, 2012.



# **ANEXO 1 - LUMINARIA**



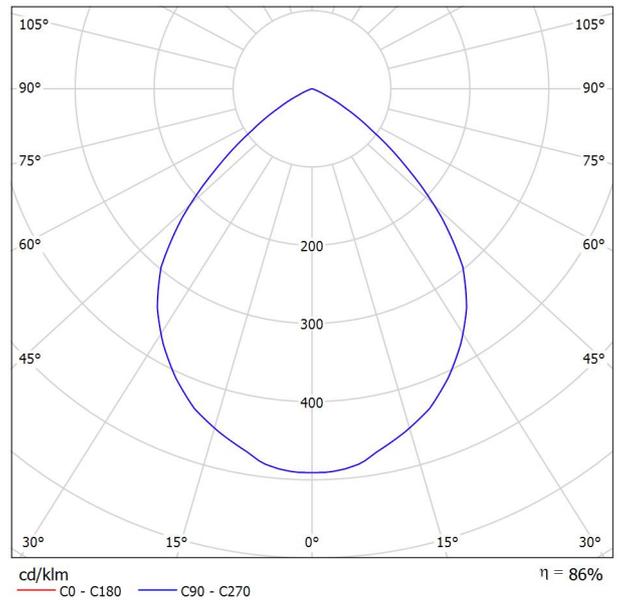
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Philips HPK380 1xHPI-P400W-BU P-MB +GPK380 R D465 / Hoja de datos de luminarias**



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 70 97 100 100 86

Emisión de luz 1:



