



**Apoyo en el estudio y diseño de proyectos de ingeniería eléctrica en el Área de  
Infraestructura Industrial**

Daniel Alejandro Agudelo Grajales

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesores

Nelson de Jesús Londoño Ospina, Doctor (PhD) en Ingeniería Electrónica

Robinson Octavio Narváez Gómez, Especialista en Ingeniería Eléctrica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Agudelo Grajales, D. A. [1]
<b>Referencia</b>	[1] Agudelo Grajales, D. A, “Apoyo en el estudio y diseño de proyectos de ingeniería eléctrica en el Área de Infraestructura Industrial”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
I. INTRODUCCIÓN .....	14
II. OBJETIVOS.....	16
A. Objetivo general.....	16
B. Objetivos específicos.....	16
III. MARCO TEÓRICO .....	17
A. Definiciones.....	17
B. Marco reglamentario y normativo .....	19
C. Iluminancia y deslumbramiento .....	19
D. Uniformidad .....	20
E. Cálculo de conductores y porcentaje de ocupación de ductos .....	21
F. Sección mínima por cortocircuito.....	21
G. Regulación de tensión .....	22
H. Porcentaje de ocupación de ductos .....	22
IV. METODOLOGÍA .....	24
A. Importación de planos 2D y 3D al software DIALux Evo versión 10.....	24
B. Definición de áreas y objetos de cálculo.....	25
C. Definición de tipos de recintos y actividades .....	25
D. Selección de luminarias.....	26
E. Simulación y ubicación de luminarias .....	27
F. Creación de escenas de luz y ajuste de flujo luminoso .....	27
G. Verificación de uniformidad.....	27
H. Selección de conductores y porcentaje de ocupación de ductos .....	28

I.	Informe final con resumen de resultados .....	28
V.	RESULTADOS .....	30
A.	Verificación de iluminación interior en instalación residencial .....	30
A.1.	Requerimientos lumínicos.....	31
A.2.	Resultados numéricos .....	32
A.3.	Resultados gráficos .....	33
A.3.1.	Salón Social.....	34
A.3.2.	Biblioteca .....	36
A.3.3.	Cuarto Técnico de Bombas .....	37
A.3.4.	Gabinetes eléctricos.....	39
A.3.5.	Cuartos útiles.....	40
A.3.6.	Taller.....	42
A.3.7.	Cuarto de herramientas .....	44
A.3.8.	Hall de ingreso .....	46
A.3.9.	Cocina.....	47
A.3.10.	Comedor.....	48
A.3.11.	Zona de descanso Habitación Principal. ....	50
A.3.12.	Vestier Habitación Principal. ....	51
A.3.13.	Baño Habitación Principal. ....	53
B.	Diseño de iluminación interior de instalación industrial de producción de alimentos .....	55
B.1.	Requerimientos lumínicos.....	55
B.2.	Resultados numéricos.....	56
B.3.	Resultados gráficos .....	58
B.3.1.	Bodega .....	60
B.3.2.	Cuarto de empaque .....	61

B.3.3. Fase 1 Área General.....	63
B.3.4. Mezanine Cocinas Nivel 1 .....	65
B.3.5. Mezanine Cocinas Nivel 2 .....	67
B.3.6. Fase 2 Área General.....	70
B.3.7. Mezanine UMAS Nivel 1 .....	71
B.3.8. Mezanine UMAS Nivel 2 .....	73
B.4. Distribución de circuitos y cálculos de regulación de tensión.....	75
B.5. Acometida tablero de iluminación .....	76
B.6. Porcentaje de ocupación de ductos .....	77
B.7. Cantidad de conductores por color .....	78
C. Diseño de iluminación interior de instalación industrial de productos químicos.....	80
C.1. Requerimientos lumínicos .....	83
C.2. Resultados numéricos.....	84
C.3. Resultados gráficos .....	84
C.3.1. Cuarto de etiquetas .....	85
C.3.2. General nivel 1 .....	86
C.3.3. Zona de pesaje y tableros .....	88
C.3.4. Nivel 1.....	89
C.3.5. Nivel 2.....	90
C.3.6. Nivel 3.....	91
C.4. Iluminación de emergencia.....	93
C.4.1. Requerimientos lumínicos.....	93
C.4.2. Resultados gráficos.....	94
VI. ANÁLISIS .....	96
A. Instalación residencial.....	96

A.1. Deslumbramiento.....	96
A.2. Iluminancia media .....	97
A.3. Uniformidad .....	98
B. Instalación industrial de producción de alimentos.....	99
B.1. Deslumbramiento.....	99
B.2. Iluminancia media.....	100
B.3. Uniformidad.....	101
B.4. Regulación de tensión .....	102
B.5. Ocupación de ductos y cantidad de cables .....	103
C. Instalación industrial de productos químicos .....	103
C.1. Deslumbramiento.....	103
C.2. Iluminancia media.....	104
C.3. Uniformidad.....	105
C.4. Iluminación de emergencia.....	105
VII. CONCLUSIONES .....	106
REFERENCIAS .....	107

## LISTA DE TABLAS

TABLA I: REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS EN INSTALACIÓN RESIDENCIAL	32
TABLA II: RESULTADOS NUMÉRICOS EN INSTALACIÓN RESIDENCIAL	33
TABLA III: REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS EN INSTALACIÓN INDUSTRIAL PRODUCTORA DE ALIMENTOS	56
TABLA IV: RESULTADOS NUMÉRICOS EN INSTALACIÓN INDUSTRIAL PRODUCTORA DE ALIMENTOS	57
TABLA V: RESUMEN CIRCUITOS RAMALES TABLERO ILUMINACIÓN FASE 1 Y FASE 2	76
TABLA VI: RESUMEN CIRCUITO DE ACOMETIDA TABLERO ILUMINACIÓN FASE 1 Y FASE 2	77
TABLA VII: CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN POR CALIBRE EN FASES 1 Y 2	77
TABLA VIII: CÁLCULO DE OCUPACIÓN DE DUCTOS EN FASES 1 Y 2	78
TABLA IX: CANTIDAD DE CONDUCTORES POR COLOR DE FASE 1 Y FASE 2	79
TABLA X: REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	84
TABLA XI: RESULTADOS NUMÉRICOS PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	84

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Distribución de iluminancia del Salón Social.	34
Fig. 2. Vista 3D del Salón Social con curvas isolux.	35
Fig. 3. Vista 3D del Salón Social.	35
Fig. 4. Distribución de iluminancia en la Biblioteca.	36
Fig. 5. Vista 3D de la Biblioteca con curvas isolux.	37
Fig. 6. Vista 3D de la Biblioteca.	37
Fig. 7. Distribución de iluminancia en Cuarto Técnico de Bombas.	38
Fig. 8. Vista 3D de Cuarto Técnico de Bombas con curvas isolux.	38
Fig. 9. Vista 3D de Cuarto Técnico de Bombas.	39
Fig. 10. Distribución de iluminancia en Gabinetes eléctricos.	39
Fig. 11. Vista 3D de Gabinetes eléctricos con curvas isolux.	40
Fig. 12. Vista 3D de Gabinetes eléctricos.	40
Fig. 13. Distribución de iluminancia en Cuartos útiles.	41
Fig. 14. Vista 3D de Cuartos útiles con curvas isolux.	41
Fig. 15. Vista 3D de Cuartos útiles.	42
Fig. 16. Distribución de iluminancia en Taller.	43
Fig. 17. Vista 3D de Taller con curvas isolux.	43
Fig. 18. Vista 3D de Taller.	44
Fig. 19. Distribución de iluminancia en Cuarto de herramientas.	44
Fig. 20. Vista 3D de Cuarto de herramientas con curvas isolux.	45
Fig. 21. Vista 3D de Cuarto de herramientas.	45
Fig. 22. Distribución de iluminancia en Hall de ingreso (área de cálculo resaltada en rojo).	46
Fig. 23. Vista 3D de Hall de ingreso con curvas isolux.	46
Fig. 24. Vista 3D de Hall de ingreso.	47
Fig. 25. Distribución de iluminancia en Cocina.	47
Fig. 26. Vista 3D de Cocina con curvas isolux.	48
Fig. 27. Vista 3D de Cocina.	48
Fig. 28. Distribución de iluminancia en Comedor.	49
Fig. 29. Vista 3D de Comedor con curvas isolux.	49

Fig. 30. Vista 3D de Comedor.	50
Fig. 31. Distribución de iluminancia en Zona de descanso habitación principal.	50
Fig. 32. Vista 3D de Zona de descanso habitación principal con curvas isolux.	51
Fig. 33. Vista 3D de Zona de descanso habitación principal.	51
Fig. 34. Distribución de iluminancia en Vestier Habitación Principal (área de cálculo resaltada en rojo).	52
Fig. 35. Vista 3D de Vestier Habitación Principal con curvas isolux.	52
Fig. 36. Vista 3D de Vestier Habitación Principal.	53
Fig. 37. Distribución de iluminancia en Baño Habitación Principal (área de cálculo resaltada en rojo).	53
Fig. 38. Vista 3D de Baño Habitación Principal con curvas isolux.	54
Fig. 39. Vista 3D de Baño Habitación Principal.	54
Fig. 40. Vista general Fase 1.	59
Fig. 41. Distribución de iluminancia en Bodega.	60
Fig. 42. Ubicación luminarias de 38000 lm en Bodega (altura de montaje 10m).	60
Fig. 43. Vista 3D de Bodega.	61
Fig. 44. Distribución de iluminancia en el Cuarto de empaque.	61
Fig. 45. Ubicación luminarias de 38000 lm en el Cuarto de empaque.	62
Fig. 46. Vista 3D del Cuarto de empaque.	62
Fig. 47. Distribución de iluminancia en Fase 1 Área General.	63
Fig. 48. Ubicación luminarias de 38000 y 30400 lm en Fase 1 Área General.	64
Fig. 49. Vista 3D de Fase 1 Área General.	64
Fig. 50. Distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 1.	65
Fig. 51. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine Cocinas Nivel 1.	65
Fig. 52. Vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 1.	66
Fig. 53. Vista 3D de zona contigua a Mezanine Cocinas Nivel 1.	66
Fig. 54. Distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 2.	67
Fig. 55. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine Cocinas Nivel 2.	68
Fig. 56. Vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 2.	68
Fig. 57. Vista general Fase 2.	69
Fig. 58. Distribución de iluminancia en Fase 2 Área General.	70

Fig. 59. Ubicación luminarias en Fase 2 Área General.	70
Fig. 60. Curvas isolux en Fase 2 Área General.	71
Fig. 61. Vista 3D de Fase 2 Área General.	71
Fig. 62. Distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 1.	72
Fig. 63. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine UMAS Nivel 1.	72
Fig. 64. Vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 1.	73
Fig. 65. Distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 2.	73
Fig. 66. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine UMAS Nivel 2.	74
Fig. 67. Vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 2.	74
Fig. 68. Vista 3D de Cuarto de etiquetas.	80
Fig. 69. Vista de las plataformas zona de tanques.	81
Fig. 70. Vista de la tolva desde el Nivel 3 en zona de tanques.	81
Fig. 71. Distribución de iluminancia en cuarto de etiquetas.	85
Fig. 72. Vista 3D con área de cálculo en cuarto de etiquetas.	85
Fig. 73. Vista 3D de cuarto de etiquetas.	86
Fig. 74. Distribución de iluminancia en General nivel 1.	86
Fig. 75. Ubicación luminarias highbay en zona General nivel 1.	87
Fig. 76. Vista 3D de General nivel 1.	87
Fig. 77. Distribución de iluminancia en Zona de pesaje y tableros.	88
Fig. 78. Ubicación Zona de pesaje y tableros.	88
Fig. 79. Vista 3D de Zona de pesaje y tableros.	89
Fig. 80. Distribución de iluminancia en Nivel 1.	89
Fig. 81. Vista 3D de Nivel 1.	90
Fig. 82. Distribución de iluminancia en Nivel 2.	90
Fig. 83. Vista 3D del Nivel 2.	91
Fig. 84. Ubicación luminarias Nivel 2.	91
Fig. 85. Distribución de iluminancia en Nivel 3.	92
Fig. 86. Vista 3D del Nivel 3.	92
Fig. 87. Ubicación luminarias Nivel 3.	93
Fig. 88. Colores falsos en escaleras zona de tanques.	94
Fig. 89. Colores falsos en salida principal zona de tanques.	95

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>RETIE</b>	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
<b>RETILAP</b>	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IEB</b>	Ingeniería Especializada S.A.
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Unidades
<b>cd</b>	Candela
<b>lm</b>	Lúmen
<b>lx</b>	Lux
<b>E</b>	Iluminancia
<b><math>E_{prom}/E_m</math></b>	Iluminancia media
<b><math>E_{mín}</math></b>	Iluminancia mínima
<b><math>E_{máx}</math></b>	Iluminancia máxima
<b>UGR</b>	Unified Glare Rating
<b>K</b>	Kelvin
<b>IRC</b>	Índice de Reproducción Cromática
<b>NPA</b>	Nivel del Piso Acabado
<b>A</b>	Amperio
<b>W</b>	Vatio
<b>VA</b>	Voltioamperio
<b>LDT</b>	Archivo Eulumdat
<b>THHN</b>	Thermoplastic High Heat-resistant Nylon-coated
<b>THWN</b>	Thermoplastic Heat and Water Resistant

---

## RESUMEN

En este informe de práctica académica se presentan el marco teórico, la metodología y los resultados obtenidos de los diseños de iluminación interior realizados durante el semestre de industria en la empresa Ingeniería Especializada S.A. Los proyectos correspondieron a instalaciones industriales de producción de alimentos y elementos químicos, así como instalación residencial.

Se exponen las limitaciones y situaciones encontradas en el proceso de diseño y verificación de iluminación, los pasos realizados para la modelación de los espacios, el uso de los reglamentos y normas tanto nacionales como internacionales, las soluciones usadas para solventar estas problemáticas y así poder realizar las simulaciones necesarias.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de los diseños de iluminación, los cuales constan de tablas que contienen niveles requeridos de iluminancia media, uniformidad y deslumbramiento en cada área, según el tipo de recinto y actividad definidas en el marco de lo estipulado por el RETILAP [1] o la norma europea UNE-EN 12464-1 [2].

***Palabras clave* — Diseño de iluminación interior, iluminancia, DIALux Evo, deslumbramiento, instalación industrial.**

## ABSTRACT

In this academic practice report is presented the theoretical framework, methodology and results obtained from the interior illumination designs made during the industry semester in the Company Ingeniería Especializada S.A. The projects that were carried out corresponded to industrial facilities of food production and chemical elements, and a residential installation as well.

The limitations and situations found in the design and verification of illumination process are exposed, as the steps taken for the modeling of spaces, the use of national technical-legal documents and international norms, and the solutions used to solve the issues encountered to make the simulations that were needed.

Finally, the results obtained in the development of the illumination designs are presented, which are made of tables that contain the required levels of average illuminance, uniformity and glare in each area, according to the type of space and activity defined in the framework stipulated in the RETILAP [1] or the European norm UNE-EN 12464-1 [2].

***Keywords* — Interior illumination design, illuminance, DIALux Evo, glare, industrial facility.**

---

## I. INTRODUCCIÓN

La empresa IEB S.A. realiza estudios y diseño de proyectos de ingeniería eléctrica a sus diferentes clientes. Estas actividades se realizan buscando tener un cumplimiento alto de la normatividad colombiana vigente, así como (donde apliquen) normativas internacionales, con las cuales verificar la seguridad y confiabilidad de los diseños entregados por la empresa.

Los diseños de ingeniería se realizan con una mentalidad interdisciplinaria, donde distintas ramas de la ingeniería y la obra civil son tomadas en cuenta en el desarrollo de los diferentes proyectos para, de esta manera, producir diseños coherentes en concordancia con todos los demás aspectos que influyen en la realización de cualquier obra de ingeniería a nivel industrial. Para ello, se crean grupos de trabajo que estudian cada proyecto, su viabilidad, cumplimiento con la normativa, y, con base en estos aspectos, se les entrega a los clientes una propuesta para poder tomar una decisión informada y correcta a la luz de la legislación colombiana.

Los diseños de iluminación interior son muy importantes en el sector industrial, ya que del buen desempeño de los trabajadores y empleados depende el buen desarrollo de las actividades y procesos que en estos establecimientos se llevan a cabo. Con base en esto, se deben hacer estudios minuciosos de la disposición de luminarias, su inclinación y resultados luminométricos para garantizar una adecuada iluminación de cada zona de trabajo y áreas circundantes a estas.

Para garantizar que los resultados de las simulaciones sean lo más cercanos posibles a los resultados medidos eventualmente en campo cuando las luminarias estén instaladas, es necesario realizar una correcta modelación de los edificios y espacios interiores que se quieren analizar, teniendo en cuenta elementos como: estructuras, máquinas, tanques, ventanas, tragaluces, plataformas o mezanines, entre otros. Con esto, se logra identificar aquellas zonas donde se generan sombras o lugares oscuros, y así poder ajustar la distribución de luminarias o añadir otras adicionales para mejorar la iluminancia media en estas zonas.

En el sector residencial y a raíz de la actual pandemia, también se vuelven importantes los estudios de iluminación, siendo que en los hogares se hacen trabajos de oficina, estudios superiores

o básicos, y otras actividades que antes solo se realizaban en el lugar de trabajo o en los establecimientos educativos. Además, es necesario considerar también los espacios de descanso, de lectura y los salones sociales para garantizar un ambiente confortable de acuerdo con la actividad a realizar en cada uno de estos.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Estudiar y prestar apoyo en los diferentes proyectos de diseños de iluminación, media tensión, fuentes renovables, entre otros.

### *B. Objetivos específicos*

- Realizar el proceso de diseño siguiendo los pasos del numeral 10.1.1 del RETIE [3] para diseño detallado de instalaciones industriales.
- Diseñar y modelar sistemas de iluminación interiores utilizando el software DIALux Evo versión 10, garantizando que cumplan con el RETILAP [1] y las normas internacionales avaladas por dicho reglamento, como la UNE-EN 12464-1 [2].
- Realizar entregables relevantes para el diseño de instalaciones en Media Tensión que cumplan con el RETIE [3], haciendo memorias de cálculo y utilizando aplicaciones creadas en Excel para cálculo de acometidas, bandejas y ducterías.
- Realizar estudios para el diseño de sistemas fotovoltaicos en el marco del RETIE [3] y la NTC 2050 [4].
- Aprender a utilizar los software Archelios Pro y SketchUp para cálculos de distribución de paneles fotovoltaicos, de energía, inversores y cableado.

### III. MARCO TEÓRICO

Para el proceso de diseño de iluminación interior en edificaciones residenciales e industriales se definen los siguientes conceptos relevantes obtenidos del RETILAP [1] y la norma UNE-EN 12464-1 [2]. Las diferentes actividades de apoyo serán orientadas hacia el cumplimiento del RETIE [3], del RETILAP [1] y todas las normas internacionales complementarias, con el objetivo de garantizar diseños óptimos, de calidad, seguros y al menor costo posible para el cliente.

#### A. Definiciones

- **Ángulo de apantallamiento:** Ángulo entre el plano horizontal y la primera línea de visión en la que son directamente visibles las partes luminosas de las lámparas en la luminaria, definición tomada de la norma europea.
- **Ángulo de apertura:** Ángulo vertical medido desde el nadir, entre el eje vertical y la primera línea de visión para la cual la fuente de luz desnuda no es visible (esta definición se encuentra en el RETILAP [1] como “ángulo de apantallamiento”, pero contrastándola con la definición en la norma UNE-EN 12464-1 [2] de este parámetro se encuentra que en realidad la definición en el RETILAP [1] se refiere al ángulo de apertura).
- **Campo visual:** Es el lugar geométrico de todos los objetos o puntos que se pueden visualizar cuando el observador mantiene su cabeza y ojos en el mismo lugar, sin moverlos. Puede ser monocular o binocular.
- **Candela:** Es la unidad fundamental en el SI de la intensidad luminosa. Esta se define como un lúmen por estereorradián.
- **Candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>):** Unidad de luminancia.
- **Curva Isolux:** Es la línea que une todos aquellos puntos que comparten el mismo nivel de iluminancia en el plano horizontal, a una altura de 1 m o 10 m sobre el NPA, y con un flujo luminoso incidente de 1000 lm.
- **Densidad de flujo luminoso:** Es el cociente del flujo luminoso entre el área que está siendo iluminada uniformemente.
- **Deslumbramiento:** Es una sensación que se produce debido a que la iluminancia que entra al campo visual es mayor que la iluminancia circundante al observador, lo que produce molestia

en los ojos y, en casos muy severos, puede incluso causar ceguera temporal mientras se realiza la aclimatación al nuevo nivel de iluminancia percibido.

Nota: La sensación de deslumbramiento se ve afectada por factores tales como el tamaño, posición e iluminancia de la fuente, así como el número y la iluminancia a la que están acostumbrados los ojos del observador.

- **Diagrama polar:** Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en los diferentes planos definidos. Normalmente los planos que se utilizan son los  $C = 0^\circ-180^\circ$ ,  $C = 90^\circ-270^\circ$  y el plano de intensidad máxima.
- **Eficacia luminosa de una fuente:** Es la relación que existe entre el flujo luminoso total que emite una fuente luminosa y la potencia de la misma. Sus unidades son el lúmen por Vatio ( $\text{lm/W}$ ).
- **Eficiencia de una luminaria:** Es la relación entre el flujo luminoso que emite una luminaria y el flujo emitido por las bombillas que se encuentran en el interior de esta.
- **Factor de uniformidad de iluminancia:** Es una medida de la variación de la iluminancia en un plano dado. Se da normalmente según alguno de los siguientes factores:
  - Relación entre la iluminancia mínima y la máxima.
  - Relación entre la iluminancia mínima y la promedio, esta es la definición que exige el RETILAP [1].
- **Flujo luminoso:** Es la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo en todas las direcciones por unidad de tiempo, su unidad es el lm.
- **Fotometría:** Es la medición de cantidades asociadas a la luz.
- **Fuente luminosa:** Es todo dispositivo que emite energía radiante con la cual puede excitar la retina y producir una sensación visual.
- **Iluminancia (E):** Se define como la densidad de flujo luminoso incidente sobre una superficie, su unidad es el lx.
- **Iluminancia promedio horizontal mantenida ( $E_{\text{prom}}$ ):** Es el valor por debajo del cual no debe caer la iluminancia promedio en un área específica. También es la iluminancia promedio que debe haber cuando se realice mantenimiento.
- **Índice de deslumbramiento unificado (UGR):** Es el índice mediante el cual se mide el deslumbramiento molesto procedente de las luminarias de una instalación interior definido por la IEC en su publicación N°. 117.

- **Índice de reproducción cromática (IRC):** Se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente luminosa con respecto al que presentan bajo una fuente luminosa de referencia.
- **Lúmen (lm):** Es la unidad de medida del flujo luminoso en el SI. Se define fotométricamente como el flujo luminoso emitido dentro de un estereorradián por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.
- **Luminaria:** Es el aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas, y que además incluye todas las partes necesarias para el soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas como tal, y, donde se requiera, los circuitos auxiliares con los medios para su conexión a la fuente de alimentación.
- **Lux (lx):** Unidad de medida de iluminancia en el SI, y es igual a un lúmen por metro cuadrado ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ).
- **Temperatura de color (de una fuente luminosa):** Es la temperatura absoluta de un cuerpo negro radiador que tiene una cromaticidad igual a la de la fuente de luz, se mide en K.

### *B. Marco reglamentario y normativo*

En Colombia rige el RETILAP [1] como documento técnico legal que ampara todas las instalaciones de iluminación y alumbrado público en el país. Este Reglamento contiene las definiciones dadas en el presente informe, y otras que son relevantes para el diseño y ejecución de cualquier proyecto de iluminación interior y exterior. Las principales variables a tener en cuenta a la hora de determinar el cumplimiento del Reglamento son el deslumbramiento medido en UGR y la iluminancia media promedio ( $E_{\text{prom}}$ ). El RETILAP [1] está basado en la norma europea UNE-EN 12464-1 [2]. La primera da en su capítulo 5 los valores máximos de UGR y  $E_{\text{prom}}$  permitidos (no da valores máximos ni mínimos para iluminancia, solo el valor que debe tener la  $E_{\text{prom}}$  en la zona) en distintos tipos de áreas y actividades, ya sea residenciales o industriales y comerciales.

### *C. Iluminancia y deslumbramiento*

El RETILAP [1] toma los valores de iluminancia y deslumbramiento que se encuentran en el capítulo 5 de la norma europea UNE-EN 12464-1 [2], y los recopila en su Tabla 410.1, con la

diferencia de que en el Reglamento colombiano hay valores mínimos y máximos para la iluminancia, lo cual no se encuentra en la norma europea, y es por esto que en este se enfatiza que el objetivo de diseño es siempre la iluminancia media dada en dicha tabla.

Los valores máximos y mínimos encontrados en el RETILAP [1] se encuentran en la misma norma UNE-EN 12464-1 [2] en el capítulo 4, donde se permite aumentar o disminuir el requerimiento de iluminancia promedio en una zona dada si se dan ciertas condiciones, como por ejemplo: que la actividad a realizar tiene detalles grandes o tienen un gran contraste, o si la tarea es realizada durante un tiempo relativamente corto; en los casos anteriores es permitido disminuir la iluminancia requerida; así también como situaciones donde la actividad tiene un nivel de detalle elevado, se realiza por un período largo de tiempo, se quiere evitar el máximo número de errores, entre otras condiciones, según las cuales se puede aumentar la iluminancia requerida en la zona específica hasta en un paso de 1.5 de la iluminancia media requerida.

Según los criterios anteriores, en la norma europea se define una escala de iluminancias (dada en lx), que empieza desde 20 lx, ya que este es el valor bajo el cual se pueden empezar a apreciar las características faciales de una persona. El criterio usado en el RETILAP [1] es que la iluminancia anterior al valor de la  $E_{prom}$  requerida se toma como el mínimo, y el valor por encima se asume como máximo, con la excepción que no se usa el 75 lx, sino 50 lx. A continuación, se presenta la escala de iluminancias de la norma europea.

20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 – 5000

#### *D. Uniformidad*

La uniformidad es definida en el Reglamento colombiano y la norma europea con 2 parámetros. El primero es la iluminancia de las áreas circundantes respecto de la requerida en el área de tarea; el segundo es la relación entre la iluminancia mínima en un área determinada y la iluminancia promedio medida allí mismo. En la Tabla 410.4 del RETILAP [1] se definen los valores de iluminancia en áreas circundantes y de tarea, así como la uniformidad en dichas áreas, medida como la relación  $E_{mín}/E_{prom}$ .

### E. Cálculo de conductores y porcentaje de ocupación de ductos

Dependiendo de si los circuitos son monofásicos o trifásicos, se calcula la corriente nominal de cada circuito según las siguientes ecuaciones, teniendo como parámetros de entrada la tensión del circuito, la potencia demandada, el factor de potencia, y el tipo de circuito.

$$I = P_{3\phi} * V_{ll} * fp \quad [A] \quad (1) \text{ Para circuitos trifásicos}$$

$$I = P_{1\phi} * V_f * fp \quad [A] \quad (2) \text{ Para circuitos monofásicos}$$

Donde:

- $P$ : Potencia demandada por la carga.
- $V_{ll}$ : Voltaje línea-línea.
- $V_f$ : Voltaje línea-neutro.
- $fp$ : Factor de potencia.

Luego de tener la corriente nominal, se debe aplicar un factor de seguridad del 25% por encima para proteger los conductores, con esta nueva corriente se realiza la selección del conductor. Dicha selección se realiza usando las Tablas 316 o 317 de la NTC 2050 [4] de acuerdo a si los conductores van en bandeja descubierta o en tubo conduit.

### F. Sección mínima por cortocircuito

Se realiza la verificación de la sección mínima a utilizar con la siguiente fórmula. Este parámetro depende del nivel de cortocircuito del punto de conexión de los conductores, este valor es normalmente un dato de entrada, o debe estar justificado por un estudio o simulación de cortocircuito.

$$A_m = \frac{I_{cc}}{K * \sqrt{\log\left(\frac{T_m + \lambda}{T_a + \lambda}\right)} / T_c} \quad [mm^2] \quad (3)$$

Donde:

$A_m$ : Sección mínima a utilizar.