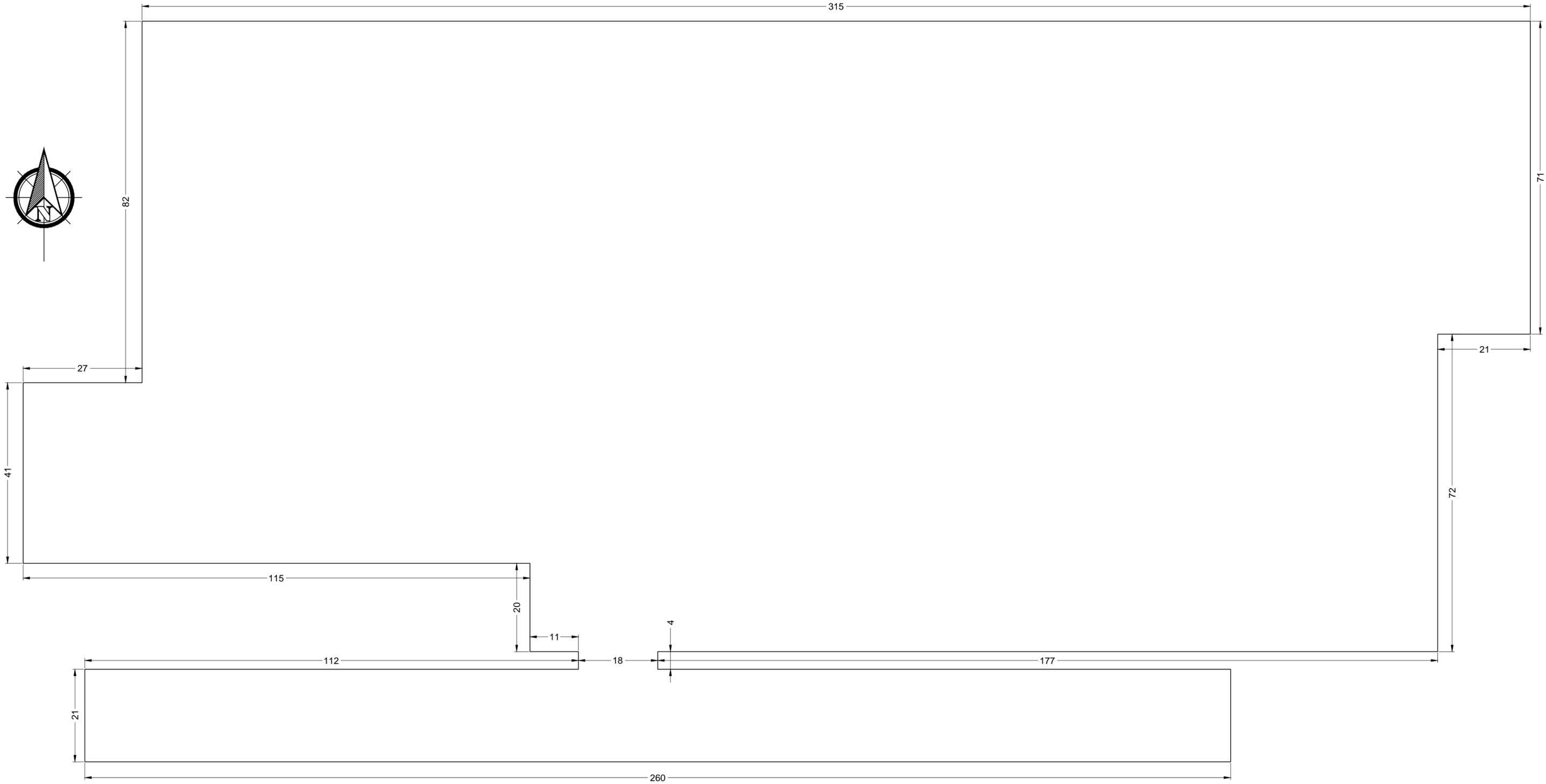
Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
p Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
	X	Y									
2H	2H	24.2	25.2	24.4	25.4	25.6	24.2	25.2	24.4	25.4	25.6
	3H	24.1	25.0	24.4	25.2	25.5	24.1	25.0	24.4	25.2	25.5
	4H	24.0	24.8	24.3	25.1	25.4	24.0	24.8	24.3	25.1	25.4
	6H	23.9	24.7	24.3	25.0	25.3	23.9	24.7	24.3	25.0	25.3
	8H	23.9	24.6	24.2	24.9	25.2	23.9	24.6	24.2	24.9	25.2
12H	23.9	24.5	24.2	24.9	25.2	23.9	24.5	24.2	24.9	25.2	
4H	2H	24.1	25.0	24.4	25.2	25.5	24.1	25.0	24.4	25.2	25.5
	3H	24.0	24.7	24.4	25.0	25.4	24.0	24.7	24.4	25.0	25.4
	4H	24.0	24.6	24.4	24.9	25.3	24.0	24.6	24.4	24.9	25.3
	6H	23.9	24.4	24.3	24.8	25.2	23.9	24.4	24.3	24.8	25.2
	8H	23.9	24.3	24.3	24.7	25.1	23.9	24.3	24.3	24.7	25.1
12H	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1	
8H	4H	23.9	24.3	24.3	24.7	25.1	23.9	24.3	24.3	24.7	25.1
	6H	23.8	24.2	24.3	24.6	25.0	23.8	24.2	24.3	24.6	25.0
	8H	23.8	24.1	24.2	24.5	25.0	23.8	24.1	24.2	24.5	25.0
	12H	23.7	24.0	24.2	24.5	24.9	23.7	24.0	24.2	24.5	24.9
	12H	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1
12H	4H	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1	23.8	24.3	24.3	24.7	25.1
	6H	23.8	24.1	24.2	24.5	25.0	23.8	24.1	24.2	24.5	25.0
	8H	23.7	24.0	24.2	24.5	24.9	23.7	24.0	24.2	24.5	24.9
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+1.2 / -2.2					+1.2 / -2.2					
S = 1.5H	+2.5 / -6.3					+2.5 / -6.3					
S = 2.0H	+4.3 / -11.7					+4.3 / -11.7					
Tabla estándar Sumando de corrección	BK00					BK00					
	5.2					5.2					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 32500lm Flujo luminoso total											



## **ANEXO 2 - PLANOS**





		DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMA
		PROYECTISTA	DICIEMBRE 2014	CARLOS VÁZQUEZ DÍEZ	
ESCALA 1:600	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS				
NÚMERO DE PLANO 1	PLANO: DIMENSIONES DE LA PLANTA				