$I_{cc}$ : Corriente máxima de cortocircuito en A.

$K, \lambda$ : Factores que dependen del material del conductor (cobre o aluminio).

$T_m$ : Temperatura máxima de cortocircuito para el aislamiento, depende de si el aislamiento es termoestable, termoplástico o PVC.

$T_a$ : Temperatura de operación a carga nominal.

$T_c$ : Tiempo de duración de la falla en segundos.

### G. Regulación de tensión

La regulación de tensión no debe ser mayor a 3% desde la carga hasta el tablero de distribución según la NTC 2050 [4] y 5% desde la alimentación hasta la carga más lejana. Con las siguientes ecuaciones se calcula la regulación de tensión dependiendo del tipo de circuito.

$$Z_c = R * \cos(\theta) + X * \sen(\theta) \text{ } [\Omega/m] \text{ } (4)$$

$$\% \Delta V = \frac{3 * S * L * Z_c}{10 * kV_2} \quad (5) \text{ Para circuitos trifásicos}$$

$$\% \Delta V = \frac{2 * S * L * Z_c}{10 * kV_2} \quad (6) \text{ Para circuitos monofásicos}$$

Donde:

$Z_c$ : Impedancia del conductor en  $\Omega$ .

$\cos(\theta)$ : Factor de potencia [0.9] para circuitos de fuerza y [0.98] para circuitos de iluminación.

$L$ : Longitud del circuito en m.

$S$ : Potencia del circuito kVA.

$kV$ : Tensión del circuito kV.

### H. Porcentaje de ocupación de ductos

Se utiliza el diámetro externo de los cables según su tipo de chaqueta aislante. Para esto se usa como apoyo las tablas del apéndice C de la NTC 2050 [4], las cuáles se basan en la Tabla 1 del capítulo 9 de la citada norma.

---

## IV. METODOLOGÍA

Para el diseño y verificación de iluminación interior, ya sea en instalación residencial o industrial se siguieron los siguientes pasos.

### A. *Importación de planos 2D y 3D al software DIALux Evo versión 10*

El primer paso que se realizó para las simulaciones en DIALux Evo fue hacer la importación de planos 2D o 3D desde AutoCAD o REVIT para poder con esa base construir el edificio en el software. Los planos 2D se usaron para generar los límites internos y externos del edificio, y de esa manera construirlo lo más fielmente posible al diseño entregado.

Cuando lo que se tenía eran los planos 3D, se realizó un paso adicional para su correcta importación a DIALux Evo, debido a que este tipo de planos (desde AutoCAD) al ser importados aparecían como una estructura de alambres traslúcida, sin relleno. Así se podían usar, pero solo para crear el edificio, y para posicionar las luminarias en los casos donde en los planos ya se habían contemplado luminarias. Sin embargo, esta no era la solución óptima, debido a que era necesario construir cada sala del edificio, y cada apertura (como ventanas y puertas) a mano.

La solución que se implementó fue utilizar un software libre llamado pCON Planner, con el cual se exportaba el archivo 3D como archivo tipo 3DS o 3D Studio, y se importaba en DIALux Evo como un archivo de muebles, y no como plano (el software Sketchup también se podría usar para este propósito, pero debido al tamaño del archivo 3D se requería la versión Pro). De esta manera se logró tener en el software de simulación planos 3D que ya tenían todos los detalles de equipos, tanques, estructuras, salas, y aperturas diseñadas, y de esa manera se podía crear el edificio alrededor del plano 3D, y agregar los techos en cada cuarto de la instalación.

Para contrarrestar el problema de que DIALux Evo no podía importar archivos de REVIT muy grandes, en el proyecto residencial se partió la casa en diferentes espacios para, de esta manera, reducir el tamaño de los archivos y que el software los pudiera importar. Se definieron espacios como cuartos útiles y zonas de ropas y cuartos técnicos, habitaciones, cocina y comedor, así como

biblioteca y salón social, entre otros, y en cada uno se importó un archivo 3D en AutoCAD para poder tener la ubicación exacta de las luminarias seleccionadas por la empresa que diseñó la iluminación, ya que para este proyecto se requería verificación de cumplimiento con el RETILAP [1] y normas internacionales donde aplicaran.

### *B. Definición de áreas y objetos de cálculo*

Una vez modelado el edificio en DIALux Evo, se procedió a crear las áreas y objetos de cálculo. Era necesario crear las áreas donde se quisiera usar la propiedad que ofrece el software para asignar automáticamente luminarias a un área específica. Los objetos de cálculo se diferenciaban de las áreas en que, en estos se podían medir distintas variables, entre ellas la iluminancia perpendicular y el deslumbramiento (en las áreas de cálculo sólo era posible medir la iluminancia perpendicular), además de que se pueden rotar para colocarlos en superficies oblicuas, como escaleras. Tanto en los casos que se usó la norma europea, como el Reglamento colombiano, la altura de medición fue de 1 metro sobre el NPA, a menos que se estipulara otro criterio, como una sala de oficinas, donde la altura según el RETILAP [1] debe ser entre 0.75 y 0.8 m.

También se tuvo en cuenta evitar que los objetos de cálculo contuvieran dentro de sí objetos o estructuras. Para ello se separaban un espacio prudente de las paredes y se recortaban los contornos de aquellos objetos que quedaran dentro de la zona de cálculo, esto también se hacía para así evitar que el software calculara dentro de dichos objetos iluminancias que iban a dar valores muy bajos, por lo que la uniformidad sería muy baja y no cumpliría los valores mínimos vistos en la Tabla 410.4 del RETILAP [1].

### *C. Definición de tipos de recintos y actividades*

Para poder hacer la selección preliminar de las luminarias y verificar los resultados se debía definir el tipo de recintos que se asignarán a cada área y el tipo de actividad para poder contrastarlos con los que aparecen en el RETILAP [1] (o la norma europea) y así saber los valores mínimos y máximos de iluminancia y deslumbramiento que se debían cumplir en cada zona. El RETILAP [1] para áreas generales de las edificaciones solo tenía algunos valores para zonas de circulación y

bodegas, por lo que en el caso de instalación residencial se usó la norma europea UNE-EN 12464-1 [2], ya que tenía un número más variado de tipos de zonas y actividades que concordaban mucho mejor para los espacios de esas instalaciones. Cuando se usó esta norma, se aplicó la técnica explicada en el marco teórico, usando la escala de iluminancias para determinar un rango en el que se pudiera definir si la iluminancia simulada estaba o no en dicho rango. Se hizo una tabla que recopila para cada espacio el nivel máximo de deslumbramiento y los niveles máximos, medios y mínimos para la iluminancia, la cual se presenta en la Tabla 1 siguiente.

También otra situación especial que se encontró fue la de los comedores. En la norma europea existen zonas y áreas clasificadas como restaurantes y sitios públicos, la cual se usó para la cocina de la casa en la que se hizo verificación de iluminación, pero para los comedores la misma norma no tenía valores requeridos para estos espacios, ya que la iluminancia y el deslumbramiento son usados para generar el ambiente requerido, es decir, que puede ser definido por el cliente o el diseñador. Para este espacio lo que se hizo fue definir el nivel de iluminancia como el de un restaurante autoservicio, ya que era la zona y actividad más cercana que se encontró con respecto a un comedor.

#### *D. Selección de luminarias*

Luego de tener modelado el edificio en 3D y definidas las áreas y objetos de cálculo, se comenzó la búsqueda de las luminarias a utilizar preliminarmente para realizar las simulaciones. Las luminarias que ofrecieran el mayor flujo luminoso posible eran seleccionadas, para así minimizar el número necesario de estas para cumplir con los niveles hallados en el RETILAP [1] y en la norma europea. En la elección de las luminarias también se tuvo en cuenta si se necesitaban para áreas clasificadas, o si eran para zonas de bodegas, de circulación o para áreas industriales al interior de las fábricas.

Otro parámetro que se volvió importante revisar en las fichas técnicas fue el ángulo de apertura de las luminarias, el cual determina que tan angosta o ancha es la distribución lumínica de la fuente de luz. Esto se necesitó revisar en lugares donde por la altura a la que se requería colocar las luminarias, y por el uso de plataformas como mezanines, generaban un deslumbramiento alto,

y el ángulo de apertura de hasta  $30^\circ$  permitía reducir este factor en la simulación, lo cual se traduce en que se aumentaba el ángulo de apantallamiento de las luminarias, y de esa forma se limitaba su influencia en las áreas que estaban por fuera de su zona inmediata.

#### *E. Simulación y ubicación de luminarias*

Una vez se seleccionaron las luminarias se importaba al DIALux Evo el archivo fotométrico LDT de las respectivas luminarias y se colocaban en el punto donde debían ir, si ya estaban asignadas en los planos o se asignaban automáticamente con la herramienta del software. La altura se definía según el tipo de montaje, si eran colgantes o empotradas en el techo, y se ejecutaba la simulación.

La asignación automática de luminarias se hacía teniendo en cuenta dos parámetros principales de entrada: el primero es la altura del montaje de las luminarias, el cual por defecto era la altura del techo, y el segundo son los luxes promedio que se necesitaban tener en dicha zona. Con estos dos parámetros DIALux Evo calculaba cuántas luminarias debían colocarse y en qué tipo de arreglo (en malla normalmente) para suplir el parámetro de iluminancia requerida.

#### *F. Creación de escenas de luz y ajuste de flujo luminoso*

Cuando fue necesario reducir el flujo luminoso de las luminarias para ajustar los niveles de iluminancia y deslumbramiento se usaron las escenas de luz que el software permitía crear. Para estas se agrupaban las luminarias en un solo grupo o en varios y de esta manera, se les asignaba un porcentaje de flujo luminoso entre 10% y 100%. Estas escenas fueron bastante útiles a la hora de hacer diseños en plantas industriales donde los espacios eran reducidos y la implementación de mezanines (plataformas donde se montan equipos y tanques) generaban un deslumbramiento muy alto y era necesario variar el flujo luminoso para reducir este parámetro.

#### *G. Verificación de uniformidad*

Una vez se verificó que la iluminancia promedio estaba dentro del rango permitido, se hacía una segunda verificación con las curvas isolux, para garantizar que en el área del recinto no hubiera

muchas zonas con iluminancias muy bajas con respecto a la mínima encontrada en el RETILAP [1] o en la norma europea. Si se encontraban zonas con poca iluminación se procedía a realizar una reubicación de las luminarias, y en algunos casos se añadían nuevas luminarias donde fuera necesario.

Debido a que era algo complejo definir áreas de trabajo y circundantes por separado para poder evaluar la uniformidad, el criterio que se utilizó fue el de definir el valor de 0.4 como mínimo de uniformidad requerido en cada uno de los diseños realizados o verificados, lo cual se basó en lo que dice la norma europea UNE-EN 12464-1 [2] sobre cuando no se conocen bien las áreas de trabajo y circundantes, en su sección 4.3.3 “*Iluminancias en el área de tarea*”.

#### *H. Selección de conductores y porcentaje de ocupación de ductos*

Se verificó la sección mínima a utilizar por el nivel de cortocircuito del sistema. Luego se calculó la corriente nominal y la de selección del conductor, la cual está un 25% por encima de la nominal. Con esto se verificó que el conductor elegido cumpliera con los niveles de regulación, los cuales se calculan sumando la caída de tensión hasta el tablero de distribución más la caída desde el tablero hasta la carga más lejana alimentada por cada circuito.

Luego se realizó la verificación de ocupación de los ductos, para lo que se sumaban las secciones de los cables a llevar por cada tubería, y verificando que el porcentaje de ocupación no superara el 40%, ya que en todos los circuitos como mínimos se debían llevar 3 cables: fase, neutro (o fase si era bifásico) y tierra.

#### *I. Informe final con resumen de resultados*

Una vez terminadas todas las simulaciones, y definidas las luminarias a usar y sus parámetros, se reportaron en el informe con sus datos luminométricos y eléctricos relevantes, tales como flujo luminoso, potencia de entrada, tensión, tipo de tecnología (se buscó usar siempre tecnología LED), grados de protección IP e IK, índice de reproducción cromático y temperatura del color. También se agregó una imagen de la luminaria y su curva fotométrica.

Finalmente, se recogieron en el informe los resultados obtenidos en una tabla donde se registraron los valores mínimos, medios y máximos de iluminancia y deslumbramiento, así como unas columnas adicionales donde se registró si se cumplía con los rangos de la norma o no, y en el caso de la iluminancia, si el incumplimiento era por estar por encima del valor máximo o por debajo del valor mínimo de los luxes requeridos.

## V. RESULTADOS

Durante la práctica académica, los proyectos que ejecutaba la empresa ya estaban avanzados en términos de ingeniería básica y de detalle, lo que se necesitaba principalmente era un apoyo en los diseños de iluminación interior y verificación de cumplimientos de requerimientos lumínicos, por lo que este fue el enfoque del semestre de industria. Debido a lo anterior, el único objetivo específico que se pudo cumplir fue el siguiente:

- Diseñar y modelar sistemas de iluminación interiores utilizando el software DIALux Evo versión 10, garantizando que cumplan con el RETILAP [1] y las normas internacionales avaladas por dicho reglamento, como la UNE-EN 12464-1 [2].

Los demás objetivos específicos relacionados con entregables relevantes para diseño de instalaciones de Media Tensión, así como los relacionados con sistemas fotovoltaicos y uso de los software Archelios Pro y Sketchup no se realizaron dado que la empresa necesitaba un apoyo importante en la parte de diseño de iluminación interior de instalaciones industriales y residencial, por lo que en esto que se enfocó la práctica académica.

### *A. Verificación de iluminación interior en instalación residencial*

En este proyecto se tenía un diseño de iluminación realizado por una empresa contratada por el cliente. Lo que se quería verificar era el cumplimiento de los niveles de iluminancia media y deslumbramiento en cada uno de los espacios de la casa para, de esa forma, descartar o descubrir los posibles lugares oscuros que pudieran haber, ya que la empresa que realizó el diseño no hizo simulaciones en DIALux u otro software para verificar los valores de iluminación producidos por las luminarias escogidas, además de que no hacían una definición de cada espacio según lo que dice el RETILAP [1] o la norma UNE-EN 12464-1 [2], debido a que este tipo de instalación no requería diseño detallado según el RETIE [3], por lo que la empresa realizó los diseños de iluminación interior y exterior basados en su experiencia y su conocimiento de las luminarias utilizadas.

El proyecto constaba de una casa de campo unifamiliar de alta gama, con salón social, biblioteca, cuartos útiles, taller, cocina integral y comedor, así como 1 habitación principal y 4 habitaciones secundarias. Se tenían 2 pisos, las zonas sociales y útiles estaban en el primer piso, y en el segundo las habitaciones.

### *A.1. Requerimientos lumínicos*

Los requerimientos de iluminancia media y de deslumbramiento se eligieron de la norma UNE-EN 12464-1 [2], debido a que el RETILAP [1] está más enfocado a instalaciones industriales, por lo que no había actividades o espacios en la Tabla 410.1 del RETILAP [1] que se acomodaran a los espacios de la instalación a estudiar. La norma UNE-EN 12464-1 [2] en su capítulo 5 define los niveles de iluminancia media y deslumbramiento para diferentes tipos de espacios y actividades en interiores, los cuales no solo tratan de instalaciones industriales sino que también para zonas generales en edificaciones, lo que significó que se podían encontrar más espacios acordes a los que se necesitaban estudiar en la casa del cliente.

En la TABLA I se encuentran los requerimientos de iluminancia media y deslumbramiento para este proyecto, en el cual no se estaba revisando el cumplimiento de uniformidad debido a que fue el primer proyecto que se tuvo en la empresa y no se tenía claro cuáles eran los niveles mínimos que exigía el RETILAP [1].

Los cuartos y edificios que se simularon en DIALux Evo fueron importados del model de Revit creado por las diferentes dependencias civiles y estructurales de la empresa IEB. Las diferentes disciplinas crearon los planos hidrosanitarios, estructurales y arquitectónicos, los cuales luego son integrados con los diseños eléctricos y mecánicos. Debido a que DIALux Evo no podía funcionar con todo el edificio de la casa cuando se importaba, lo que se hizo con apoyo de un dibujante de la empresa fue separar la casa en los diferentes cuartos y espacios, y así importarlos al software para trabajarlos individualmente. Una vez importado el modelo 3D se importaba el plano de AutoCAD que tenía la posición de las luminarias, y así poder ubicarlas en el punto donde la empresa de iluminación las había dispuesto en los planos.

TABLA I  
REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS EN INSTALACIÓN RESIDENCIAL

Ítem	Recinto	Actividad	UGR	Niveles de iluminancia [lx]		
				$E_{\min}$	$E_m$	$E_{\max}$
Salón social y biblioteca Piso 1						
1	Salón social	Área de lectura	19	300	500	750
2	Biblioteca	Biblioteca, estantería	19	150	200	300
Cuartos útiles, taller y gabinetes eléctricos Piso 1						
3	C. T. Bombas	Equipos mecánicos, sala de bombas	25	150	200	300
4	Gabinetes eléctricos	Cuartos de tableros eléctricos, cuartos de control	25	150	200	300
5	Cuartos útiles	Cuartos de servicios	25	150	200	300
6	Taller	Trabajo en madera, aula de manualidades	19	300	500	750
7	Cuarto de herramientas	Sala de material	25	150	200	300
Zona de circulación Piso 1						
8	Hall de ingreso	Hall de entrada	22	75	100	150
Cocina y comedor						
9	Cocina	Cocina	22	300	500	750
10	Comedor	Restaurante auto-servicio	22	150	200	300
Habitación principal						
11	Zona de descanso hab. Ppal.	Habitación, sala de descanso	22	75	100	150
12	Vestier hab. Ppal.	Vestuario	25	150	200	300
13	Baño hab. Ppal.	Cuarto de baño	25	150	200	300

### A.2. Resultados numéricos

En la TABLA II se reportaron los resultados de iluminancia media, máxima y mínima, así como de deslumbramiento hallados en los espacios; en el informe entregado al cliente se reportaron más espacios pero se recogen los más relevantes para este informe de práctica en la

TABLA II  
RESULTADOS NUMÉRICOS EN INSTALACIÓN RESIDENCIAL

Ítem	Recinto	Altura medición [m]	UGR	Iluminancia [lx]			Uniformidad		Cumple UGR		Cumple $E_m$	
				$E_m$	$E_{mín}$	$E_{máx}$	$E_{mín} / E_m$	$E_{mín} / E_{máx}$	Si	No	No $> E_{máx}$	Si
Salón social y biblioteca primer piso												
1	Salón	1	26.1	522	186	2291	0.36	0.081		X		X
2	Biblioteca	1	26.5	566	98.5	1612	0.17	0.061		X	X	
Cuartos útiles, taller y gabinetes eléctricos Piso 1												
3	C. T. Bombas	1	20.9	117	61.5	181	0.53	0.34	X			X
4	Gabinetes eléctricos	1	19.0	157	34.4	197	0.22	0.17	X			X
5	Cuartos útiles	1	24.8	217	58.5	445	0.27	0.13	X			X
6	Taller	1	25.4	228	109	335	0.48	0.33		X		X
7	Cuarto de herramientas	1	<10	325	263	395	0.81	0.67	X		X	
Zona de circulación piso 1												
8	Hall de ingreso	1	19.6	263	160	323	0.62	0.51	X		X	
Cocina y comedor												
9	Cocina	1	26.9	342	117	781	0.34	0.15		X		X
10	Comedor	1	27.5	282	75.5	573	0.27	0.13		X		X
Habitación principal Piso 2												
11	Zona de descanso Hab. Ppal.	1	18.3	73.3	8.31	270	0.11	0.031	X			X
12	Vestier Hab. Ppal.	1	24.5	1685	1232	2512	0.73	0.49	X		X	
13	Baño Hab. Ppal.	1	19.9	342	60.9	1499	0.18	0.041	X		X	

Una adición que se hizo a la tabla de reporte de resultados que la empresa entregaba anteriormente fue añadir las casillas de verificación de cumplimiento tanto de iluminancia como de deslumbramiento, de tal forma que tanto quien desarrollaba el informe como el cliente pudieran de manera rápida y ágil vislumbrar el cumplimiento de cada espacio según el requerimiento determinado en la TABLA I.

### A.3. Resultados gráficos

En las siguientes imágenes se presentan los resultados 3D obtenidos de DIALux Evo, así como las vistas en planta con las curvas isolux con las que se mostraron las distribuciones de la iluminancia en cada uno de los espacios simulados.

### A.3.1. Salón Social

En la Fig. 1 se presentó la distribución de iluminancia en el Salón Social. Este espacio estaba destinado para reuniones sociales, para cuando el cliente tuviera invitados a la casa, y funcionaría también como cine en casa, con un proyector y pantalla automática en frente de la estantería de la Biblioteca, que quedaba contigua al Salón.

Este espacio se definió como zona de lectura debido a que estaba muy cerca de la Biblioteca, así que pareció apropiada la decisión y además como las luminarias en este sitio iban a ser dimerizables, en caso tal que se quisiera un menor flujo luminoso los usuarios podían atenuarlas a su gusto a través de los controladores a instalar en la casa o a través de sus teléfonos celulares mediante una aplicación.

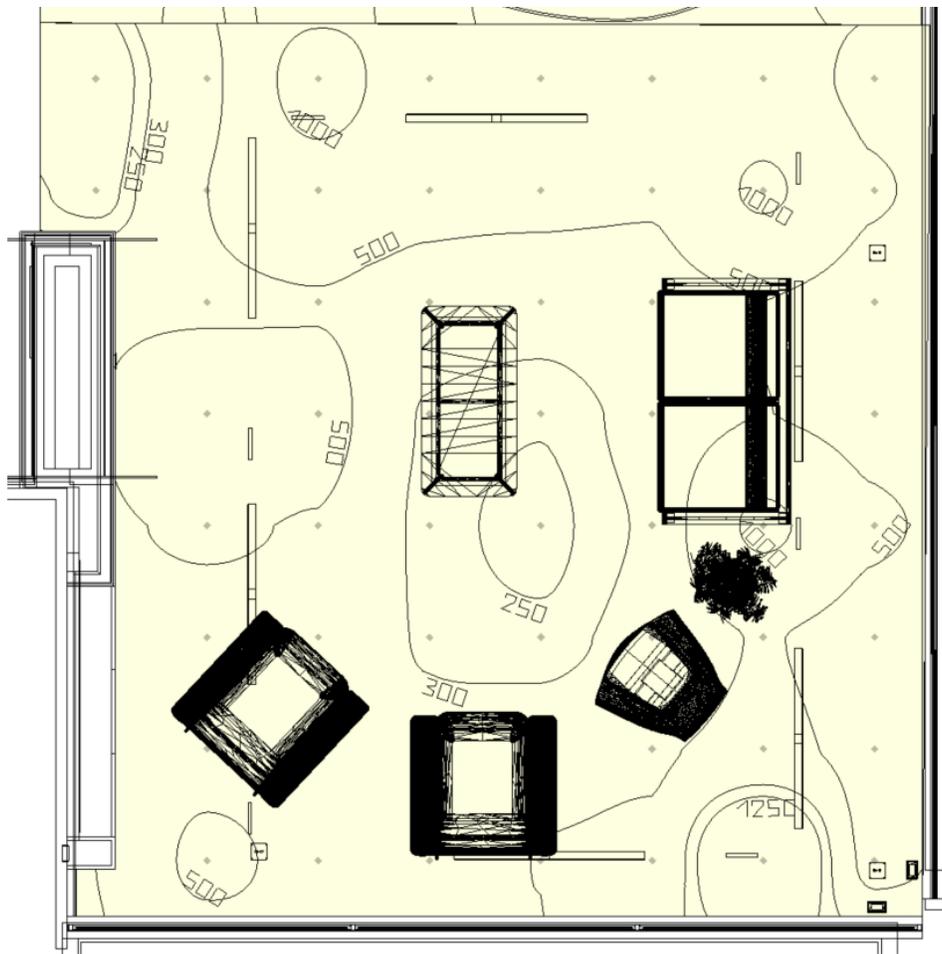


Fig. 1. Distribución de iluminancia del Salón Social.

En la Fig. 2 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

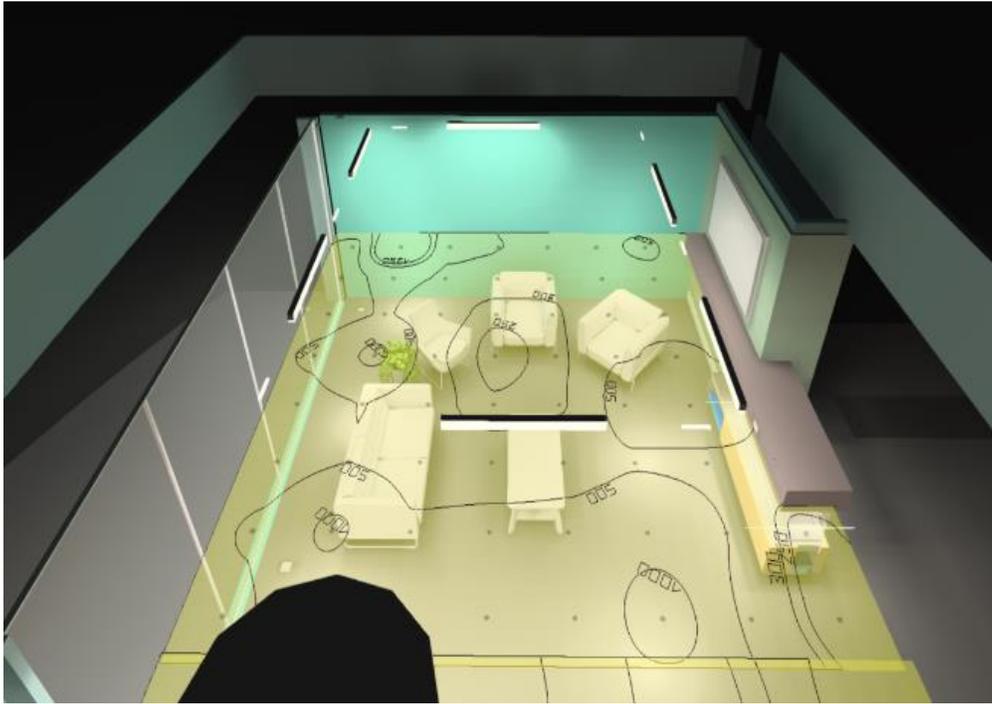


Fig. 2. Vista 3D del Salón Social con curvas isolux.

En la Fig. 3 se presentó la vista 3D del Salón Social iluminado.



Fig. 3. Vista 3D del Salón Social.

### A.3.2. Biblioteca

La Biblioteca quedaba contigua al Salón Social, y se componía de una estantería y un espacio para un piano. La Biblioteca contaba con sistema de proyección para cine en casa, así como sistema de sonido. Por la parte de iluminación contaba con iluminación propia, es decir, luminarias en el techo del espacio, pero también unas cintas LED que servían para ambientación y efectos estéticos relacionados con la arquitectura de la luz.

En la Fig. 6 se presentó la distribución de iluminancia de la Biblioteca.

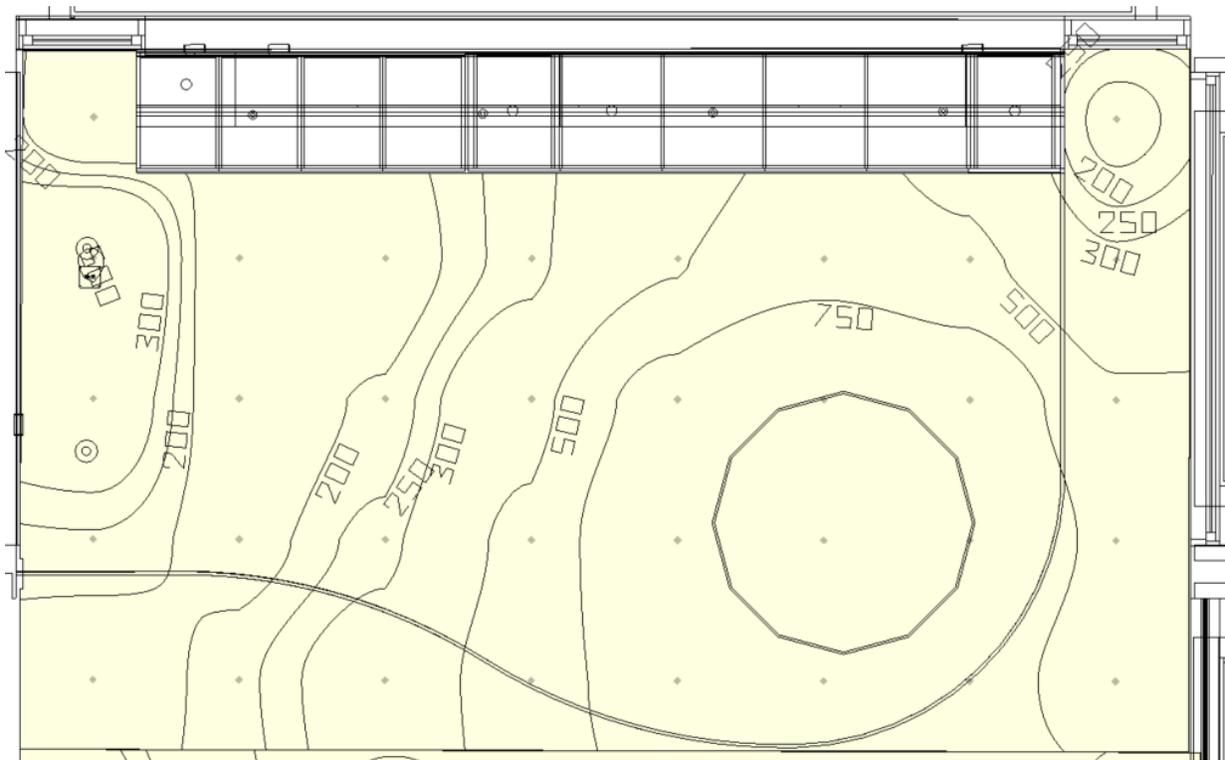


Fig. 4. Distribución de iluminancia en la Biblioteca.

En la Fig. 5 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

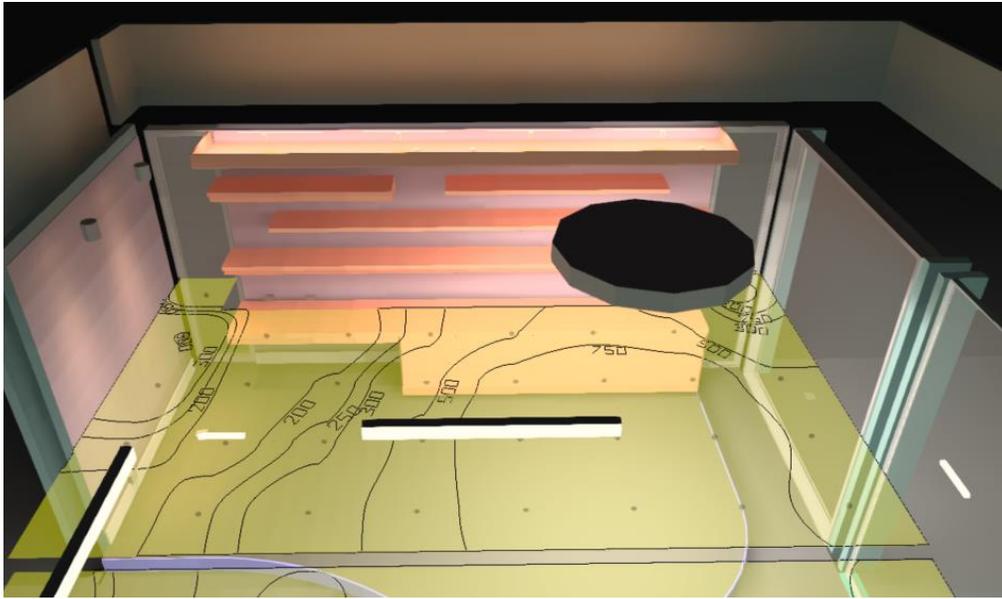


Fig. 5. Vista 3D de la Biblioteca con curvas isolux.

En la Fig. 4 se presentó la vista 3D de la Biblioteca iluminada.

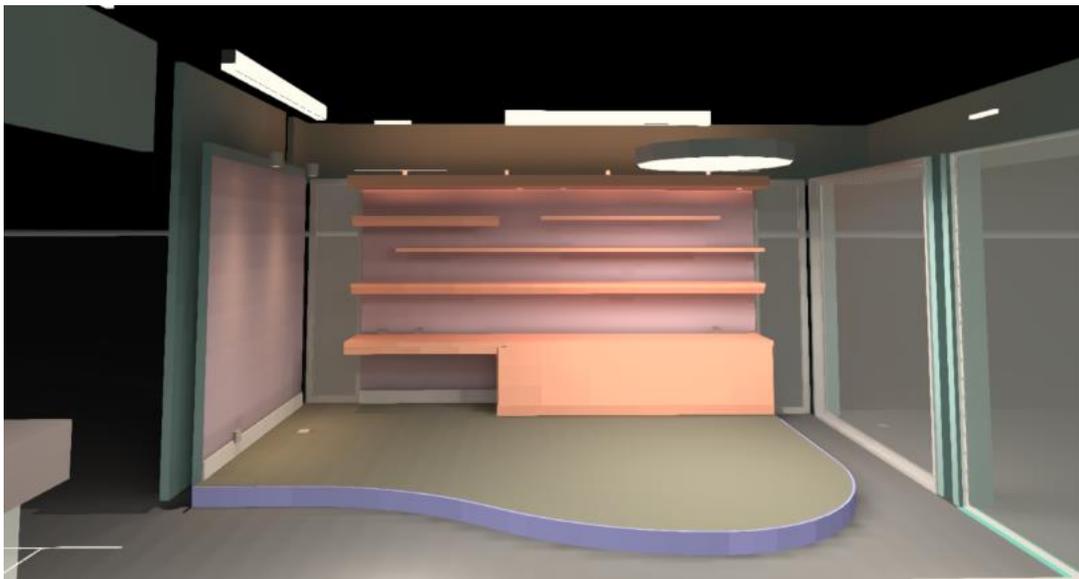


Fig. 6. Vista 3D de la Biblioteca.

### A.3.3. Cuarto Técnico de Bombas

Este cuarto era donde se iban a alojar las bombas del sistema hidráulico de la casa, relacionada con la parte hidrosanitaria.

En la Fig. 7 se presentó la distribución de iluminancia del Cuarto Técnico de Bombas.

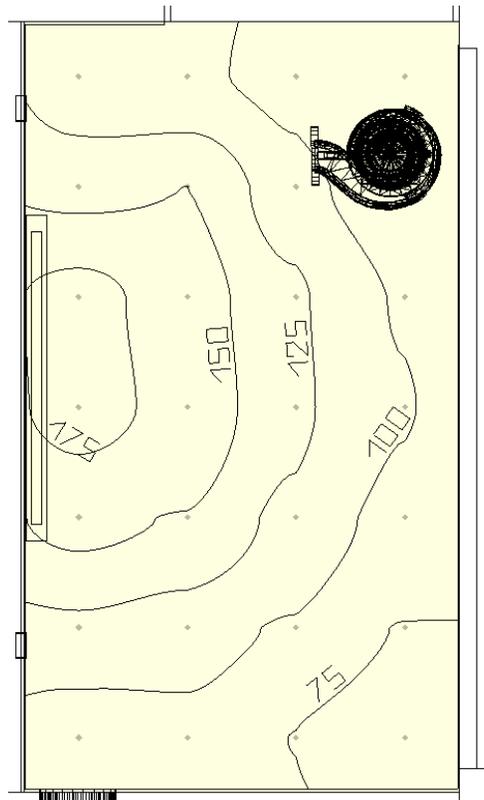


Fig. 7. Distribución de iluminancia en Cuarto Técnico de Bombas.

En la Fig. 8 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.



Fig. 8. Vista 3D de Cuarto Técnico de Bombas con curvas isolux.

En la Fig. 9 se presentó la vista 3D de Cuarto Técnico de Bombas iluminado.



Fig. 9. Vista 3D de Cuarto Técnico de Bombas.

#### A.3.4. Gabinetes eléctricos

Aquí se encontraban los tableros eléctricos principales de la casa. Era necesaria garantizar una buena iluminancia en esta zona por su importancia. La acometida llegaba desde el medidor subterráneamente y de allí se repartían todos los circuitos por ductería a través de los buitrones hacia el segundo piso y por bandeja al resto de la casa. Los techos eran cielos falsos, así quedaban fuera de la vista las bandejas y demás estructuras hidrosanitarias.

En la Fig. 10 se presentó la distribución de iluminancia de Gabinetes eléctricos.

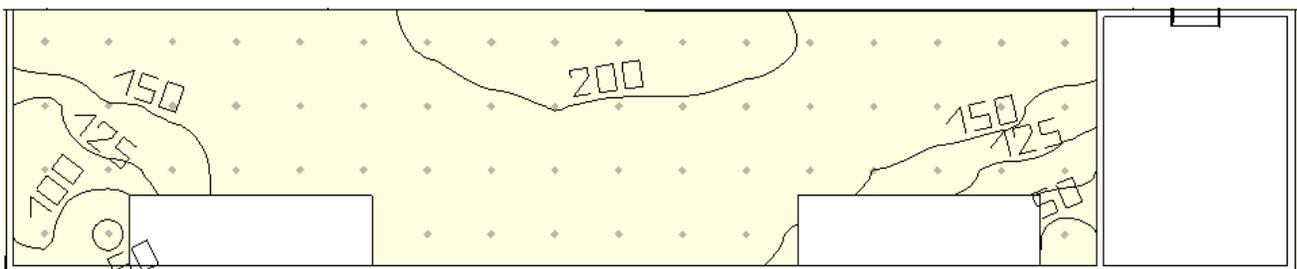


Fig. 10. Distribución de iluminancia en Gabinetes eléctricos.

En la Fig. 11 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.



Fig. 11. Vista 3D de Gabinetes eléctricos con curvas isolux.

En la Fig. 12 se presentó la vista 3D de Gabinetes eléctricos iluminados.



Fig. 12. Vista 3D de Gabinetes eléctricos.

#### A.3.5. Cuartos útiles

En estos cuartos se almacenaban elementos útiles para la casa, y quedaban adyacentes a los gabinetes eléctricos.

En la Fig. 13 se presentó la distribución de iluminancia de Cuartos útiles.

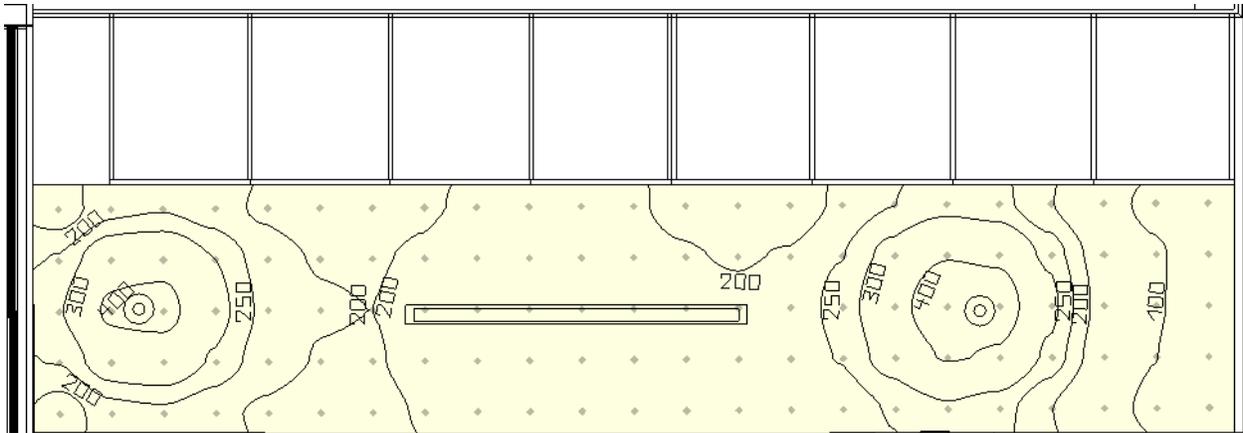


Fig. 13. Distribución de iluminancia en Cuartos útiles.

En la Fig. 14 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

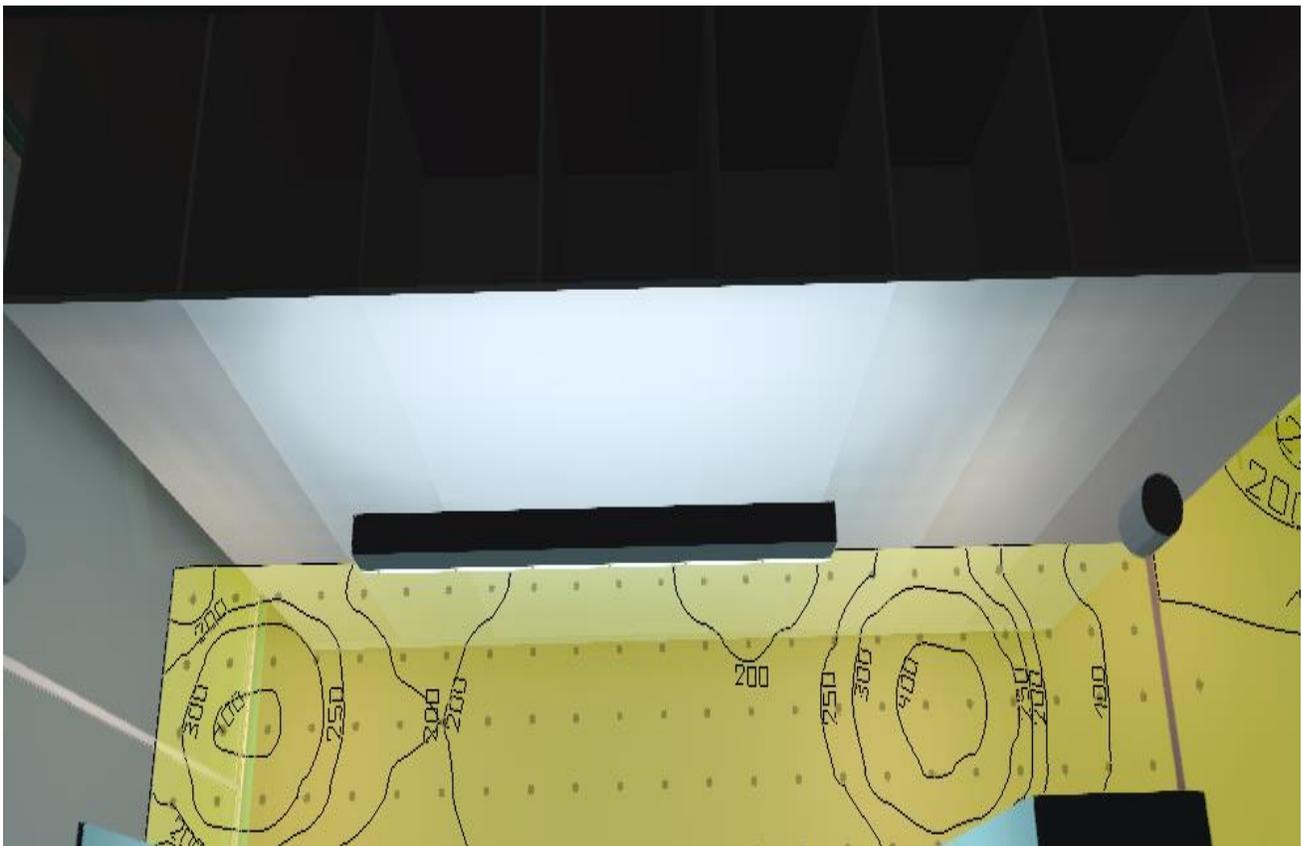


Fig. 14. Vista 3D de Cuartos útiles con curvas isolux.

En la Fig. 15 se presentó la vista 3D de Cuartos útiles iluminados.



Fig. 15. Vista 3D de Cuartos útiles.

#### *A.3.6. Taller*

El Taller el cliente quería dedicarlo para hacer manualidades y otros trabajos con madera y similares para su recreación. Por lo tanto, se decidió tomar los requisitos para aula de manualidades, o laboratorio de colegio.

En la Fig. 16 se presentó la distribución de iluminancia de Taller.

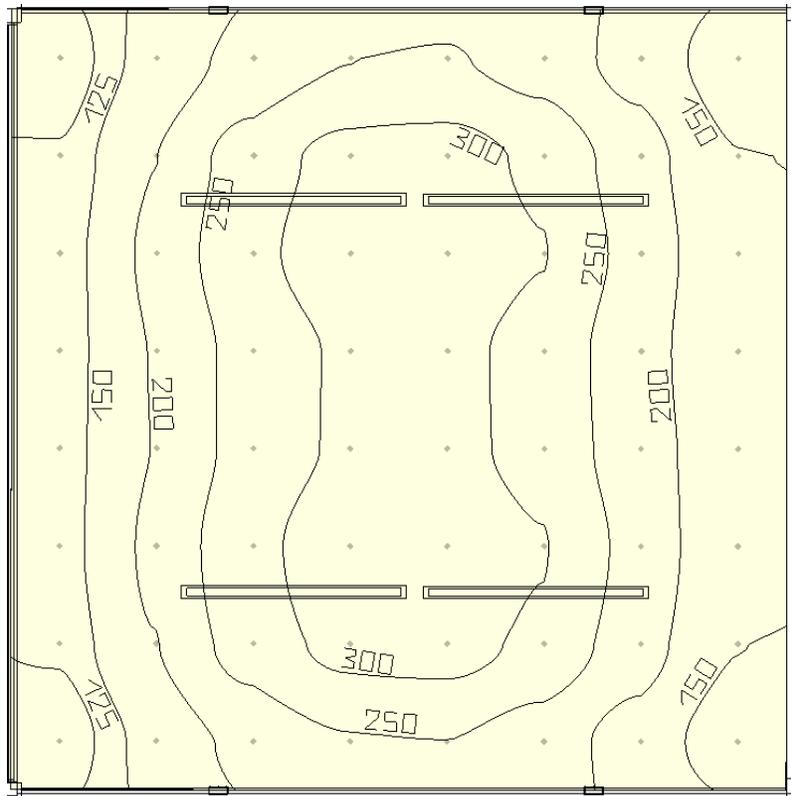


Fig. 16. Distribución de iluminancia en Taller.

En la Fig. 17 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

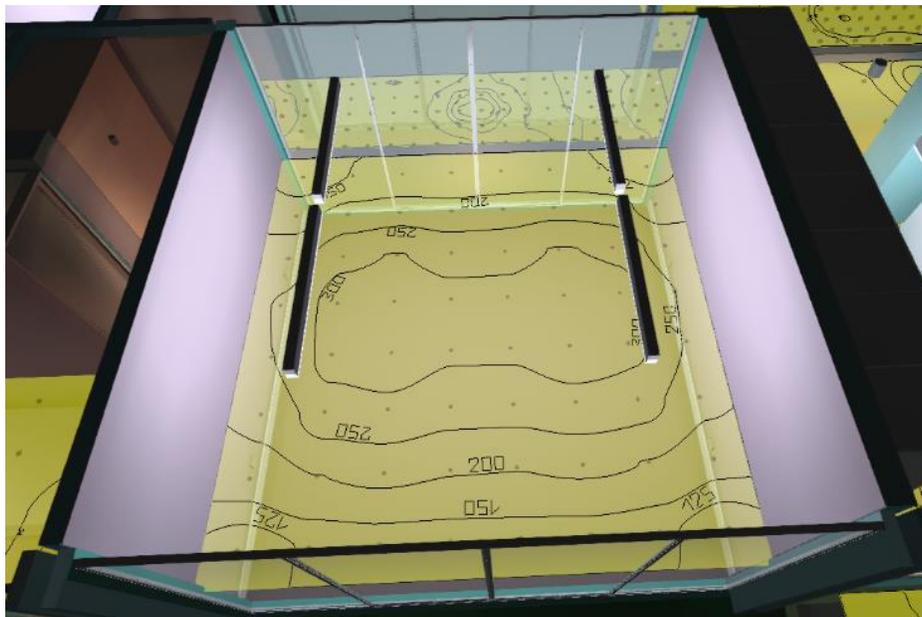


Fig. 17. Vista 3D de Taller con curvas isolux.

En la Fig. 18 se presentó la vista 3D de Taller iluminado.



Fig. 18. Vista 3D de Taller.

#### A.3.7. Cuarto de herramientas

En la Fig. 19 se presentó la distribución de iluminancia de Cuarto de herramientas.

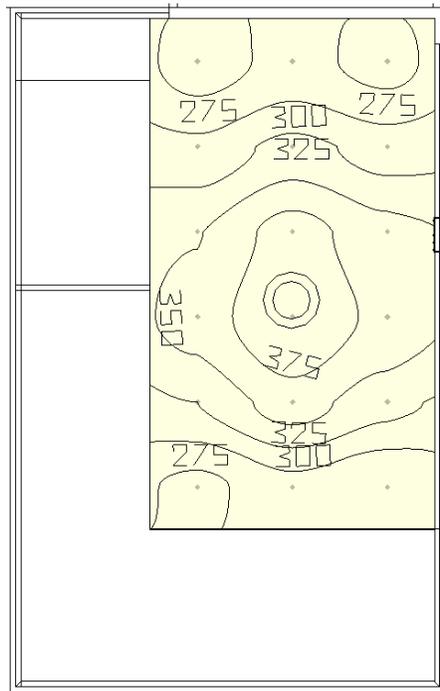


Fig. 19. Distribución de iluminancia en Cuarto de herramientas.

En la Fig. 20 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.



Fig. 20. Vista 3D de Cuarto de herramientas con curvas isolux.

En la Fig. 21 se presentó la vista 3D de Cuarto de herramientas iluminado.

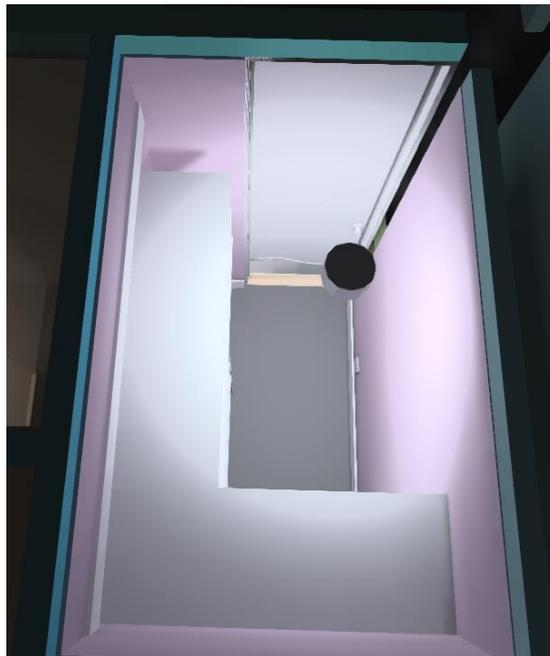


Fig. 21. Vista 3D de Cuarto de herramientas.

### A.3.8. Hall de ingreso

En la Fig. 22 se presentó la distribución de iluminancia de Hall de ingreso.

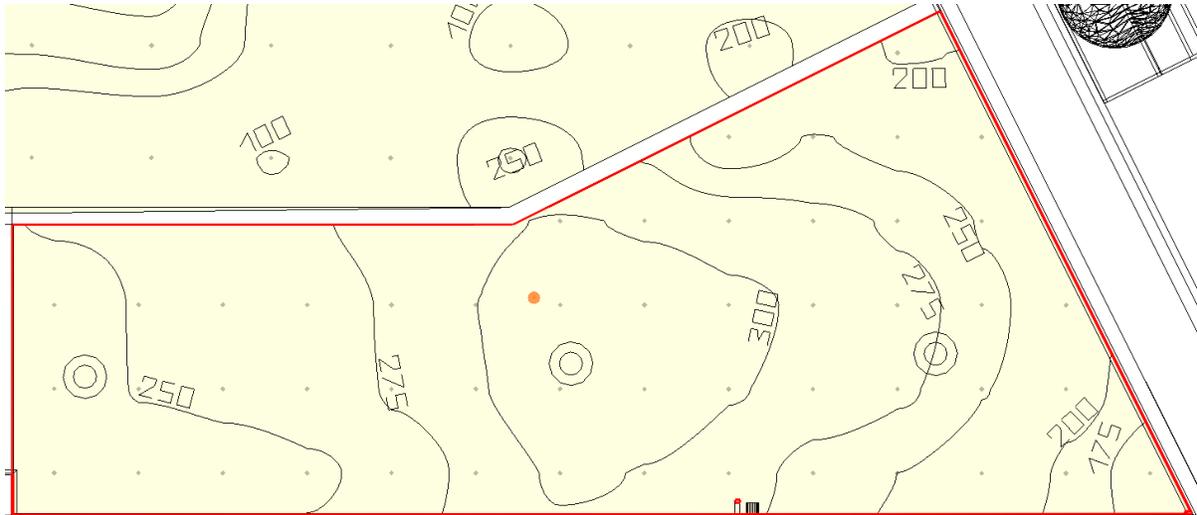


Fig. 22. Distribución de iluminancia en Hall de ingreso (área de cálculo resaltada en rojo).

En la Fig. 23 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

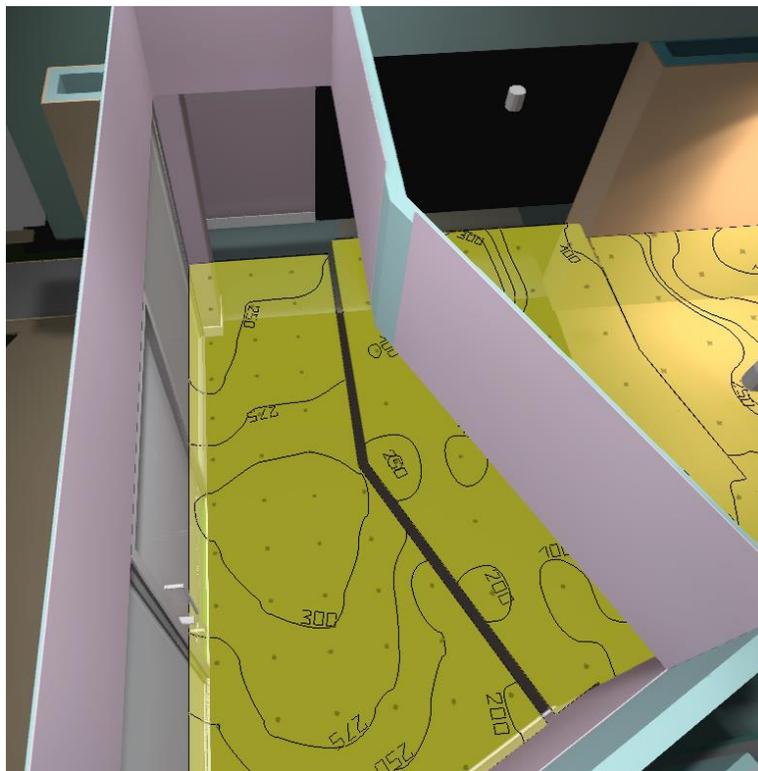


Fig. 23. Vista 3D de Hall de ingreso con curvas isolux.

En la Fig. 24 se presentó la vista 3D de Hall de ingreso iluminado.



Fig. 24. Vista 3D de Hall de ingreso.

#### A.3.9. Cocina

El requisito de iluminancia media y de deslumbramiento de la cocina se tomó como de cocina de restaurante según la norma europea UNE-EN 12464-1 [2].

En la Fig. 25 se presentó la distribución de iluminancia de Cocina.

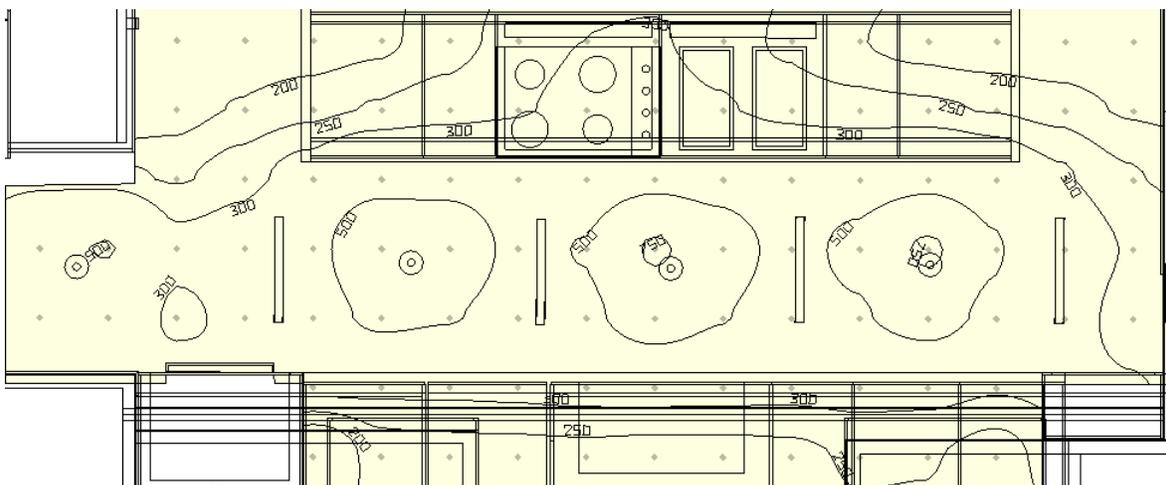


Fig. 25. Distribución de iluminancia en Cocina.

En la Fig. 26 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

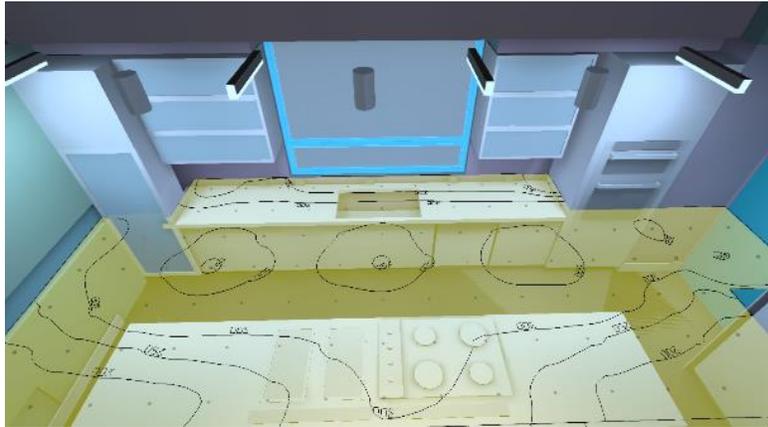


Fig. 26. Vista 3D de Cocina con curvas isolux.

En la Fig. 27 se presentó la vista 3D de Cocina iluminada.

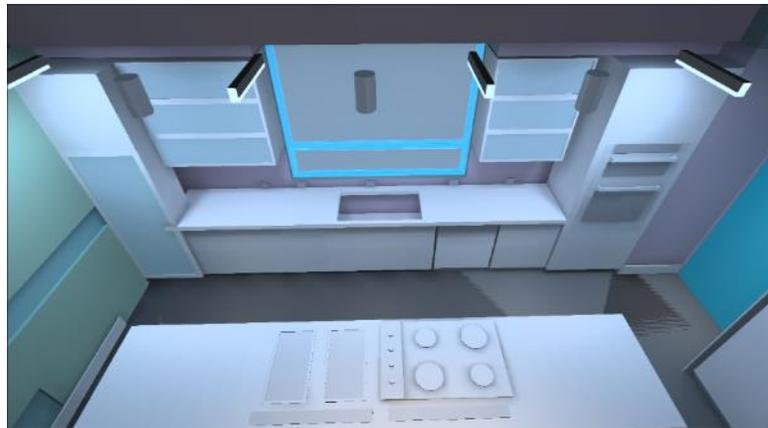


Fig. 27. Vista 3D de Cocina.

#### *A.3.10. Comedor*

En el comedor se tuvo una situación particular, ya que la norma europea no tiene un valor de iluminancia media ni de deslumbramiento para este tipo de espacios, ya que lo deja a criterio del diseñador o del cliente para generar la atmósfera deseada. Por lo anterior, se eligió definir el comedor como un restaurante autoservicio y tomar los valores requeridos para este tipo de espacios, ya que era lo que más se parecía al espacio en cuestión.

En la Fig. 25 se presentó la distribución de iluminancia de Comedor.

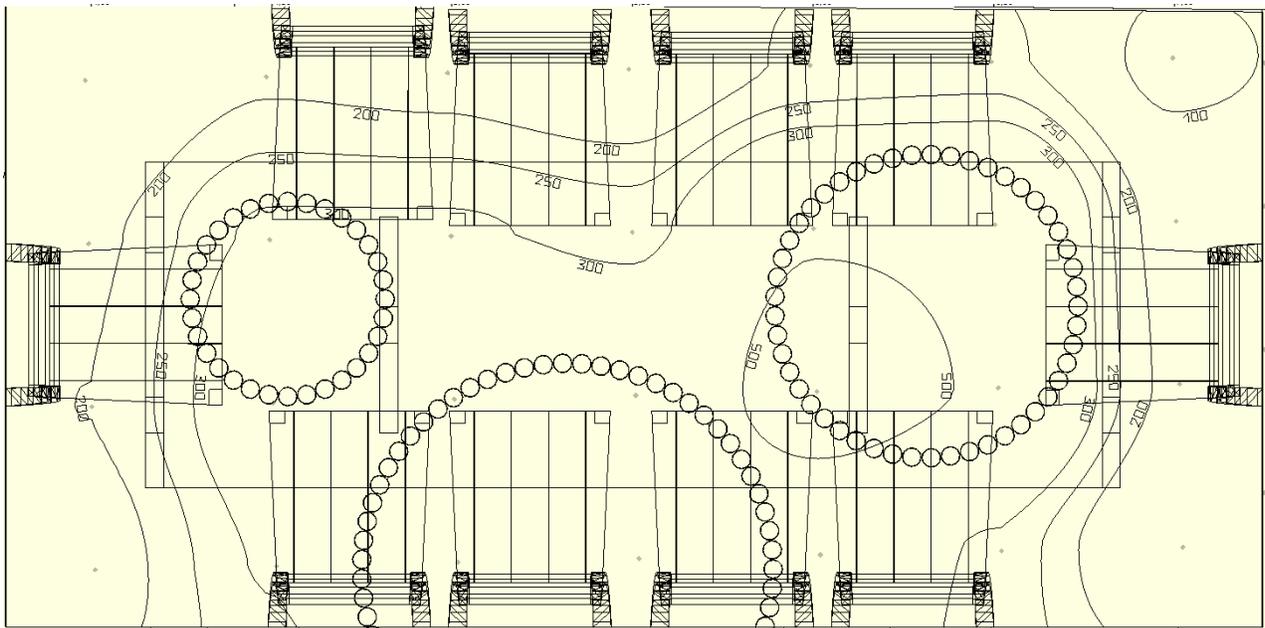


Fig. 28. Distribución de iluminancia en Comedor.

En la Fig. 26 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.



Fig. 29. Vista 3D de Comedor con curvas isolux.

En la Fig. 27 se presentó la vista 3D de Comedor iluminada.



Fig. 30. Vista 3D de Comedor.

#### A.3.11. Zona de descanso Habitación Principal.

En la Fig. 31 se presentó la distribución de iluminancia de Zona de descanso habitación principal.

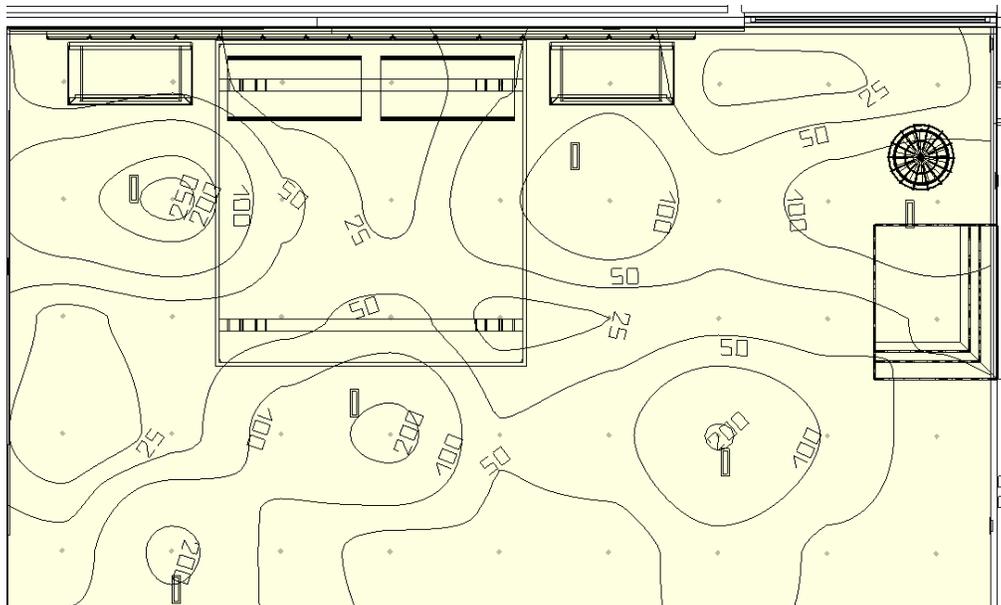


Fig. 31. Distribución de iluminancia en Zona de descanso habitación principal.

En la Fig. 32 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.



Fig. 32. Vista 3D de Zona de descanso habitación principal con curvas isolux.

En la Fig. 33 se presentó la vista 3D de Zona de descanso habitación principal iluminada.



Fig. 33. Vista 3D de Zona de descanso habitación principal.

#### A.3.12. Vestier Habitación Principal.

En la Fig. 34 se presentó la distribución de iluminancia de Vestier Habitación Principal.

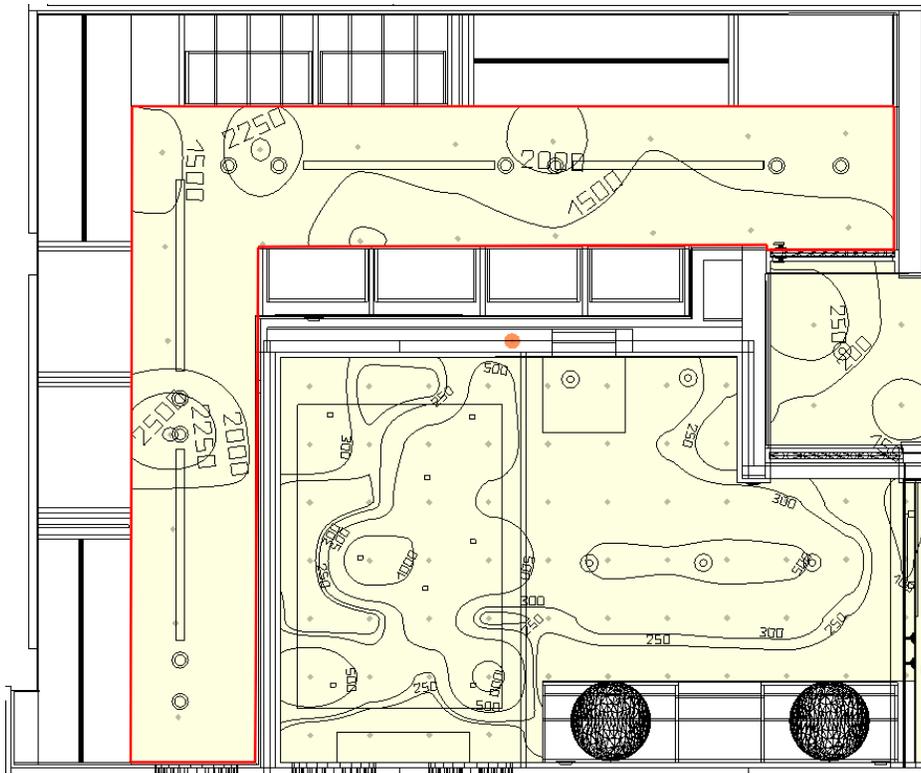


Fig. 34. Distribución de iluminancia en Vestier Habitación Principal (área de cálculo resaltada en rojo).

En la Fig. 35 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

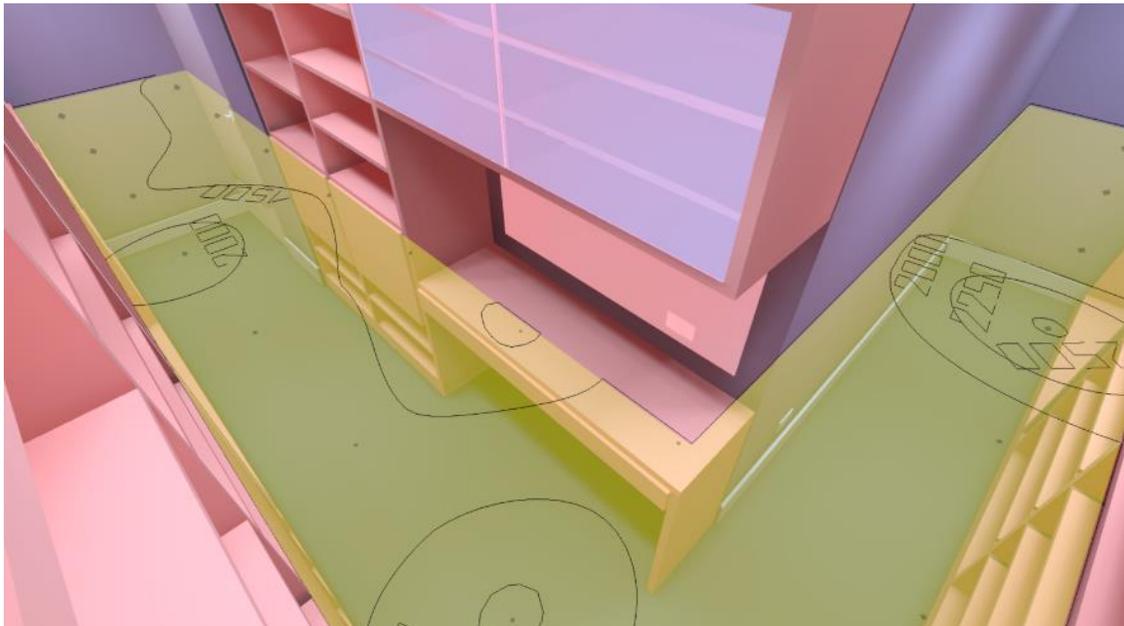


Fig. 35. Vista 3D de Vestier Habitación Principal con curvas isolux.

En la Fig. 36 se presentó la vista 3D de Vestier Habitación Principal iluminada.

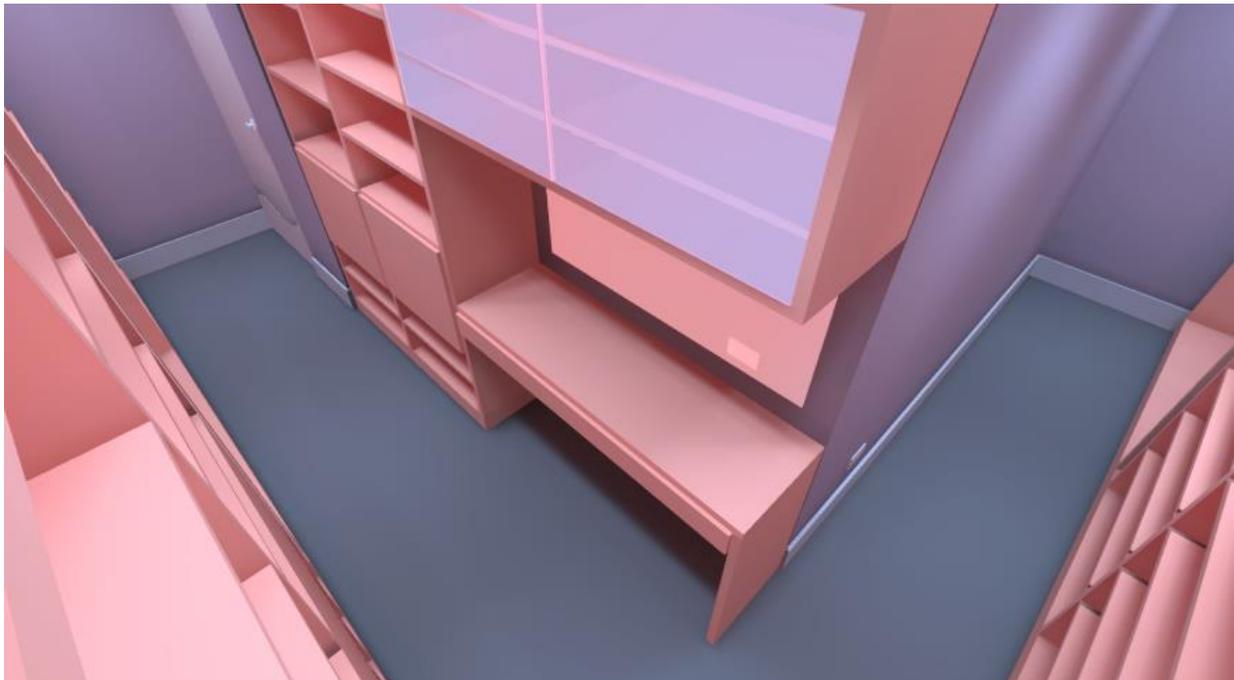


Fig. 36. Vista 3D de Vestier Habitación Principal.

### A.3.13. Baño Habitación Principal.

En la Fig. 37 se presentó la distribución de iluminancia de Baño Habitación Principal.

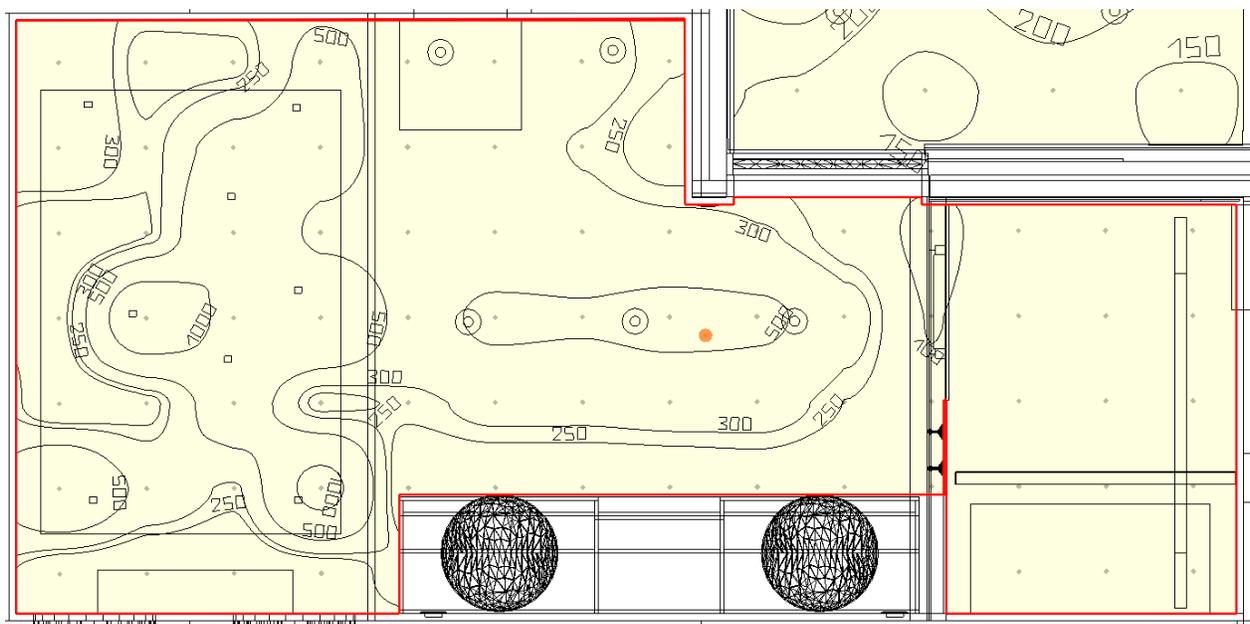


Fig. 37. Distribución de iluminancia en Baño Habitación Principal (área de cálculo resaltada en rojo).

En la Fig. 38 se presentó la vista 3D junto con las curvas isolux del área de cálculo.

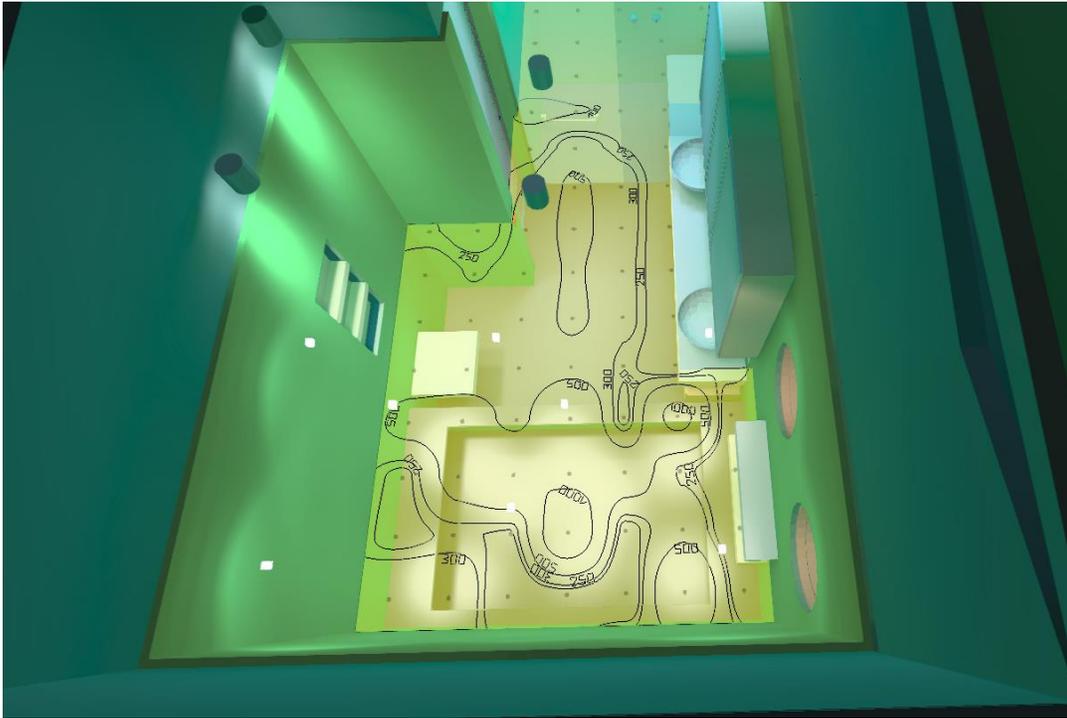


Fig. 38. Vista 3D de Baño Habitación Principal con curvas isolux.

En la Fig. 39 se presentó la vista 3D de Baño Habitación Principal iluminado.

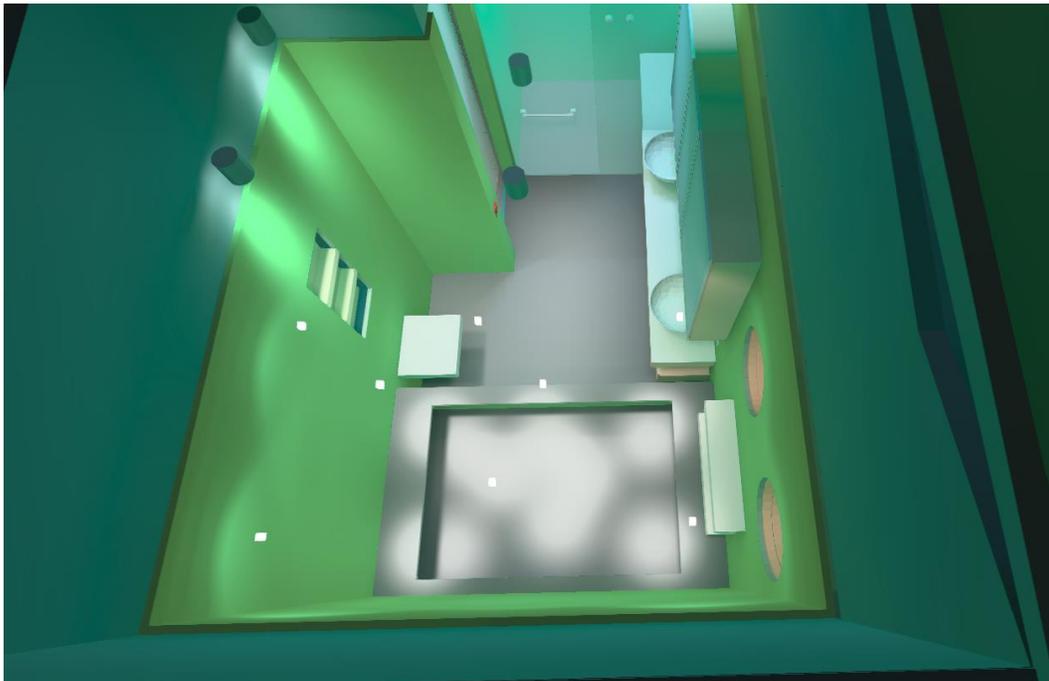


Fig. 39. Vista 3D de Baño Habitación Principal.

### *B. Diseño de iluminación interior de instalación industrial de producción de alimentos*

Este fue el segundo proyecto trabajado en la empresa. Se requería hacer el diseño de iluminación de una planta de ampliación de una productora de alimentos. Se tenían los planos 2D, con las vistas en planta y de perfil, así como los cortes de las instalaciones diseñadas, con los cuales se procedió a crear el modelo del edificio en DIALux Evo, importando los planos al programa para con ellos crear los contornos externos del edificio, los contornos internos, así como las diferentes salas o locales que lo conformaban.

En este caso la nueva planta se dividía en 2 fases, por lo que los diseños fueron hechos acorde con esta disposición. La Fase 1 de la nueva planta contaba con: bodega, cuarto de empaque, una zona general donde se encontraban líneas de producción, hornos y un mezanine o plataforma sobre la cual se montaban equipos, y debajo del cual pasaba la línea de producción.

Se necesitaba que la nueva planta tuviera buen nivel de iluminación debido a que por experiencia de la empresa que normalmente les proveía las luminarias podían quedar en la construcción final muchas zonas oscuras debido a la cantidad de tuberías y equipos que finalmente terminarían componiendo la fábrica.

Para la iluminación de emergencia se propusieron luminarias tipo Mickey mouse de una marca comercial en Colombia las cuales se dispusieron en las salidas de emergencia que se encontraban marcadas en los planos.

#### *B.1. Requerimientos lumínicos*

En la TABLA III se encuentran los requerimientos de iluminancia media y deslumbramiento para este proyecto, en el cual si se revisó cuáles eran los niveles mínimos de uniformidad exigidos por el RETILAP [1], con lo cual se definió mantener un mínimo de 0,4 de uniformidad, la cual es medida con la relación de la iluminancia mínima entre la iluminancia media ( $E_{\text{mín}} / E_{\text{m}}$ ).

Para este proyecto se determinó solo 1 criterio de iluminancia media y deslumbramiento requerido, debido a la necesidad de que las distintas zonas de la nueva planta quedaran con una iluminancia alta, para evitar que en las mediciones subsiguientes a la construcción e instalación de las luminarias arrojarán valores bajos no representativos de lo que se había diseñado según los resultados de las simulaciones.

TABLA III  
REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS EN INSTALACIÓN INDUSTRIAL PRODUCTORA DE ALIMENTOS

Ítem	Recinto	Actividad	UGR	Niveles de iluminancia [lx]		
				$E_{\text{mín}}$	$E_{\text{m}}$	$E_{\text{max}}$
1	Áreas generales de trabajo	Áreas generales de trabajo en industria alimenticia	25	200	300	500

### B.2. Resultados numéricos

En la TABLA IV se reportaron los resultados de iluminancia media, máxima y mínima, así como de deslumbramiento hallados en los diferentes espacios estudiados en el diseño de iluminación interior para esta instalación industrial. También fue necesario revisar con el área encargada del estudio de áreas clasificadas las diferentes fronteras de estas, para así definir si había luminarias y equipos que necesitaran ser para este tipo de zonas con gases y polvos inflamables, hecho la verificación se corroboró que ninguna de las luminarias ni de los bajantes estaba dentro de las zonas clasificadas.

En este proyecto se tuvo en cuenta el requerimiento mínimo de uniformidad, por lo que en la TABLA IV se añade una columna que indica si el resultado de uniformidad es igual o mayor que el límite mínimo exigido por el RETILAP [1]. En la empresa los informes de resultados de uniformidad se reportaban según los que arroja el DIALux, es decir, reportaban las 2 relaciones  $E_{\text{mín}} / E_{\text{m}}$  y  $E_{\text{mín}} / E_{\text{máx}}$ , pero no tenían en la misma tabla una casilla donde se pudiera verificar el cumplimiento o no, solo lo mencionaban en el análisis y conclusiones.

El RETILAP [1] define como valores mínimos de uniformidad 0,5 para el área de trabajo o de tarea, y 0,4 para las áreas circundantes o adyacentes, los cuales son tomados de la norma UNE-EN 12464-1 [2], en donde se daban los criterios para evaluar qué valor de uniformidad utilizar.

Luego de revisar lo que dice el RETILAP [1] sobre la uniformidad, solo se reportó la primera relación ( $E_{\min} / E_m$ ), y el criterio usado fue el de que esta relación no estuviera por debajo de 0,4. Lo que dice la norma europea UNE-EN 12464-1 [2] sobre la uniformidad es que si no se conoce el área de trabajo, entonces se debe iluminar lo más uniformemente toda el área con un valor mínimo de uniformidad de 0,4.

TABLA IV  
RESULTADOS NUMÉRICOS EN INSTALACIÓN INDUSTRIAL PRODUCTORA DE ALIMENTOS

Ítem	Recinto	Altura medición [m]	UGR	Iluminancia [lx]			Uniformidad		Cumple UGR		Cumple $E_m$	
				$E_m$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$E_{\min} / E_m$	$\geq 0.4$ Si No	Si No	No $> E_{\max}$	Si $< E_{\min}$	
Fase 1												
1	Bodega	1	25.0	298	127	413	0.43	X	X			X
2	Fase 1 – cuarto de empaque	1	24.8	448	189	564	0.42	X	X			X
3	Fase 1 – área general	1	24.9	500	203	895	0.41	X	X			X
4	Fase 1 – mezanine cocina nivel 1 <sup>3</sup>	1	24.3	368	220	513	0.60	X	X			X
5	Fase 1 – mezanine cocina nivel 2	5.37 <sup>1</sup>	25.0	396	214	614	0.54	X	X			X
Fase 2												
6	Fase 2 – área general	1	24.7	436	195	609	0.45	X	X			X
7	Fase 2 – mezanine UMAS nivel 1 <sup>2</sup>	1	22.3	364	150	477	0.41	X	X			X
8	Fase 2 – mezanine UMAS nivel 2	6 <sup>3</sup>	22.8	409	293	546	0.72	X	X			X

Para este proyecto se realizó un diseño de iluminación, con base en el cual la empresa que provee las luminarias para el cliente realizó un diseño similar, pero usando luminarias diseñadas

<sup>1</sup> Se midió 1 metro sobre la superficie del Mezanine.

<sup>2</sup> El área de cálculo se extendió hasta la zona de circulación contigua al Mezanine UMAS.

<sup>3</sup> Se midió 1 metro sobre la superficie del Mezanine. El área de cálculo se extendió hasta la zona de circulación contigua al Mezanine Cocinas.

por ellos, estas luminarias eran highbay o de campana, y tenían 3 niveles de iluminancia: 19000 lm, 30400 lm y 38000 lm. Para la Fase 1 de la nueva planta la empresa realizó el diseño con las de 30400 y 38000 lm.

Este diseño se revisó y se encontró que en ciertas zonas estaba arrojando niveles de deslumbramiento superiores a los permitidos por el RETILAP [1], especialmente en la Zona General y el Nivel 2 del Mezanine Cocinas. Al comentarle esto a quien realizó el nuevo diseño, nos informaron que ya se habían comprado las luminarias de 38000 lm de la Fase 1, por lo que se hizo fue una redistribución de las luminarias para disminuir el nivel de deslumbramiento en las zonas afectadas.

Fue así como las 3 luminarias de 30400 lm que había en la Bodega se colocaron el Área General, y 3 luminarias de 38000 lm se colocaron el Bodega. Esto logró reducir el deslumbramiento, y se redujo en todas las zonas por debajo de 25 UGR al mover también las luminarias herméticas lineales que estaban sobre el Nivel 2 del Mezanine Cocinas.

Adicionalmente en consenso con la empresa suministradora de las luminarias se aumentó el número de luminarias sobre el Nivel 2 del Mezanine Cocinas, ya que la iluminancia media estaba dando por debajo de la media requerida por el RETILAP [1], así que se adicionaron 6 luminarias más, para un total de 12 en el Nivel 2.

### *B.3. Resultados gráficos*

En este proyecto todo el edificio, las máquinas, líneas de producción y hornos que se presentan fueron modeladas en el software DIALux Evo usando la metodología antes expuesta. Se importó el plano 2D en AutoCAD con la vista en planta de la instalación, se generaron los contornos externos e internos y las diferentes salas y locales.

En las vistas de perfil solo se tenían detalles estructurales, por lo que los tanques, estructuras, máquinas, líneas de producción y hornos se extruyeron a una altura de 2,1 metros, ya que realizando una investigación en internet se encontró que esta era la altura promedio de estos equipos. Los

hornos se levantaron a una altura de 3 metros, y las Tolvas se levantaron a unas alturas mayores basados en planos que tenían que ver con el análisis de áreas clasificadas.

En la Fig. 40 se encuentra una vista general de la Fase 1 de la nueva planta modelada en DIALux Evo. Se observa en la parte inferior derecha la Bodega, con los paquetes simulados como cajas acordes a lo que se encontraba en los cortes de los planos. En el centro el Cuarto de empaque, con la línea de producción y horno que llegan a este. En la parte inferior izquierda se encuentra el Mezanine Cocinas iluminado con las luminarias lineales herméticas. Y en la zona central la que se denomina Área General, la cual constaba de líneas de producción, rieles, hornos y tolvas.

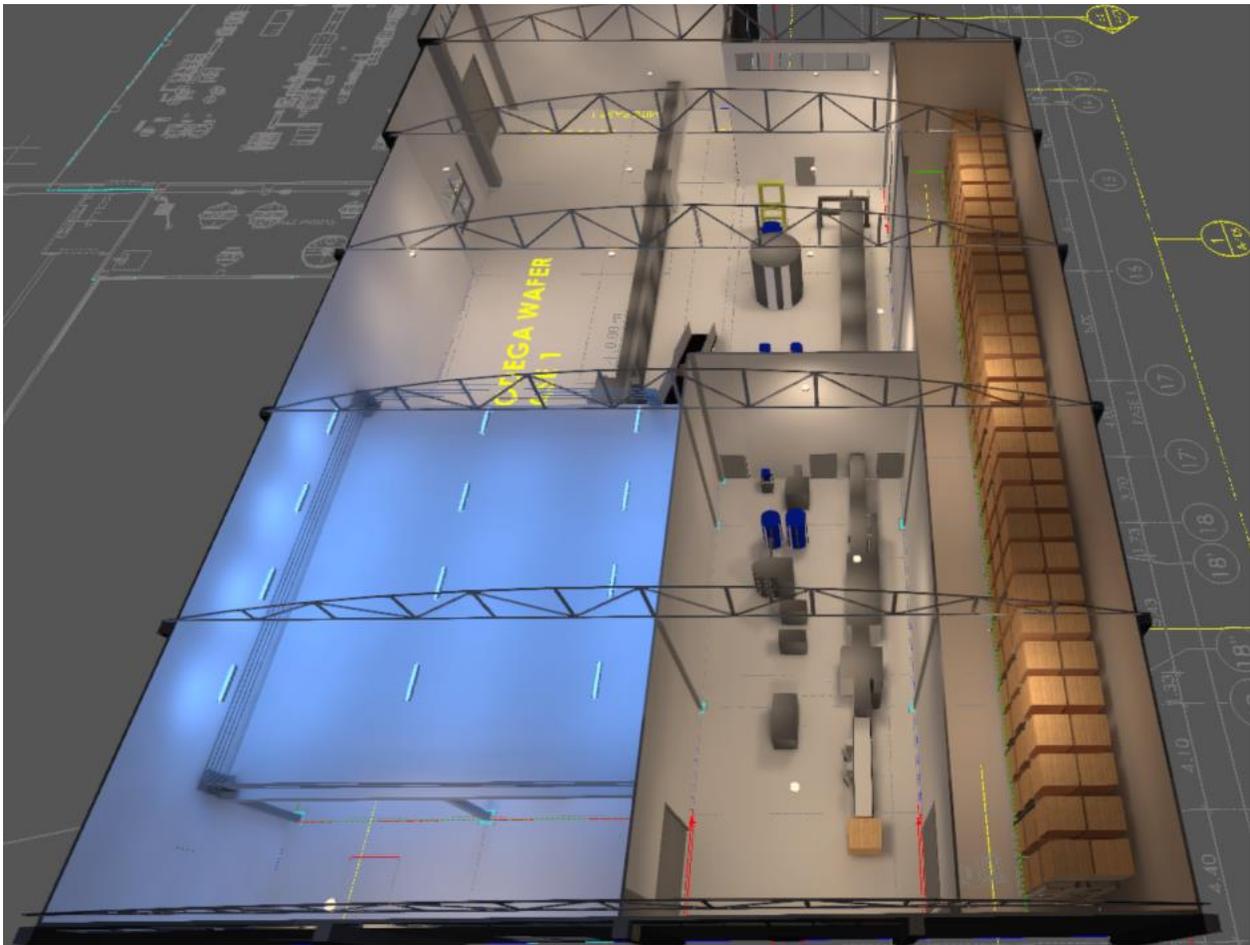


Fig. 40. Vista general Fase 1.

Para este proyecto se definieron mejor las áreas de cálculo, de forma que no incluyeran objetos, paredes o estructuras, y de esa forma que los valores de uniformidad fueran más acordes a la realidad, ya que si se incluían zonas cercanas a objetos o esquinas la uniformidad daría muy

baja. Esto se hizo siguiendo los parámetros dados en el RETILAP [1] sobre la depuración de las áreas de cálculo para las simulaciones.

Indicaciones según lo anterior descrito se dan también en el RETILAP [1] para la medición de iluminancia en sitio, donde se especifica evitar medir en zonas poco iluminadas para que esos valores bajos no afecten la medida de la iluminancia media reportada en la zona. Los siguientes son los resultados gráficos de iluminancia media, deslumbramiento y uniformidad obtenidos de las simulaciones en la instalación industrial productora de alimentos.

### *B.3.1. Bodega*

Las luminarias de la Bodega debían ir no al mismo nivel de las demás, sino por encima del nivel de la cercha, para evitar inconvenientes con los equipos usados para montar y descargar mercancías y empaques, por lo anterior se especifica la altura de montaje en la Fig. 42.

En la Fig. 41 se presentó la distribución de iluminancia en la Bodega.

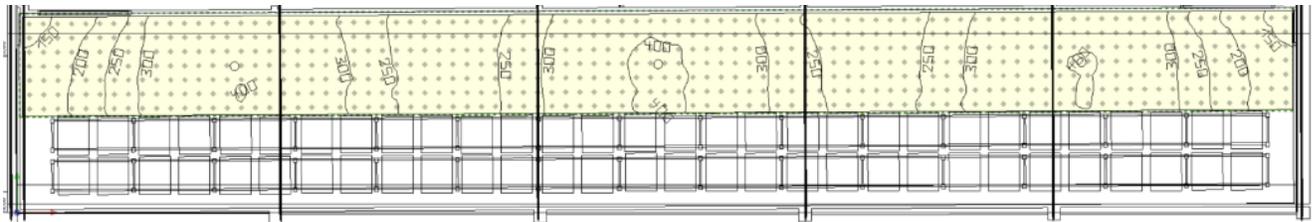


Fig. 41. Distribución de iluminancia en Bodega.

En la Fig. 42 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias de la Bodega.

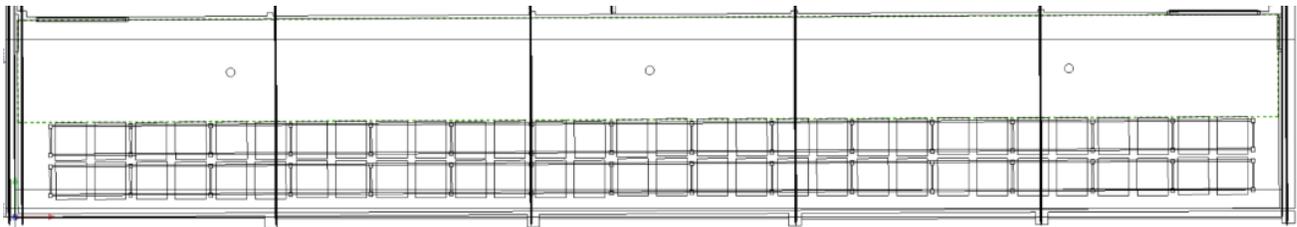


Fig. 42. Ubicación luminarias de 38000 lm en Bodega (altura de montaje 10m).

En la Fig. 43 se mostró una vista 3D de la Bodega iluminada para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.



Fig. 43. Vista 3D de Bodega.

### B.3.2. Cuarto de empaque

En el Cuarto de empaque se reubicó la luminaria del centro para lograr aumentar el parámetro de uniformidad, debido a que por la línea de producción se generaban zonas oscuras, por lo que se movió de forma que las luminarias quedaron en un arreglo en forma de triángulo y no en línea recta.

En la Fig. 44 se presentó la distribución de iluminancia en el Cuarto de empaque.

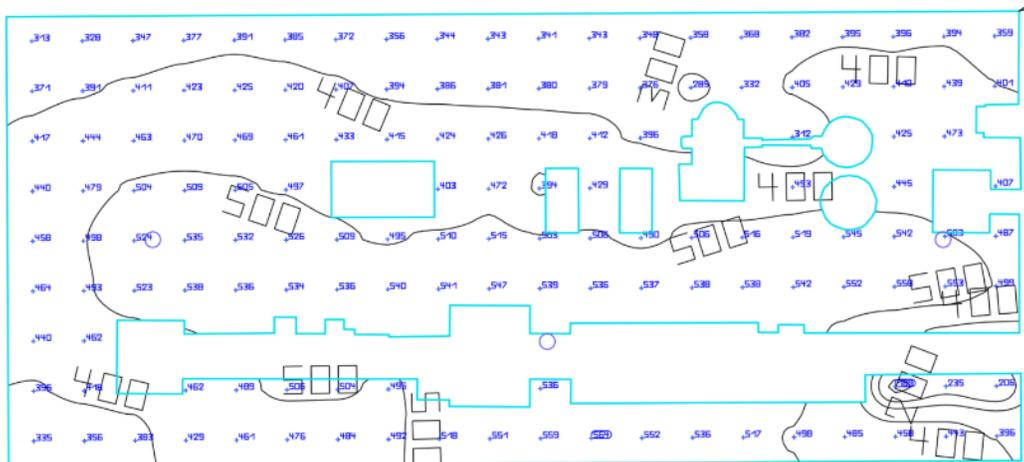


Fig. 44. Distribución de iluminancia en el Cuarto de empaque.

En la Fig. 45 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias del Cuarto de empaque.

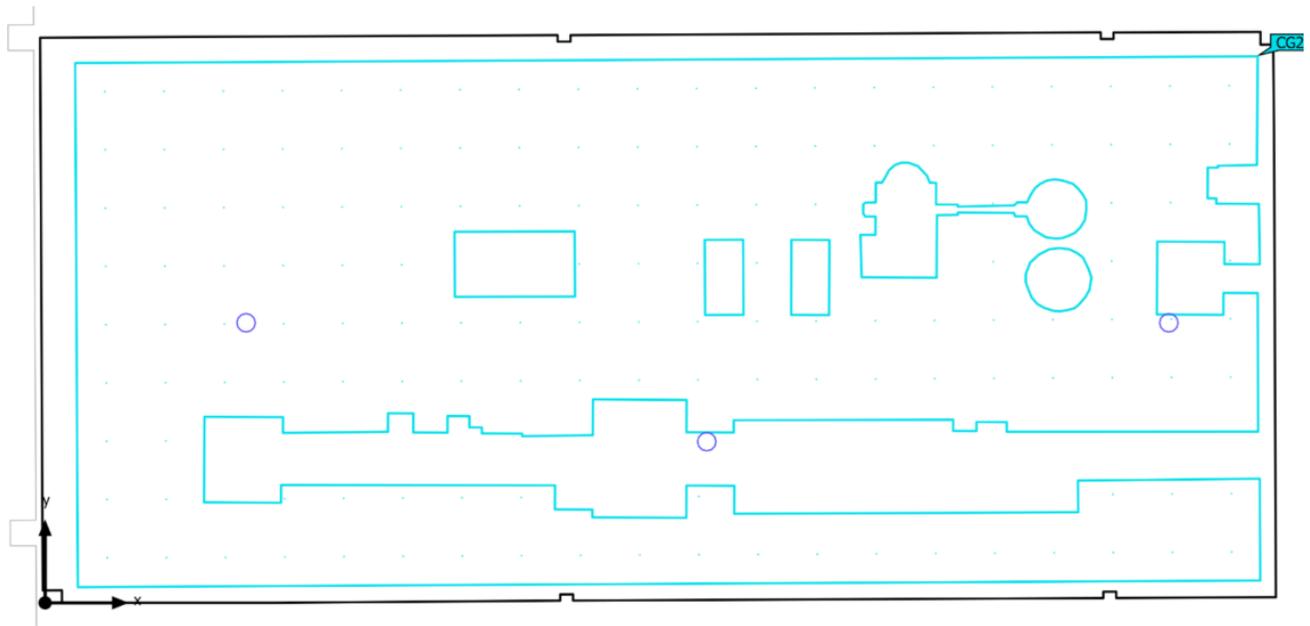


Fig. 45. Ubicación luminarias de 38000 lm en el Cuarto de empaque.

En la Fig. 46 se muestra una vista 3D del Cuarto de empaque iluminado para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.



Fig. 46. Vista 3D del Cuarto de empaque.

### B.3.3. Fase 1 Área General

En esta zona había varias líneas de producción, hornos y otras estructuras de las cuáles solo se tenía la disposición en planta, por lo que como se mencionó anteriormente se modelaron como prismas extruidos con el contorno hallado en los planos, incluyendo los tanques y otros cilindros.

En la Fig. 47 se presentó la distribución de iluminancia en Fase 1 Área General.

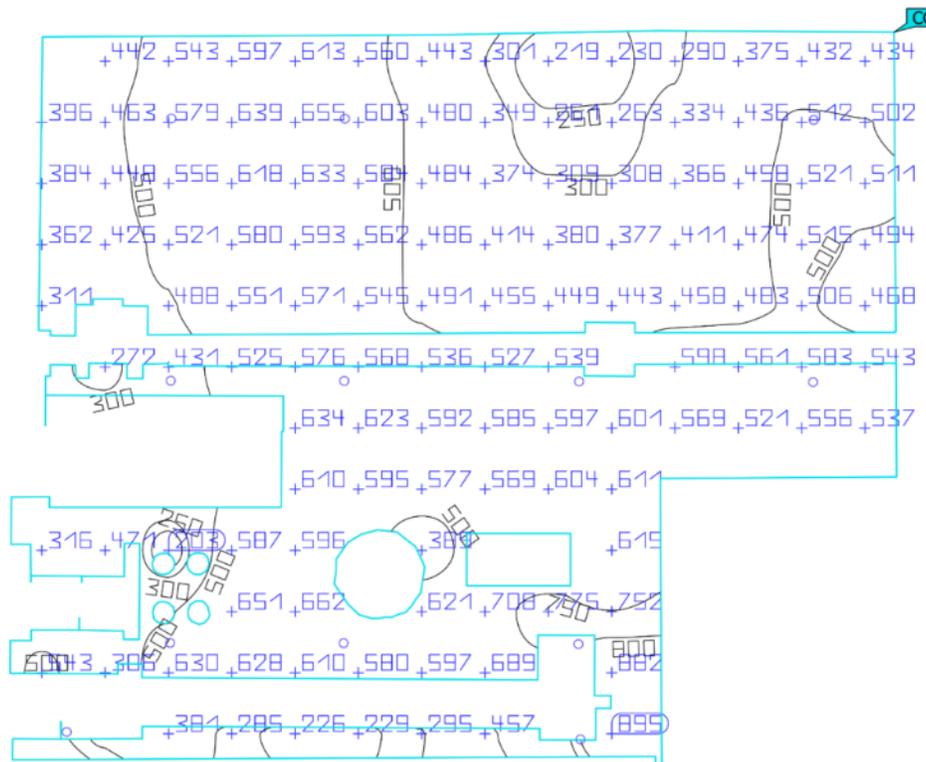


Fig. 47. Distribución de iluminancia en Fase 1 Área General.

En la Fig. 48 se muestra la ubicación en la vista en planta de las luminarias de Fase 1 Área General. En esta zona fue necesario reubicar las luminarias, de forma que se redujera el deslumbramiento como se ve en la siguiente Fig. 48, donde 3 luminarias son de 30400 lm, y las demás son de 38000 lm.

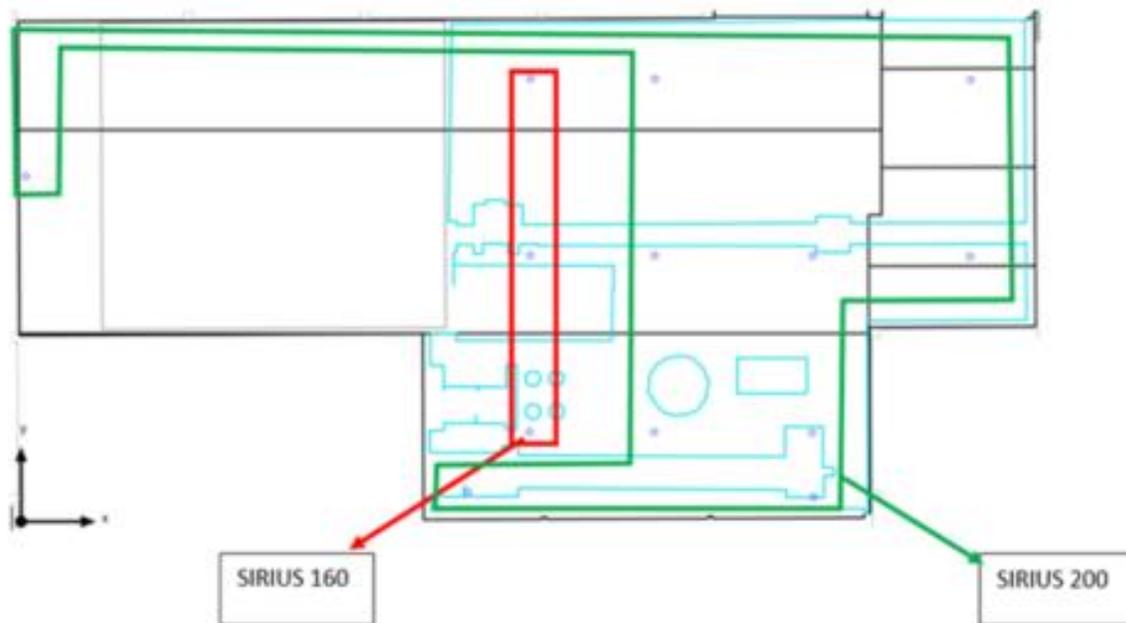


Fig. 48. Ubicación luminarias de 38000 y 30400 lm en Fase 1 Área General.

En la Fig. 49 se mostró una vista 3D de Fase 1 Área General iluminada para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.



Fig. 49. Vista 3D de Fase 1 Área General.

### B.3.4. Mezanine Cocinas Nivel 1

Este Nivel 1 del Mezanine Cocinas se mantuvo con las 9 luminarias herméticas sugeridas por la empresa contratada por el cliente para suministrar las luminarias.

En la Fig. 50 se presentó la distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 1.

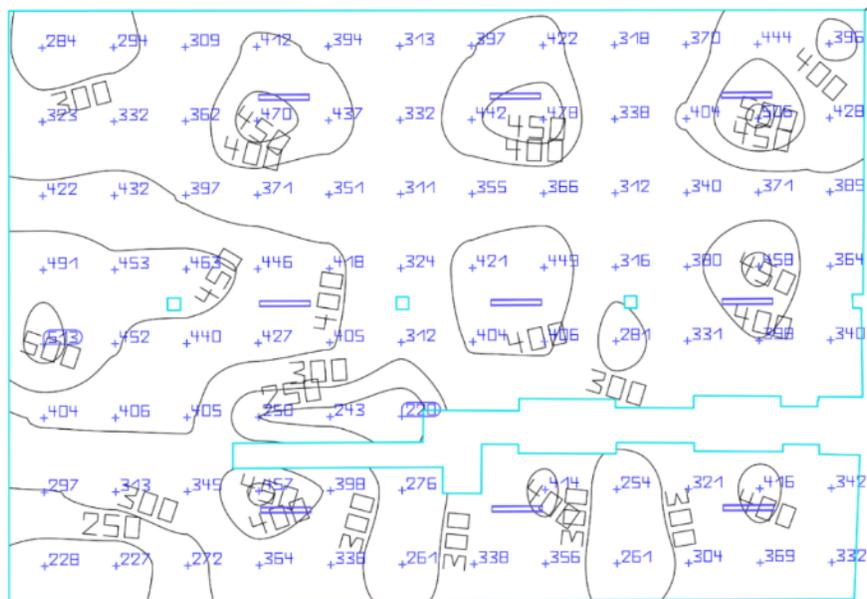


Fig. 50. Distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 1.

En la Fig. 51 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias de Mezanine Cocinas Nivel 1.

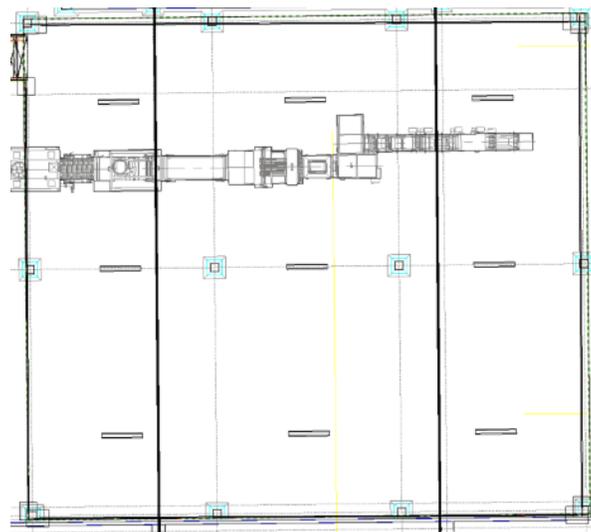


Fig. 51. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine Cocinas Nivel 1.

En la Fig. 52 se muestra una vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 1 iluminado para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.

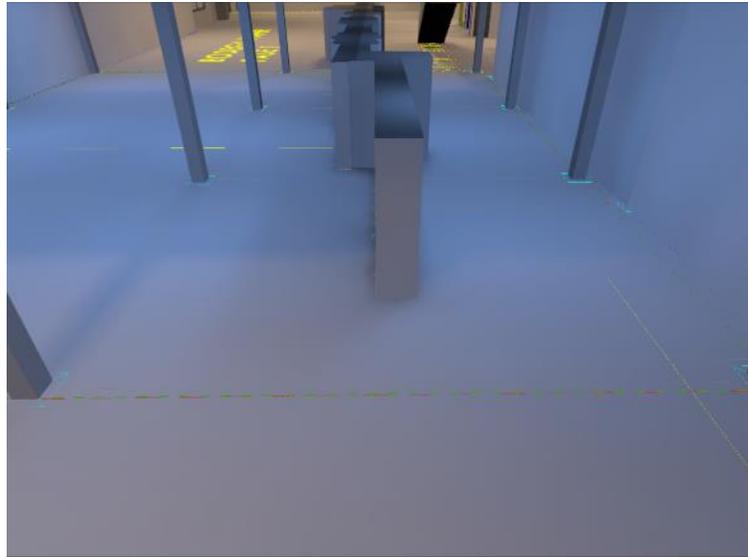


Fig. 52. Vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 1.

Al lado del Nivel 1 del Mezanine Cocinas había una zona de circulación (Fig. 53) que se incluyó dentro del área de cálculo de este espacio.

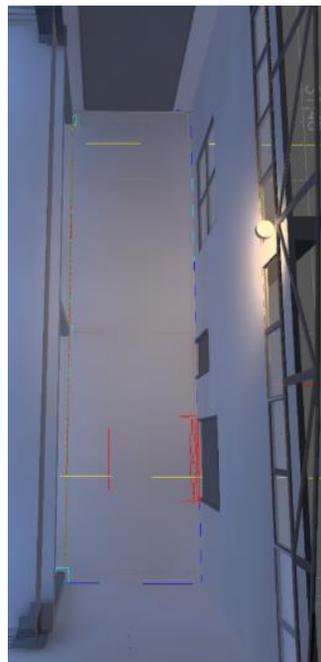


Fig. 53. Vista 3D de zona contigua a Mezanine Cocinas Nivel 1.

*B.3.5. Mezanine Cocinas Nivel 2*

En este Nivel 2 del Mezanine Cocinas fue necesario incluir más luminarias herméticas, pues la iluminancia media estaba dando por debajo de la media requerida por el RETILAP [1].

En la Fig. 54 se presenta la distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 2.

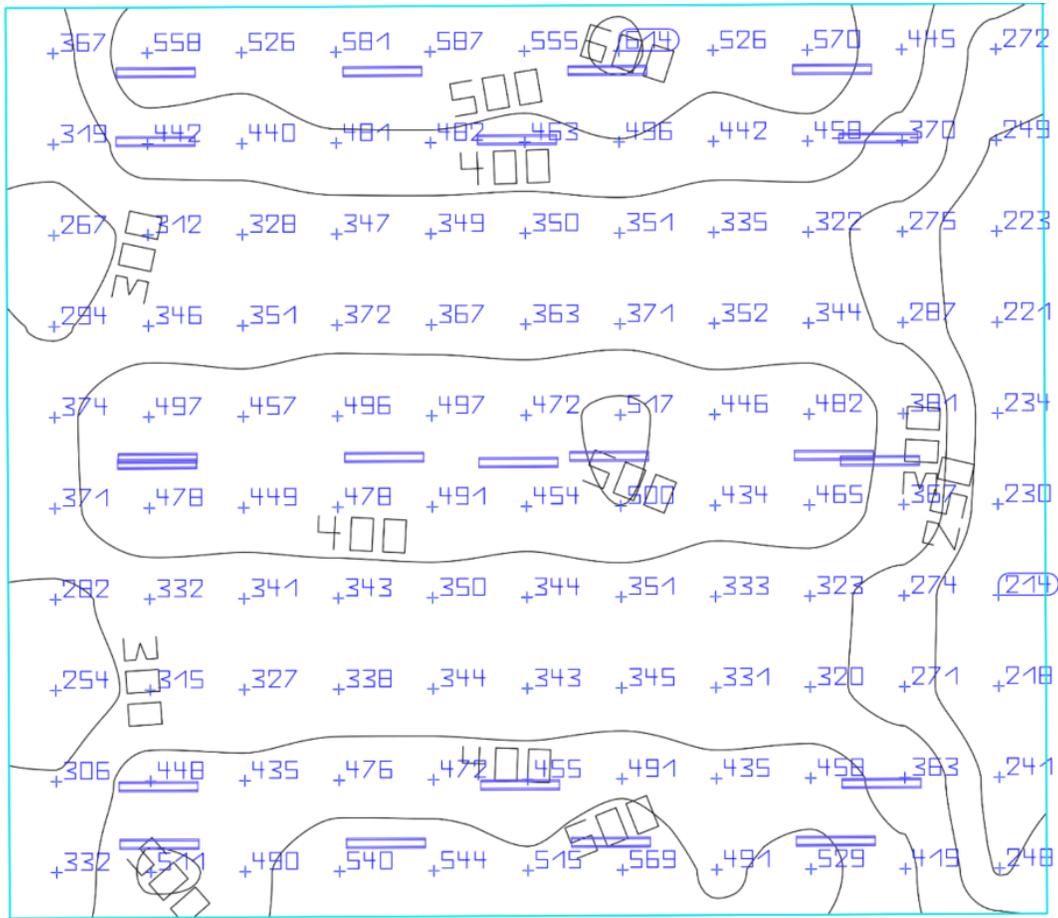


Fig. 54. Distribución de iluminancia en Mezanine Cocinas Nivel 2.

En la Fig. 55 se incluye la ubicación de la vista en planta de las luminarias de Mezanine Cocinas Nivel 2.

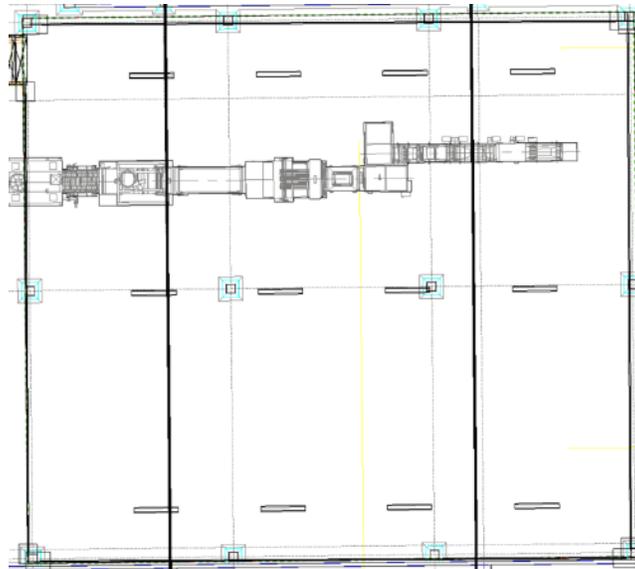


Fig. 55. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine Cocinas Nivel 2.

En la Fig. 56 se ilustra una vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 2 iluminado para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.

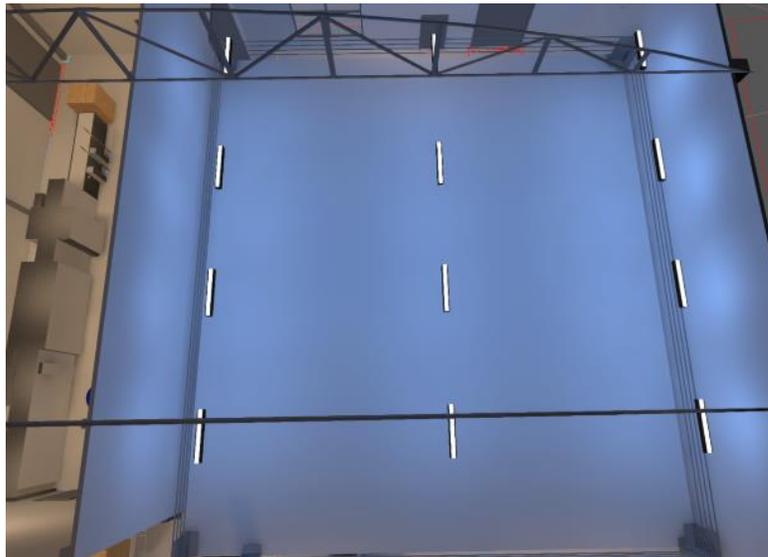


Fig. 56. Vista 3D de Mezanine Cocinas Nivel 2.

En la Fig. 57 se observa la Fase 2 de la nueva planta, donde se pueden apreciar el Mezanine UMAS en la parte inferior de la imagen, toda el Área General de la Fase 2, así como en la parte central izquierda la subestación eléctrica existente, la cual se modelo como un prisma con textura de concreto.

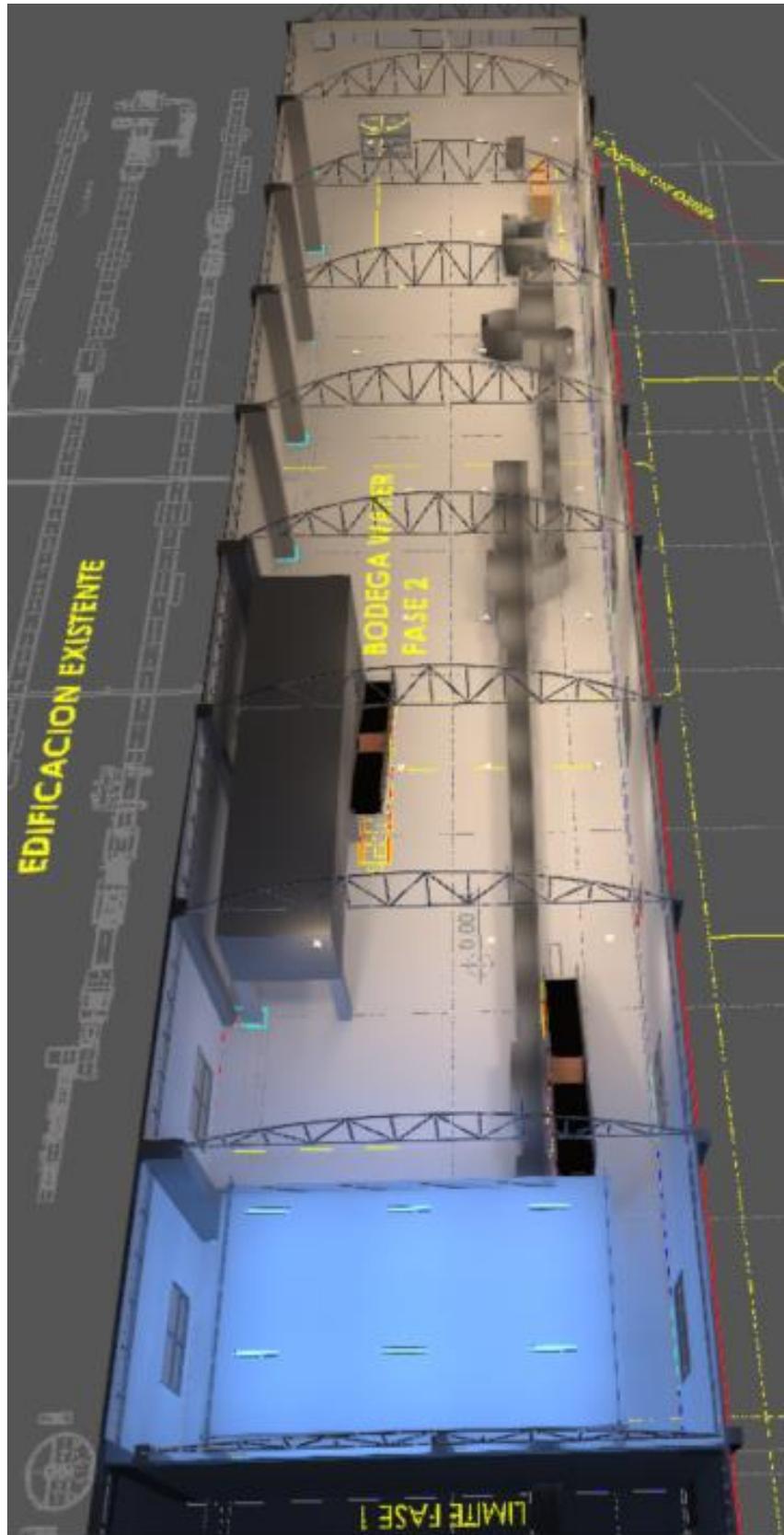


Fig. 57. Vista general Fase 2.

Se observa la línea larga de producción que termina en una zona de empaquetado con unas cajas en la parte superior. En estas 2 figuras se pueden apreciar puertas, ventanas y ventanales que fueron modelados también, ya que estos afectan la reflexión de la luz y para que el modelo fuera lo más cercano posible al diseño encontrado en los planos.

### B.3.6. Fase 2 Área General

En esta zona se estudió usar luminarias campana de 38000 lm y de 30000 lm, pero se encontró que generaban mucho deslumbramiento, y para mitigarlos había que colocar muchas luminarias, pero esto elevaba muy por encima del valor máximo la iluminancia media, por lo que se propuso utilizar luminarias de 19000 lm.

En la Fig. 58 se presentó la distribución de iluminancia en Fase 2 Área General.

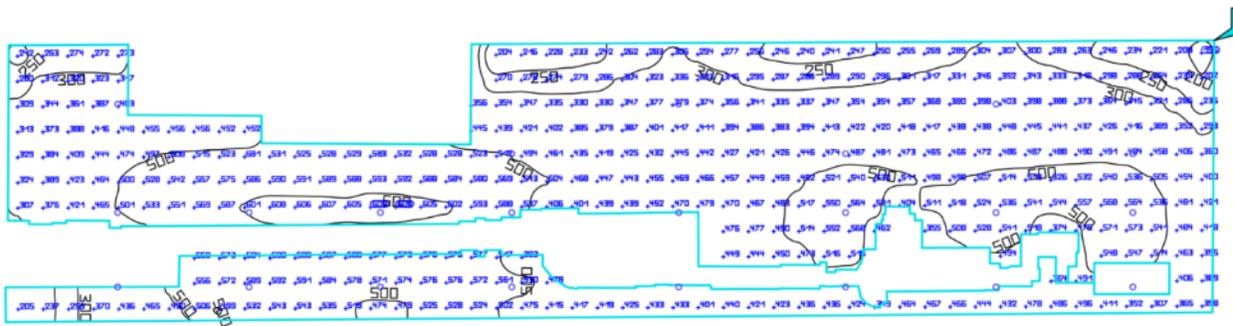


Fig. 58. Distribución de iluminancia en Fase 2 Área General.

En la Fig. 59 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias de Fase 2 Área General.

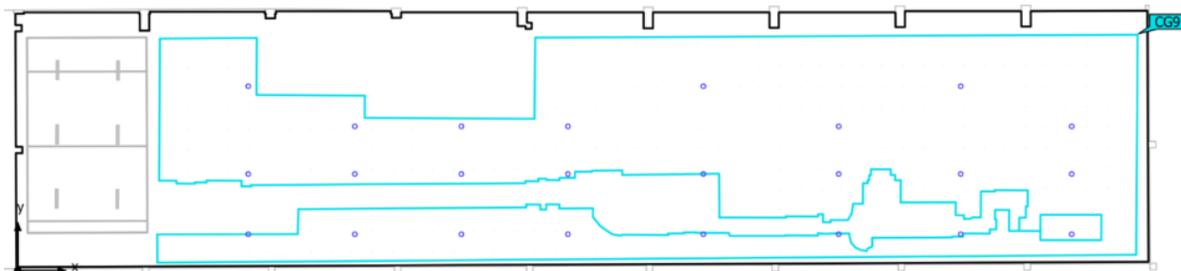


Fig. 59. Ubicación luminarias en Fase 2 Área General.

En la Fig. 60 Se presentan las curvas isolux para reflejar mejor la distribución de la iluminancia en esta zona.

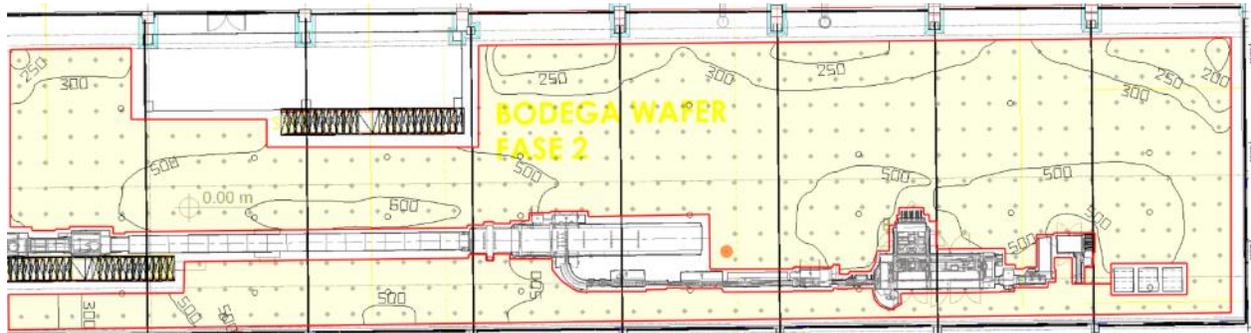


Fig. 60. Curvas isolux en Fase 2 Área General.

En la Fig. 61 se mostró una vista 3D de Fase 2 Área General iluminada para mostrar la apariencia del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.

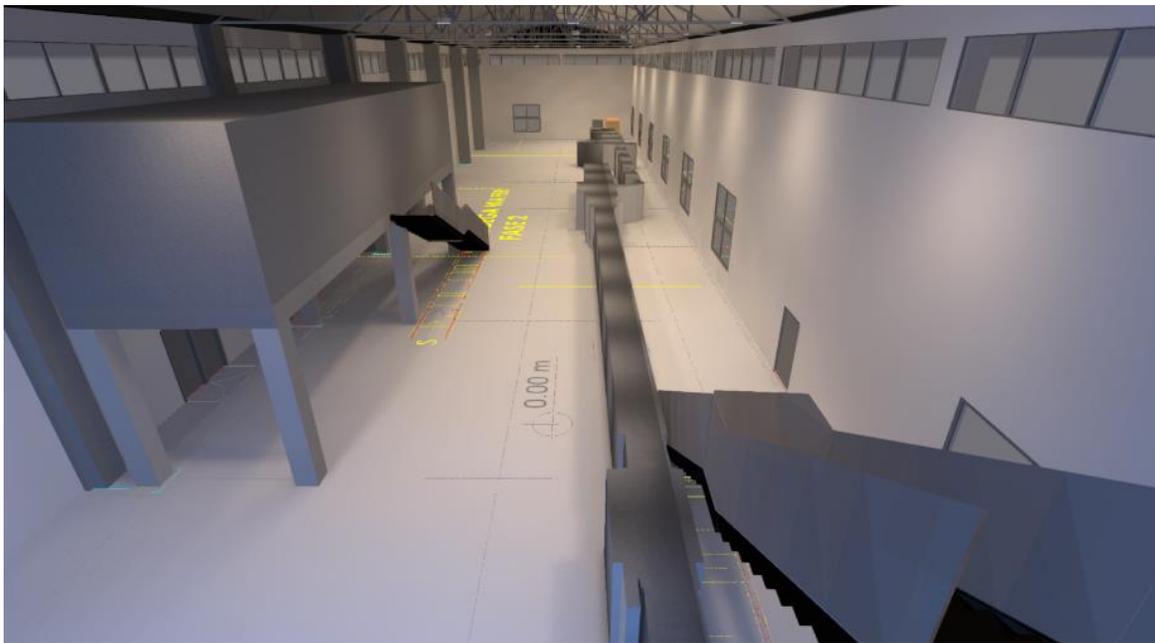


Fig. 61. Vista 3D de Fase 2 Área General.

### B.3.7. Mezanine UMAS Nivel 1

Para este Nivel del Mezanine UMAS se usaron solo 6 luminarias herméticas, con las que se cumplían con los requerimientos exigidos por el RETILAP [1].

En la Fig. 62 se presentó la distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 1.

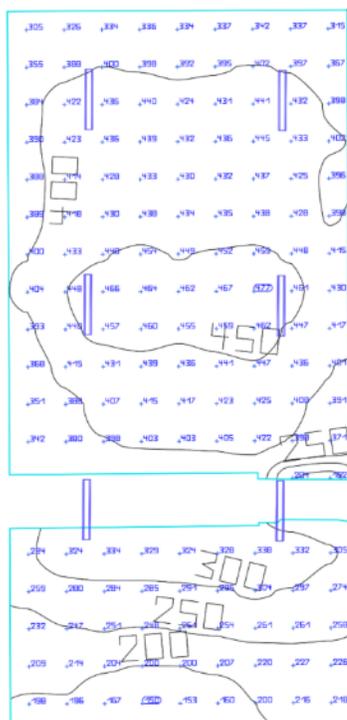


Fig. 62. Distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 1.

En la Fig. 63 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias de Mezanine UMAS Nivel 1.

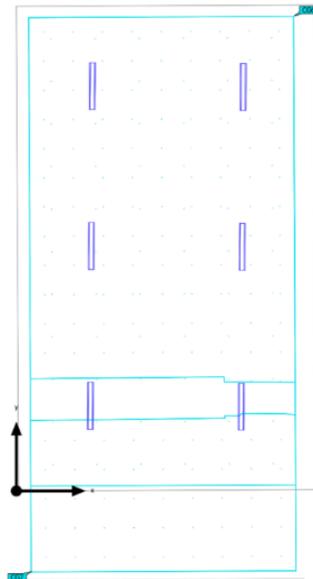


Fig. 63. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine UMAS Nivel 1.

En la Fig. 64 se muestra una vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 1 iluminado para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.

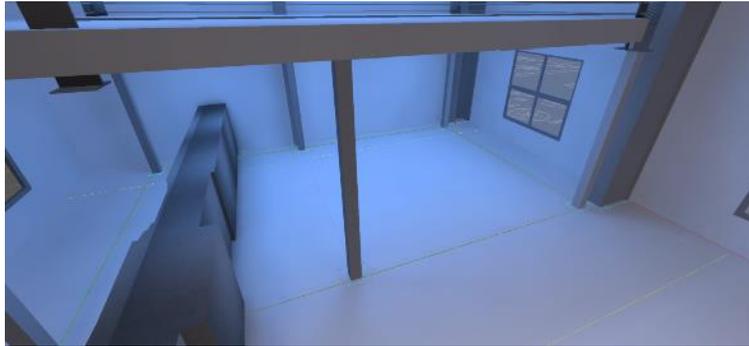


Fig. 64. Vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 1.

### B.3.8. Mezanine UMAS Nivel 2

En este Nivel 2 del Mezanine UMAS se usó el mismo número de luminarias herméticas que en el primer nivel, el nivel de deslumbramiento estaba más asociado a las luminarias de campana en la zona general.

En la Fig. 65 se presentó la distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 2.

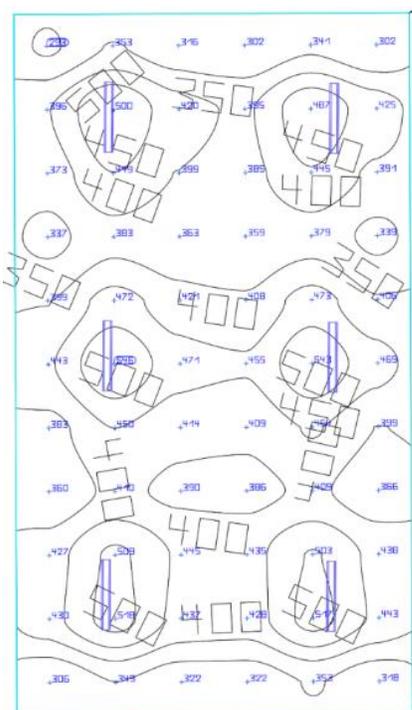


Fig. 65. Distribución de iluminancia en Mezanine UMAS Nivel 2.

En la Fig. 66 se incluyó la ubicación en la vista en planta de las luminarias de Mezanine UMAS Nivel 2.

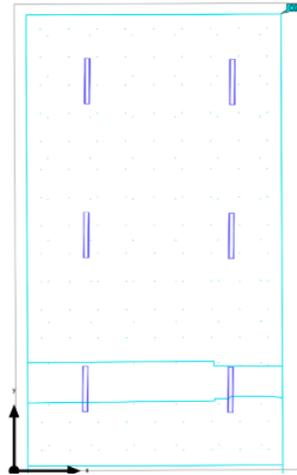


Fig. 66. Ubicación luminarias herméticas lineales en Mezanine UMAS Nivel 2.

En la Fig. 67 se presenta una vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 2 iluminado para dar perspectiva del resultado de la iluminación esperada con el diseño propuesto.

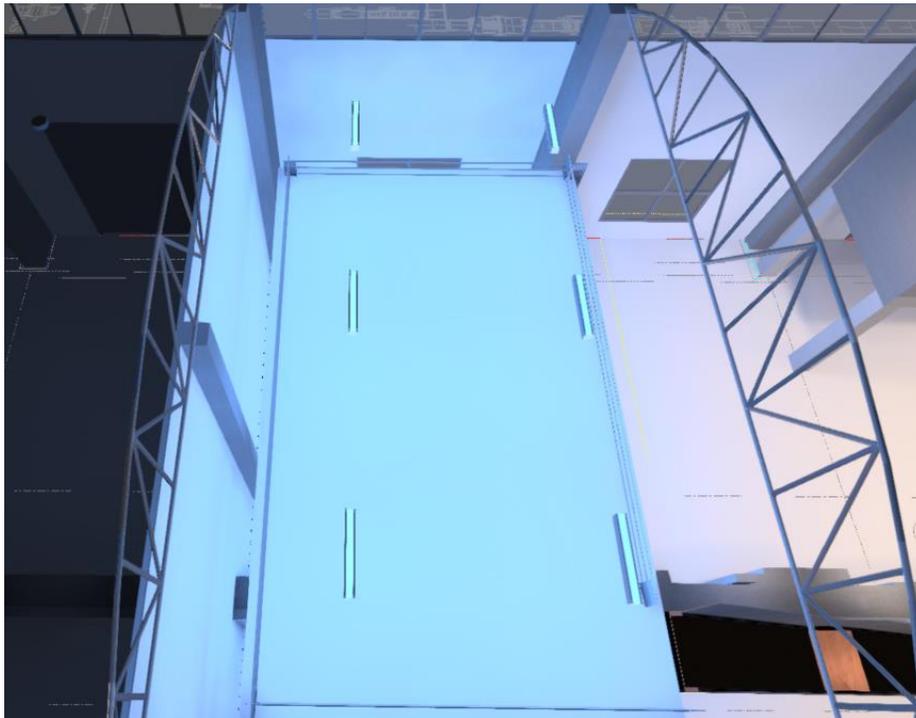


Fig. 67. Vista 3D de Mezanine UMAS Nivel 2.

#### *B.4. Distribución de circuitos y cálculos de regulación de tensión*

Terminada la ubicación de las luminarias, se realizó la distribución de circuitos, asociando luminarias en cada zona buscando que 2 luminarias consecutivas no quedaran asociadas al mismo circuito para que, en caso de mantenimiento o corte de uno de los circuitos, la zona no quede apagada completamente.

Se reportó en la TABLA V si el circuito era monofásico o bifásico, la potencia de cada circuito en vatios, el voltaje nominal, la corriente nominal del circuito, la cual fue calculada con la potencia en VA y con un factor de protección del 25%, la sección del conductor elegido, la corriente nominal del conductor, así como sus correcciones por temperatura y agrupamiento, la resistencia del conductor, longitud del circuito, la regulación de tensión y la protección.

La determinación del número de fases por circuito se hizo con base en la regulación y en el número de interruptores que tendría el tablero, debido a que los circuitos bifásicos tienen 2 interruptores monofásicos enclavados. Por esto se buscó donde fuera posible usar circuitos monofásicos para reducir el tamaño físico del tablero.

Los circuitos bifásicos tenían una menor regulación de tensión, y como la regulación de la acometida del tablero más la de cualquier circuito que saliera, de él no podía sumar más de 3%, se siguieron usando los bifásicos donde la otra configuración daba una regulación más alta.

Los circuitos están divididos por cada fase de la planta, pero todos ellos el cliente determinó que salieran de un solo tablero, cuando anteriormente la idea era colocar un tablero en cada fase. Con esta disposición se presentó una sola tabla resumen donde se especificó a qué fase correspondía cada circuito.

TABLA V  
RESUMEN CIRCUITOS RAMALES TABLERO ILUMINACIÓN FASE 1 Y FASE 2

Cto.	No. Fases	Descripción	Potencia Nominal [W]	Voltaje Nominal [V]	Corriente nominal [A]	Sección del conductor [AWG]	Capacidad en Amperios Conductor			R [ohm/km]	Longitud [m]	Regulación carga nominal [%]	Protección
							Nominal	Corrección por temperatura	Corrección por Agrupamiento				
FASE 1													
1	Bifásico	Cto. 1	560	220	3,54	12	25	25	25	6,6	63	1,34	2x20
2	Bifásico	Cto. 2	600	220	3,79	12	25	25	25	6,6	63	1,43	2x20
3	Monofásico	Cto. 3	520	127	5,69	10	30	30	30	3,9	43	1,50	1x30
4	Monofásico	Cto. 4	600	127	6,56	10	30	30	30	3,9	38	1,53	1x30
5	Bifásico	Cto. 5	600	220	3,79	12	25	25	25	6,6	65	1,48	2x20
6	Bifásico	Cto. 6	600	220	3,79	12	25	25	25	6,6	52	1,18	2x20
Emer.	Monofásico	Cto. Emer. 1	15	127	0,16	12	25	25	25	6,6	103	0,18	1x20
7	Bifásico	Cto. 7	270	220	1,70	12	25	25	25	6,6	111	1,14	2x20
8	Monofásico	Cto. 8	216	127	2,36	10	30	30	30	3,9	106	1,54	1x30
9	Bifásico	Cto. 9	524	220	3,31	12	25	25	25	6,6	74	1,47	2x20
10	Monofásico	Cto. 10	324	127	3,54	10	30	30	30	3,9	70	1,52	1x30
FASE 2													
11	Bifásico	Cto. 11	400	220	2,53	12	25	25	25	6,6	81	1,23	2x20
12	Bifásico	Cto. 12	400	220	2,53	12	25	25	25	6,6	74	1,12	2x20
13	Bifásico	Cto. 13	400	220	2,53	12	25	25	25	6,6	86	1,30	2x20
14	Bifásico	Cto. 14	400	220	2,53	12	25	25	25	6,6	78	1,18	2x20
15	Bifásico	Cto. 15	300	220	1,89	12	25	25	25	6,6	92	1,05	2x20
16	Monofásico	Cto. 16	300	127	3,28	10	30	30	30	3,9	78	1,57	1x30
17	Monofásico	Cto. 17	200	127	2,19	10	30	30	30	3,9	85	1,14	1x30
Emer. 2	Monofásico	Cto. Emer. 2	6	127	0,07	12	25	25	25	6,6	85	0,06	1x20
18	Monofásico	Cto. 18	162	127	1,77	12	25	25	25	6,6	35	0,64	1x20
19	Monofásico	Cto. 19	162	127	1,77	12	25	25	25	6,6	35	0,64	1x20
20	Monofásico	Cto. 20	162	127	1,77	12	25	25	25	6,6	30	0,55	1x20
21	Monofásico	Cto. 21	162	127	1,77	12	25	25	25	6,6	30	0,55	1x20
TOTAL			7883										
TOTAL + 30 % DE RESERVA			10248										

### B.5. Acometida tablero de iluminación

La acometida del tablero se calculó con la suma de las potencias de los circuitos anteriormente expuestos más un 30% de reserva para futuras expansiones. Aquí también se reporta la potencia en vatios, pero la corriente fue calculada con los VA y se aplicó un factor del 25% a la corriente de selección del conductor; se reportan los mismos valores que en la tabla anterior.

La acometida del tablero se consideró con 5 conductores, donde 3 son portadores de corriente, así: 3 fases, neutro y tierra.

TABLA VI  
RESUMEN CIRCUITO DE ACOMETIDA TABLERO ILUMINACIÓN FASE 1 Y FASE 2

Descripción	Potencia Nominal [W]	Voltaje Nominal [V]	Corriente nominal [A]	Sección del conductor [AWG]	Capacidad en Amperios					R [ohm/km]	Longitud [m]	Regulación carga nominal [%]	Protección
					Conductor								
					Nominal	Corrección por temperatura	Corrección por Agrupamiento						
TIDT.	10248	220	37,35	1/0	125	125	125	0,4	110	1,26	3x100		

### B.6. Porcentaje de ocupación de ductos

Para calcular el porcentaje de ocupación de ductos se hicieron 2 tablas auxiliares en Excel. En la TABLA VII se tabularon el número de hilos por circuito, donde siempre serían 3 en este caso en particular, ya que si es monofásico se tendrían fase, neutro y tierra; si fuera bifásico se tendrían 2 fases y tierra. Según el calibre del circuito se obtuvo de tablas el diámetro externo del conductor considerando el aislamiento que era THHN o THWN, y finalmente el área total de los 3 conductores agrupados.

TABLA VII  
CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN POR CALIBRE EN FASES 1 Y 2

# Hilos	AWG o KCML	$\varnothing_{\text{cond}}$ [mm]	$A_{\text{total}}$ [mm <sup>2</sup> ]
3	12	3,36	26,60
3	10	4,21	41,76

La TABLA VIII se utilizó para calcular el porcentaje de ocupación de ductos, teniendo como criterio lo que dice la NTC 2050 [4] para este caso: que el porcentaje de ocupación del ducto no supere el 40% para más de 2 conductores. Se analizó cada caso en las fases de la nueva planta, y se encontró que según el diseño de los planos de iluminación en la Fase 1 se tenían 4 casos: el primero era una tubería por donde solo iba un circuito de calibre 12 AWG. El segundo caso era el

mismo anterior, pero con calibre 10 AWG. Los otros 2 casos se trataban de una tubería con 2 circuitos de calibre 12 AWG, o una tubería con 2 circuitos de calibre 10 AWG. Los casos anteriormente mencionados se encuentran en la TABLA VIII.

En la Fase 2 se tenían 5 casos: los 4 primeros ya mencionados para la Fase 1, y 1 caso adicional, donde se tenía una tubería con 1 circuito de 12 AWG y 2 circuitos de 10 AWG, para un total de 9 conductores.

TABLA VIII  
CÁLCULO DE OCUPACIÓN DE DUCTOS EN FASES 1 Y 2

# Cond.	AWG o KCMIL	$\varnothing_{\text{tub}}$ [mm]	$A_{\text{tub}}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{\text{cond}}$ [mm <sup>2</sup> ]	% Ocupación
FASE 1					
3	12	21	346,36	26,60	7,68%
3	10	21	346,36	41,76	12,06%
6	12	21	346,36	53,20	15,36%
6	10	21	346,36	83,52	24,11%
FASE 2					
3	12	21	346,36	26,60	7,68%
3	10	21	346,36	41,76	12,06%
6	12	21	346,36	53,20	15,36%
6	10	21	346,36	83,52	24,11%
9	12 + 2x10	21	346,36	110,12	31,79%

### B.7. Cantidad de conductores por color

Por RETIE [3] se tiene un código de colores para los conductores con sección menor a 1/0 AWG. Para las fases se tienen los colores amarillo, azul y rojo, para el neutro el color blanco y para la tierra el color verde. Para determinar la cantidad de metros de cable por cada color se hizo la TABLA IX, en la cual se recogieron los circuitos de cada fase, se extrajo la información relevante de cada uno de ellos, es decir, si son monofásicos, la longitud del circuito y el calibre.

Con la información anterior mediante fórmulas en Excel se determinaba que colores se usaban en cada circuito. Se eligieron para las 2 fases de los circuitos bifásicos el amarillo y el azul, y para los circuitos monofásicos el amarillo. Para los bifásicos solo se añadía la tierra de color verde, y para los monofásicos se añadía además el conductor de color blanco para el neutro.

Mediante fórmulas se automatizaba el cálculo de conductores por color, el cual en la empresa anteriormente se hacía de manera más manual.

TABLA IX  
CANTIDAD DE CONDUCTORES POR COLOR DE FASE 1 Y FASE 2

				FASES				NEUTRO		TIERRA	
		L [m]	Calibre	Amarillo [m]		Azul [m]		Blanco [m]		Verde [m]	
				12 AWG	10 AWG	12 AWG	10 AWG	12 AWG	10 AWG	12 AWG	10 AWG
FASE 1											
Cto. 1	Bifásico	63	12 AWG	63	-	63	-	-	-	63	-
Cto. 2	Bifásico	63	12 AWG	63	-	63	-	-	-	63	-
Cto. 3	Monofásico	37	10 AWG	-	37	-	-	-	37	-	37
Cto. 4	Monofásico	38	10 AWG	-	38	-	-	-	38	-	38
Cto. 5	Bifásico	65	12 AWG	65	-	65	-	-	-	65	-
Cto. 6	Bifásico	52	12 AWG	52	-	52	-	-	-	52	-
Cto. Emer. 1	Monofásico	103	12 AWG	103	-	-	-	103	-	103	-
Cto. 7	Bifásico	111	12 AWG	111	-	111	-	-	-	111	-
Cto. 8	Monofásico	106	10 AWG	-	106	-	-	-	106	-	106
Cto. 9	Bifásico	74	12 AWG	74	-	74	-	-	-	74	-
Cto. 10	Monofásico	70	10 AWG	-	70	-	-	-	70	-	70
TOTAL 1				531	251	428	-	103	251	531	251
FASE 2											
Cto. 11	Bifásico	81	12 AWG	81	-	81	-	-	-	81	-
Cto. 12	Bifásico	74	12 AWG	74	-	74	-	-	-	74	-
Cto. 13	Bifásico	86	12 AWG	86	-	86	-	-	-	86	-
Cto. 14	Bifásico	78	12 AWG	78	-	78	-	-	-	78	-
Cto. 15	Bifásico	92	12 AWG	92	-	92	-	-	-	92	-
Cto. 16	Monofásico	78	10 AWG	-	78	-	-	-	78	-	78
Cto. 17	Monofásico	85	10 AWG	-	85	-	-	-	85	-	85
Cto. Emer. 2	Monofásico	85	12 AWG	85	-	-	-	85	-	85	-
Cto. 18	Monofásico	35	12 AWG	35	-	-	-	35	-	35	-
Cto. 19	Monofásico	35	12 AWG	35	-	-	-	35	-	35	-
Cto. 20	Monofásico	30	12 AWG	30	-	-	-	30	-	30	-
Cto. 21	Monofásico	30	12 AWG	30	-	-	-	30	-	30	-
TOTAL 2				626	163	411	-	215	163	626	163

### *C. Diseño de iluminación interior de instalación industrial de productos químicos*

En este proyecto se necesitaba hacer el diseño de iluminación interior de un cuarto de etiquetas y una zona de tanques para una ampliación de una planta de producción de productos químicos como insecticidas. El cuarto de etiquetas era un lugar de almacenaje y la zona de tanques constaba de unas áreas clasificadas y unas plataformas con motores y otros equipos. En la Fig. 68 se enseña una vista 3D del cuarto de etiquetas. Se pueden apreciar 4 estanterías en azul donde se realiza el almacenaje y las 4 luminarias usadas para su iluminación.

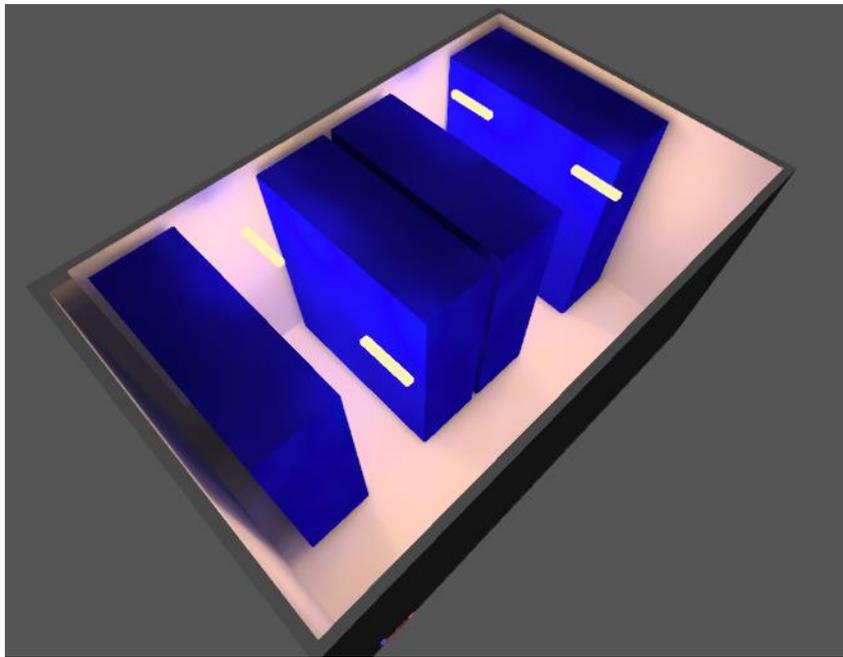


Fig. 68. Vista 3D de Cuarto de etiquetas.

En la Fig. 69 se muestra la zona de tanques, específicamente la parte de las plataformas. Se observa en la parte inferior la zona de pesaje, en la parte que queda al lado de la primera plataforma la zona de válvulas y las 2 plataformas, donde el piso se nombró Nivel 1, la primera plataforma Nivel 2 y la segunda plataforma Nivel 3.

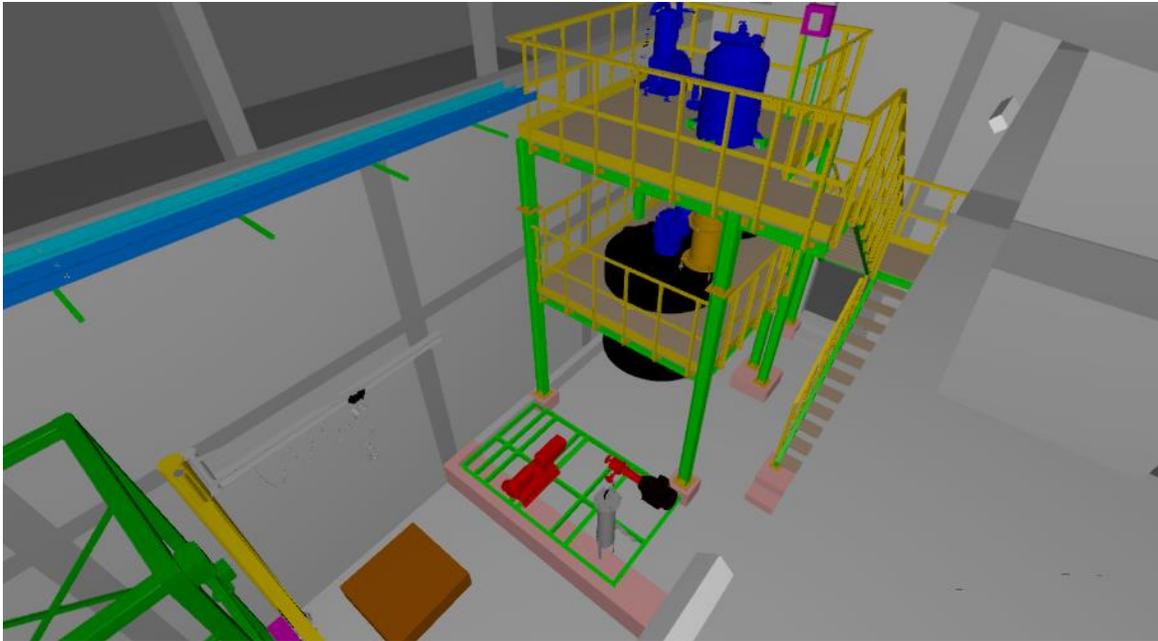


Fig. 69. Vista de las plataformas zona de tanques.

En la Fig. 70 se aprecia la tolva vista desde el Nivel 3, es decir, desde la segunda plataforma.

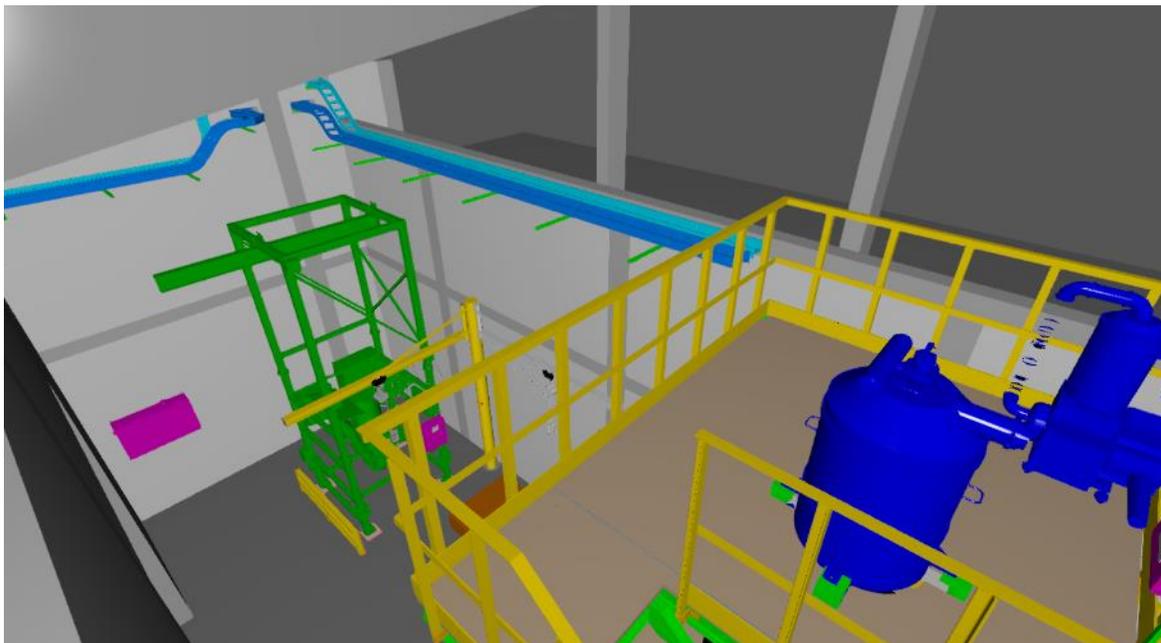


Fig. 70. Vista de la tolva desde el Nivel 3 en zona de tanques.

En este proyecto hubo distintas situaciones a lo largo de su desarrollo en la zona de tanques específicamente. Inicialmente no se tenía conocimiento de que ya existía un diseño de iluminación previo realizado por una empresa contratada por el cliente. Al desconocer esta información se

procedió a realizar un estudio de iluminación, debido a que se notó que por el diseño de la zona de tanques se producía deslumbramiento muy alto y, en consecuencia, se probaron distintas luminarias para estudiar su efecto en la disminución de este parámetro. Entre las luminarias probadas se encontraban luminarias highbay o campana para áreas clasificadas, luminarias lineales y reflectores.

A lo largo de este estudio de iluminación se probaron las mismas luminarias que había en el diseño realizado por la otra empresa, y se encontró que estas eran las que generaban el deslumbramiento, y en consecuencia se buscaron otras alternativas para reducir el UGR ya que estaba muy por encima del valor máximo permitido, el cual estaba en 25 UGR, y los resultados estaban por encima de 30 UGR.

En consecuencia, se usaron luminarias genéricas con unas especificaciones especiales que en el capítulo de análisis se detallarán más a fondo. Una vez mostrada esta propuesta a los ingenieros se tuvo conocimiento del anterior diseño y se pudo tener acceso a este, en el que se constató que se habían usado luminarias highbay o de campana para áreas clasificadas como las que se habían probado en el estudio mencionado anteriormente y luminarias lineales para áreas clasificadas; que no se había hecho reporte de nivel de deslumbramiento en la zona, y las áreas de cálculo definidas eran demasiado pequeñas, además de que el modelo en DIALux se hizo con un plano 3D antiguo de la planta, y por ende en ese momento ya estaba desactualizado. En ese diseño también se habían seleccionado luminarias de emergencia para áreas clasificadas.

También se informó que las luminarias propuestas en ese diseño hecho por la otra empresa ya se habían comprado, por lo que era necesario según la información que se tenía hasta ese momento realizar un nuevo diseño con las luminarias ya adquiridas y si era necesario proponer la adición de nuevas luminarias de las mismas referencias. Por lo que se añadieron solamente reflectores sobre el Nivel 3, y una luminaria de emergencia tipo Mickey mouse para áreas clasificadas y se dejaron las demás luminarias del diseño anterior.

Una de las soluciones que se propuso fue girar 30° las luminarias highbay con respecto a la horizontal, de esa manera apuntaban en dirección opuesta a las plataformas y no generaban tanto

deslumbramiento allí, y adicionalmente se dimerizaron al 70%. Esta propuesta no fue aceptada, debido a que el encargado del proyecto por parte del cliente decidió no usar esas luminarias highbay ya adquiridas y que se escogieran luminarias convencionales. Por lo que se reemplazaron las luminarias de campana por luminarias campana normales y se dejaron los reflectores para áreas clasificadas ya que estaban muy cerca de la plataforma y era posible que en el futuro esa zona fuera se definiera así.

### *C.1. Requerimientos lumínicos*

Se dividió la planta en 7 zonas y, en diálogo con los ingenieros encargados, se definieron según lo que dice el RETILAP [1] para plantas de producción de procesos químicos. De esa manera se determinó que se tomarían 3 tipos de actividades según la Tabla 410.1 de dicho Reglamento: para el cuarto de etiquetas se seleccionó de bodega o almacenaje; para la zona de tanques fueron áreas generales en el interior de fábricas con procesos químicos y plantas de producción que requieren intervención ocasional.

El criterio de área general al interior de fábricas con procesos químicos se usó para las zonas de la planta donde había tableros de control o donde los operarios necesitaban estar tiempos prolongados revisando las válvulas o equipos. El de planta de producción que requiere intervención ocasional se utilizó en aquellos lugares donde según la información dada por el ingeniero encargado el operario no debía estar muy seguido en la zona, solo de vez en cuando operando las válvulas o alguna inspección.

En la TABLA X se presentan los requerimientos lumínicos para cada uno de los espacios escogidos para evaluar en el diseño.

TABLA X  
REQUERIMIENTOS LUMÍNICOS PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Ítem	Recinto	Actividad	UGR <sub>i</sub>	Niveles de iluminancia [lx]		
				E <sub>min</sub>	E <sub>m</sub>	E <sub>max</sub>
1	Cuarto de etiquetas	Bodega, almacenaje	25	100	150	200
2	General nivel 1	Áreas generales en el interior de fábricas con procesos químicos	25	200	300	500
3	Pesaje y tableros	Áreas generales en el interior de fábricas con procesos químicos	25	200	300	500
4	Válvulas nivel 1	Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	200
5	Nivel 1	Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	200
6	Nivel 2	Áreas generales en el interior de fábricas con procesos químicos	25	200	300	500
7	Nivel 3	Áreas generales en el interior de fábricas con procesos químicos	25	200	300	500

### C.2. Resultados numéricos

En la TABLA XI se muestran los resultados numéricos arrojados por el DIALux Evo para cada uno de los espacios estudiados.

TABLA XI  
RESULTADOS NUMÉRICOS PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Ítem	Recinto	Altura de medición [m]	UGR	Iluminancia [lx]			Uniformidad		Cumple UGR		Cumple iluminancia media			
				E <sub>m</sub> [lx]	E <sub>min</sub> [lx]	E <sub>max</sub> [lx]	E <sub>min</sub> / E <sub>m</sub>	≥0.4	Si	No	Si	No	No >E <sub>máx</sub>	Si
1	Cuarto de etiquetas	1	19.8	173	102	218	0.59	X	X			X		
2	General nivel 1	1	23.6	478	312	590	0.65	X	X			X		
3	Pesaje y tableros	1	21.9	362	228	572	0.63	X	X			X		
4	Válvulas nivel 1	1	24.2	176	98.4	286	0.56	X	X			X		
5	Nivel 1	1	22.5	188	114	247	0.61	X	X			X		
6	Nivel 2	1	24.1	255	128	405	0.50	X	X			X		
7	Nivel 3	1	24.9	358	187	691	0.52	X	X			X		

### C.3. Resultados gráficos

### C.3.1. Cuarto de etiquetas

En el cuarto de etiquetas inicialmente se habían usado solo 2 luminarias en los pasillos, pero como era necesario verificar la uniformidad se eligió utilizar 4 luminarias lineales para de esa forma iluminar tanto los pasillos como la entrada, ya que los estantes generaban zonas oscuras al bloquear la luz.

En la Fig. 71 se presenta la distribución de la iluminancia en el cuarto de etiquetas.

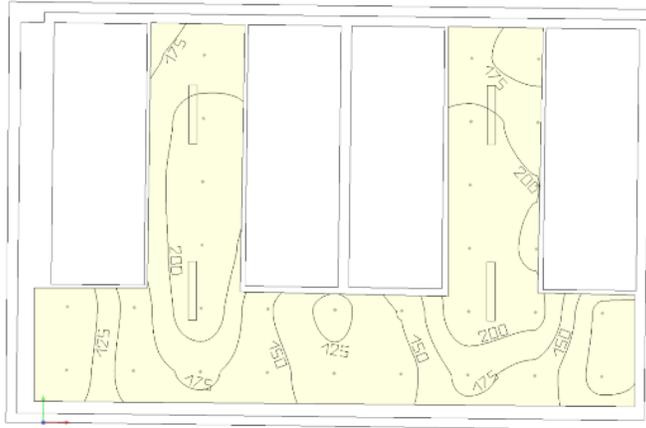


Fig. 71. Distribución de iluminancia en cuarto de etiquetas.

En la Fig. 72 se muestra una vista 3D con el área de cálculo en el cuarto de etiquetas.

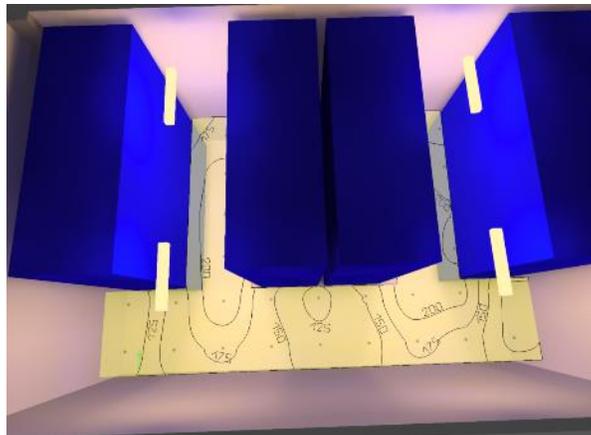


Fig. 72. Vista 3D con área de cálculo en cuarto de etiquetas.

En la Fig. 73 se muestra la vista 3D del cuarto de etiquetas.



Fig. 73. Vista 3D de cuarto de etiquetas.

### C.3.2. General nivel 1

En esta zona se generaba mucho deslumbramiento por las situaciones anteriormente descritas. La solución final fue usar 2 luminarias highbay que no eran para áreas clasificadas, las cuales se ubicaron donde no generaran tanto deslumbramiento, y además se dimerizaron al 80%, ya que si se dejaban con todo el flujo el deslumbramiento superaba los valores máximos.

En la Fig. 74 se presenta la distribución de la iluminancia en General nivel 1.

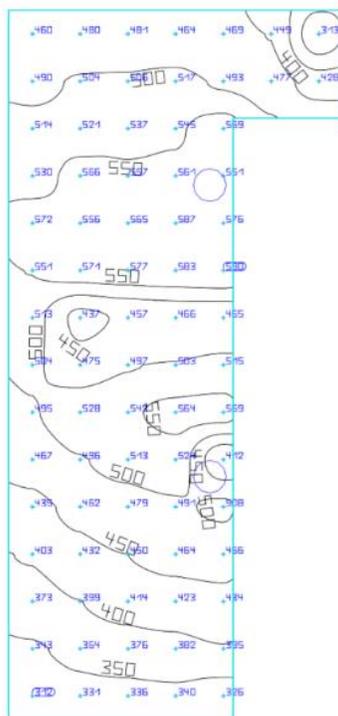


Fig. 74. Distribución de iluminancia en General nivel 1.

En la Fig. 75 se muestra la ubicación de las luminarias highbay usadas en la zona General nivel 1.

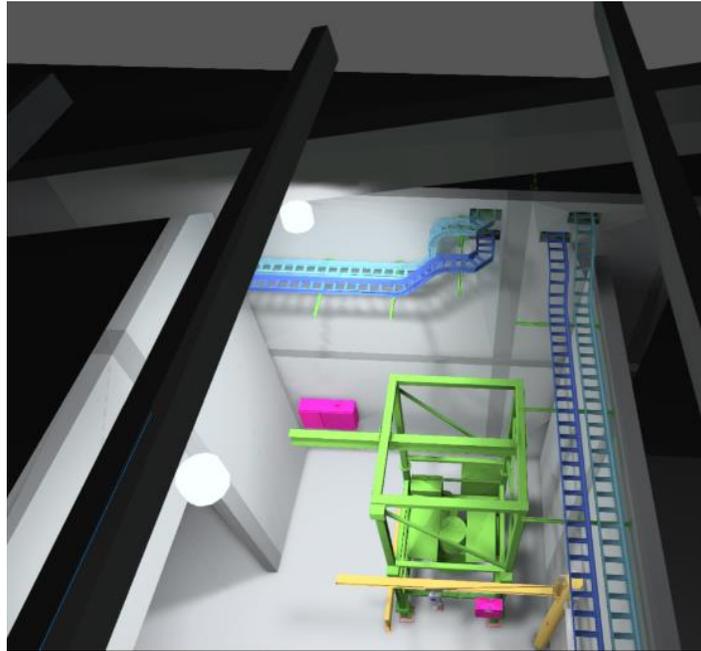


Fig. 75. Ubicación luminarias highbay en zona General nivel 1.

En la Fig. 76 se presenta una vista 3D de la zona General Nivel 1 iluminada con el diseño final de iluminación.

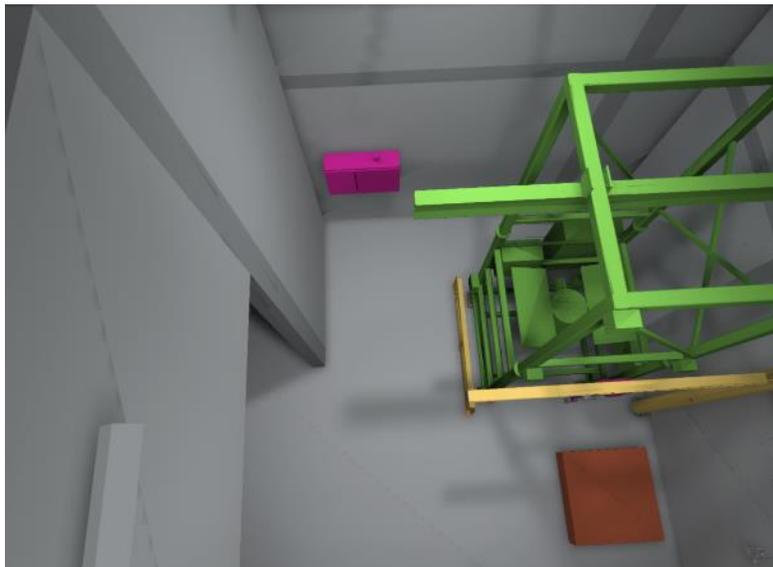


Fig. 76. Vista 3D de General nivel 1.

### C.3.3. Zona de pesaje y tableros

En esta zona se había colocado un reflector para aumentar la iluminancia media en la zona, pero, luego de la inclusión de las nuevas highbay, no fue necesario ya que se alcanzaban valores aceptables con esas 2 highbay.

En la Fig. 77 se presenta la distribución de la iluminancia en Zona de pesaje y tableros.

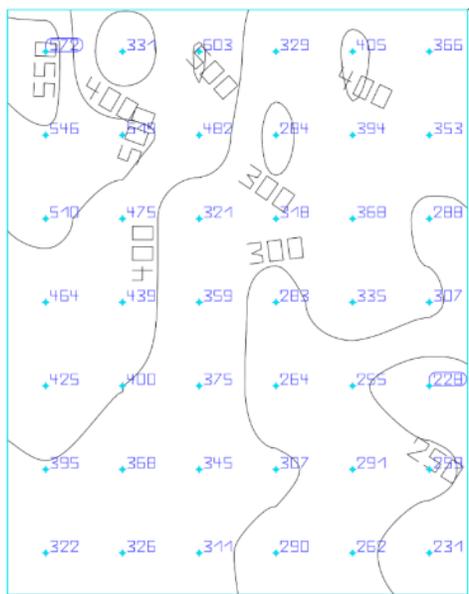


Fig. 77. Distribución de iluminancia en Zona de pesaje y tableros.

En la Fig. 78 se muestra la ubicación de la Zona de pesaje y tableros.



Fig. 78. Ubicación Zona de pesaje y tableros.

En la Fig. 79 se presenta una vista 3D de Zona de pesaje y tableros iluminada con el diseño final de iluminación.

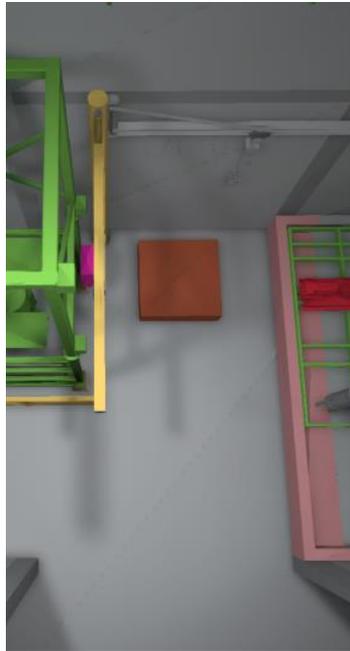


Fig. 79. Vista 3D de Zona de pesaje y tableros.

#### C.3.4. Nivel 1

En la Fig. 80 se presenta la distribución de la iluminancia en Nivel 1.

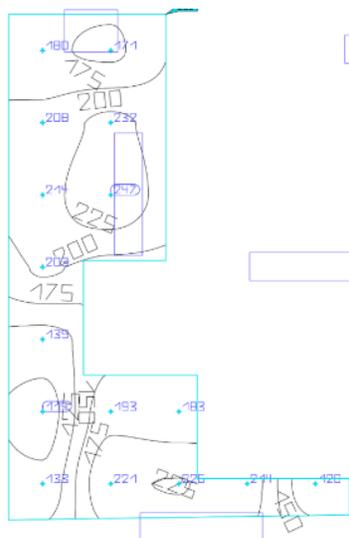


Fig. 80. Distribución de iluminancia en Nivel 1.

En la Fig. 81 se presenta una vista 3D de Nivel 1 iluminado con el diseño final de iluminación.

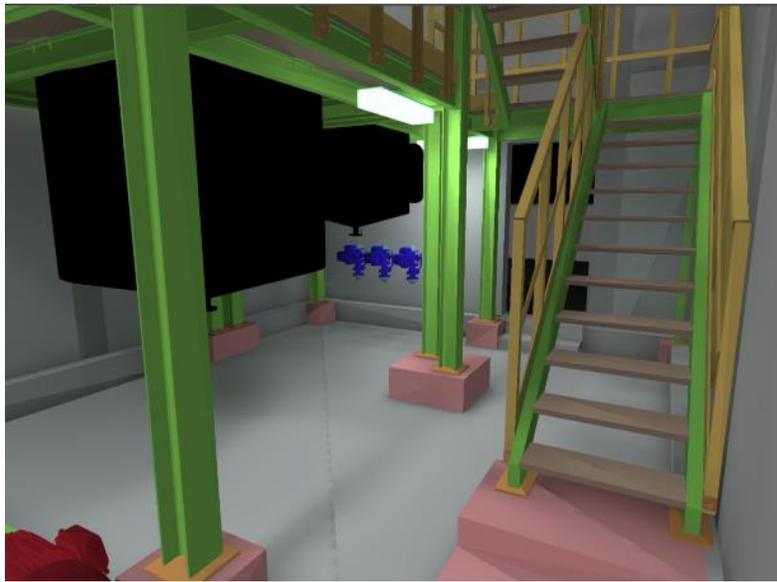


Fig. 81. Vista 3D de Nivel 1.

### C.3.5. Nivel 2

En la Fig. 82 se presenta la distribución de la iluminancia en Nivel 2.

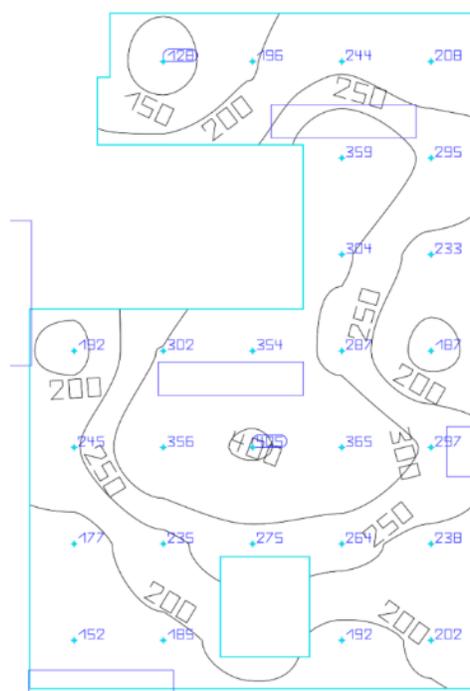


Fig. 82. Distribución de iluminancia en Nivel 2.

En la Fig. 83 se muestra una vista 3D del Nivel 2.

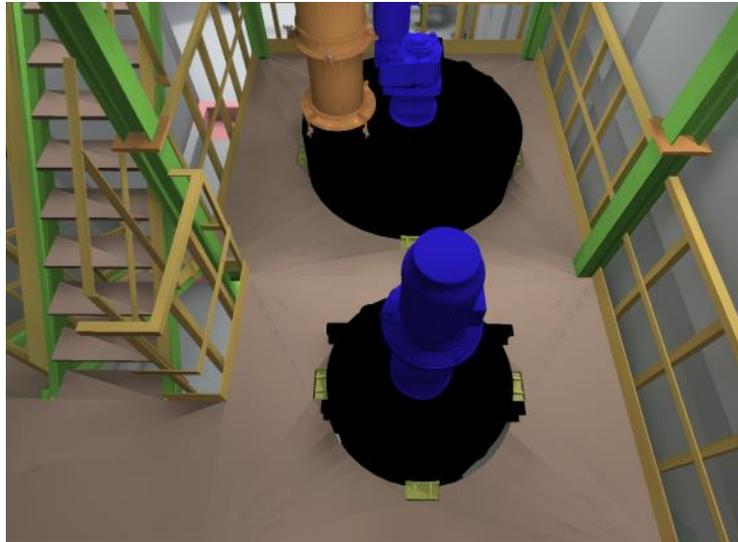


Fig. 83. Vista 3D del Nivel 2.

En la Fig. 84 se presenta la ubicación de las luminarias en el Nivel 2.

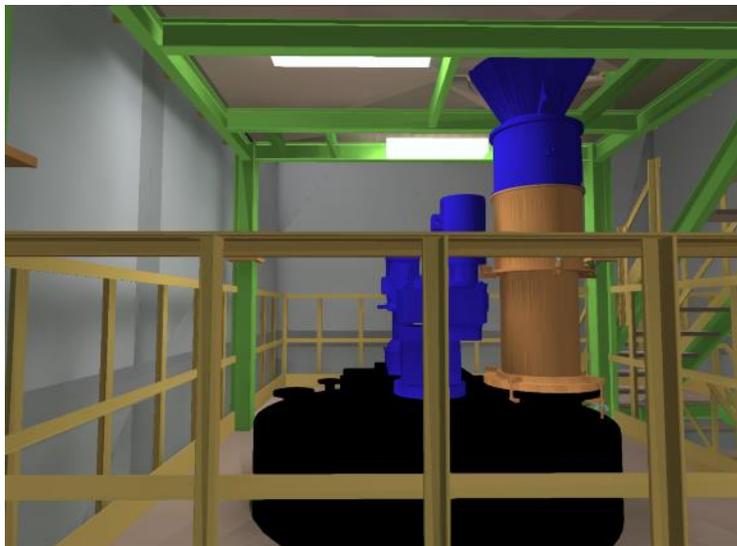


Fig. 84. Ubicación luminarias Nivel 2.

### C.3.6. Nivel 3

En la Fig. 85 se presenta la distribución de la iluminancia en Nivel 3.

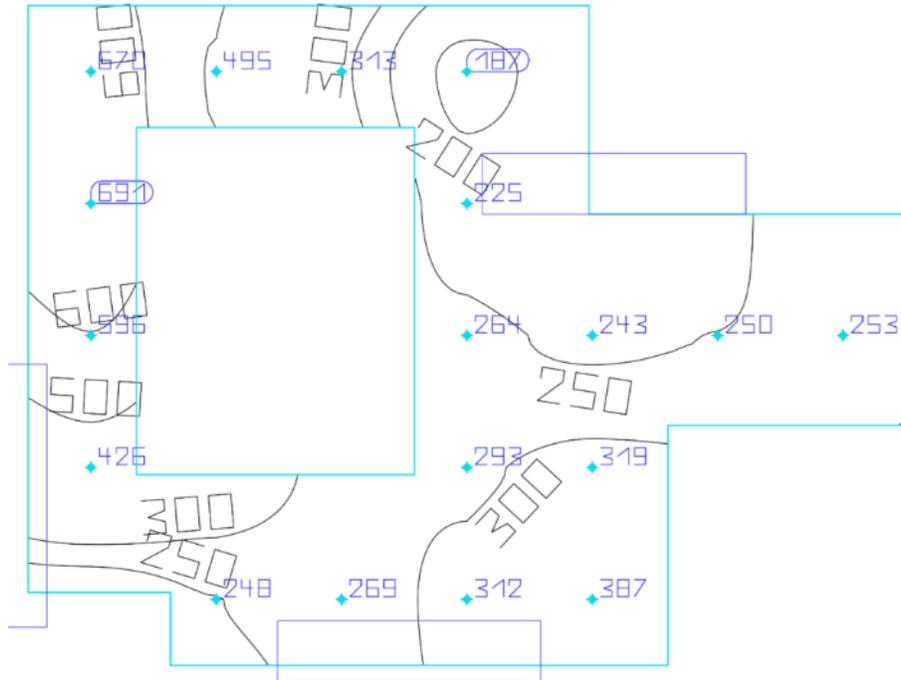


Fig. 85. Distribución de iluminancia en Nivel 3.

En la Fig. 86 se muestra una vista 3D del Nivel 3.

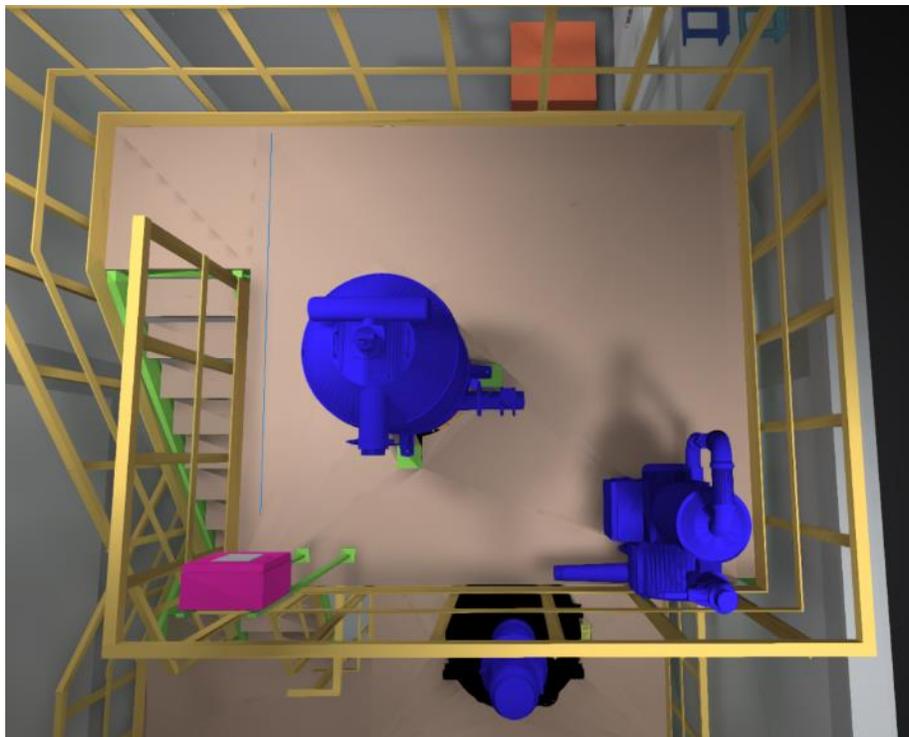


Fig. 86. Vista 3D del Nivel 3.

En la Fig. 87 se presenta la ubicación de las luminarias en el Nivel 3.

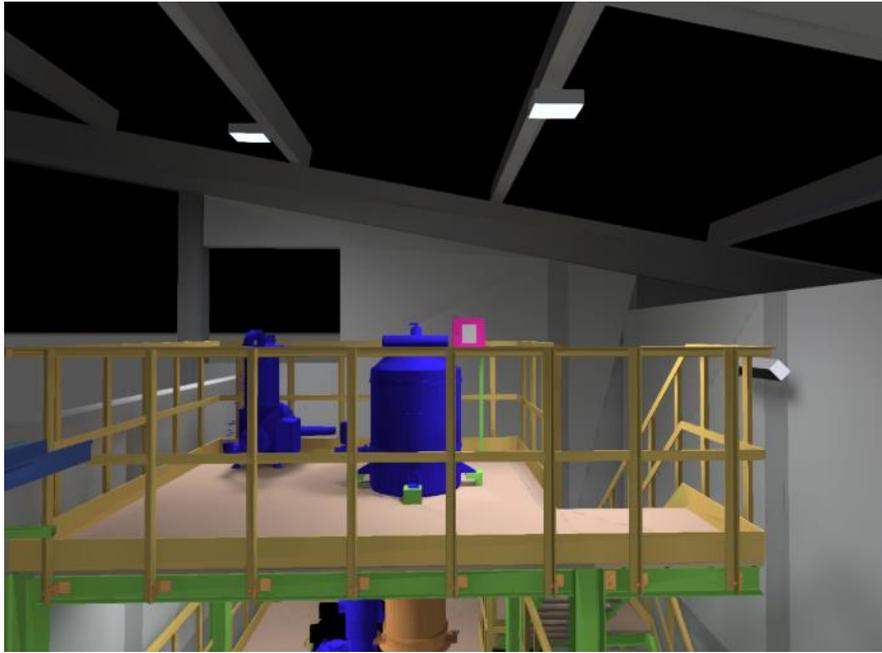


Fig. 87. Ubicación luminarias Nivel 3.

#### *C.4. Iluminación de emergencia*

En este proyecto el cliente había adquirido 2 luminarias de emergencia lineales para áreas clasificadas. Con estas luminarias se simuló una escena de luz de emergencia en la zona de tanques, donde se buscó iluminar las escaleras y la zona contigua a la entrada principal. Se dispuso también una luminaria de emergencia tipo Mickey mouse en la puerta trasera, la cual se especificó para áreas clasificadas.

Debido a que no se tenía un archivo fotométrico para simular la luminaria tipo Mickey mouse, esta se ubicó en los planos, pero no se simuló.

##### *C.4.1. Requerimientos lumínicos*

El criterio usado fue de acuerdo a lo estipulado en la sección 470.2 del RETILAP [1] para iluminación de emergencia, en donde se definen los valores mínimos de iluminación a lo largo de una ruta de evacuación, según el cual a lo largo del eje central de la vía que no exceda los 2 metros

de ancho, la iluminación debe ser mayor a 1 lx en la línea central, y 0.5 lx a lo largo de la banda central que comprende al menos la mitad del ancho de la vía. Los valores son medidos a nivel de piso, por lo que se usaron los resultados de colores falsos de DIALux Evo, con los cuales se puede observar la iluminancia en lx que hay en las superficies.

#### C.4.2. Resultados gráficos

En la Fig. 88 se presentan los resultados de colores falsos sobre las escaleras, las cuales eran una ruta que necesitaba tener buena iluminación en caso de emergencia.

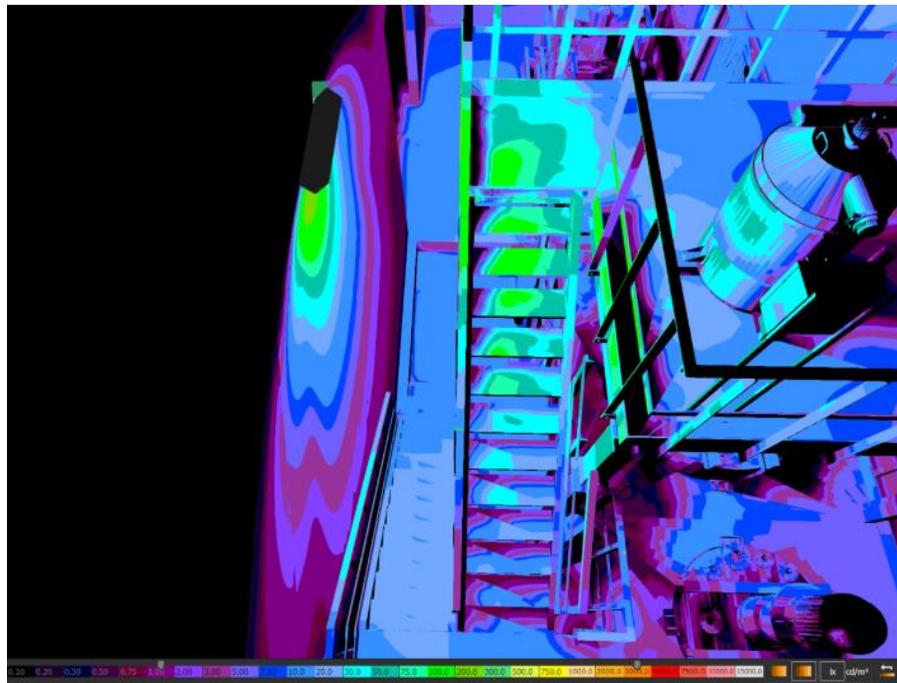


Fig. 88. Colores falsos en escaleras zona de tanques.

En la siguiente Fig. 89 se presenta la distribución de iluminancia en la zona contigua a la salida principal.

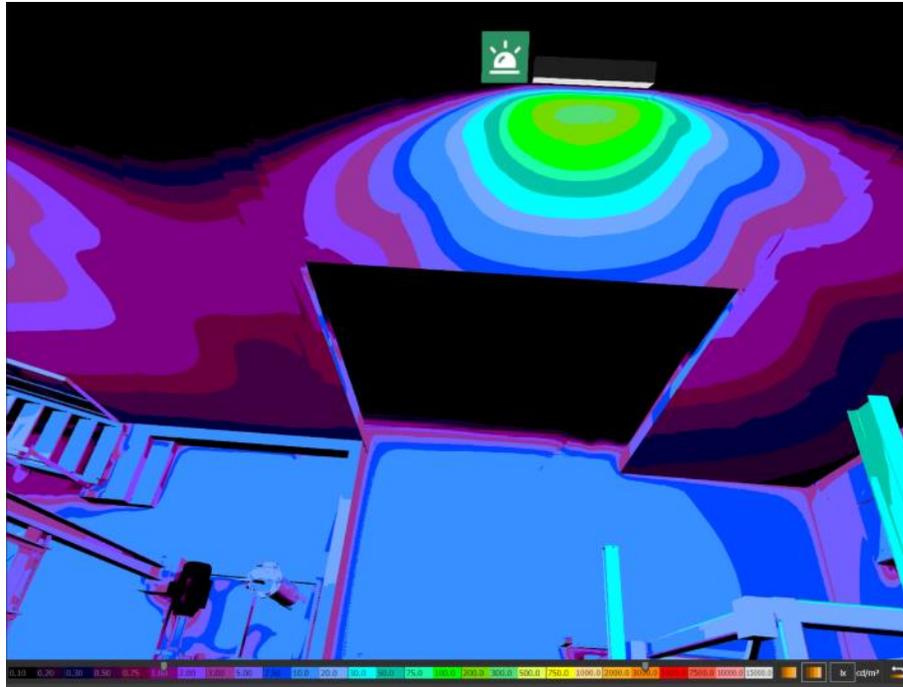


Fig. 89. Colores falsos en salida principal zona de tanques.

## VI. ANÁLISIS

A continuación, se realizará el análisis de los resultados expuestos anteriormente. Se evaluará cada proyecto de manera integral resaltando, donde sea pertinente, el resultado de un espacio en particular. Durante el desarrollo de cada uno de los diseños de iluminación interior se pudieron superar las diferentes situaciones que se encontraron a lo largo de su ejecución, mediante la búsqueda de soluciones prácticas y económicas para los clientes en el marco de los reglamentos nacionales y normas internacionales aplicables.

### *A. Instalación residencial*

#### *A.1. Deslumbramiento*

Se encontró que de los 13 espacios reportados en la TABLA II 5 tenían un deslumbramiento por encima del máximo UGR que se encuentra en la TABLA I. En estos espacios se encontró que una causa del deslumbramiento era el alto flujo luminoso de las luminarias, o su alta concentración en la habitación estudiada. También la ubicación de las luminarias afectaba este parámetro en diferentes espacios.

El salón social y la biblioteca tenían un deslumbramiento por encima del límite y, en esta zona, se tenían luminarias con alto flujo luminoso, por lo que se halló una correlación entre este parámetro luminotécnico y el alto UGR encontrado en las simulaciones. Igualmente, la altura de las luminarias también afectaba el valor de deslumbramiento generado, debido a que el ángulo con el que los rayos de luz llegan al ojo afecta el valor de deslumbramiento generado.

Como el alcance del estudio de verificación no contemplaba proponer una reubicación de las luminarias propuestas por la empresa encargada del diseño, ya que esto implicaba realizar un rediseño completo de la mayoría de los espacios de la casa, las recomendaciones dadas fueron enfocadas a proponer reducir el flujo luminoso de las luminarias en los espacios que presentaban deslumbramiento alto. Lo anterior sería posible porque la mayoría de las luminarias eran dimerizables, y la empresa diseñadora también diseñó un sistema de control para que los usuarios

podieran controlar el flujo luminoso a voluntad. Las simulaciones, sin embargo, se realizaron con el 100% del flujo de las luminarias, ya que se quería analizar si con su flujo total se cumplía o no con los valores requeridos por la norma.

### *A.2. Iluminancia media*

Como se observa en la TABLA II de los 13 espacios estudiados, 5 tenían una iluminancia media por encima del valor máximo dado en la TABLA I según los requerimientos de la norma europea UNE-EN 12464-1 [2]. En la mayoría de estos espacios que no cumplían este parámetro el valor de iluminancia media estaba muy por encima del valor máximo, lo cual era debido a que las luminarias tenían un flujo luminoso demasiado alto, y en el caso de algunos espacios como el vestier de la habitación principal había una concentración alta de luminarias en un espacio muy estrecho y reducido.

Por otra parte, 3 espacios tenían una iluminancia media por debajo del valor mínimo de la TABLA I, en los cuales se encontró que se usaron luminarias con menor flujo luminoso, en parte porque eran espacios de descanso como la habitación principal; sin embargo, los otros 2 espacios con iluminancia baja eran el taller y el cuarto técnico de bombas. En el primero había un área relativamente grande para iluminar, por lo que las luminarias usadas no alcanzaban a suplir el requerimiento, y en el cuarto técnico de bombas se usaron luminarias con menor flujo luminoso por desconocimiento por parte de la empresa de los requerimientos necesarios de estos espacios.

Así mismo, se encontró que en los gabinetes eléctricos la iluminancia media estaba solo 7 lx por encima del valor mínimo para este tipo de recintos por lo que, a pesar de que se reportó que cumplía, se recomendó a la empresa emplear luminarias con mayor flujo luminoso para acercarse más al valor de diseño que sería el valor de iluminancia media dado en la TABLA I.

En general se corroboró que la mayoría de los espacios de la casa estaban bien iluminados, y allí donde la iluminancia media tenía valores altos se podía remediar con la dimerización de las luminarias mediante los sistemas de control propuestos por la empresa contratada por el cliente.

Las áreas sociales eran de especial preocupación para el cliente, pero según los resultados se pudo verificar que estos tenían valores aceptables o altos de iluminancia media.

### *A.3. Uniformidad*

Como se ha mencionado anteriormente, en este primer proyecto no se verificó cumplimiento de uniformidad, por lo que simplemente se reportaron los resultados arrojados por el DIALux Evo. Como consecuencia de esto, no se recortaron las áreas de cálculo para evitar que pasaran por dentro de objetos o estructuras, lo que provocó que en la mayoría de espacios este parámetro diera valores muy bajos o inclusive de cero, según lo cual, estos resultados no se podrían analizar ya que no son representativos de la uniformidad real generada con las luminarias utilizadas.

Otra manera de revisar la uniformidad no de manera numérica, pero si visual, es con los resultados expuestos en los resultados gráficos del literal A.3 del capítulo V de este informe, donde se puede corroborar en las diferentes zonas reportadas que la iluminancia en ciertas partes tiene valores muy altos en los lugares inmediatamente debajo de las luminarias y en las zonas más alejadas se reduce un poco, como se puede observar en la Fig. 1. Esto es consecuencia del alto flujo luminoso de las luminarias usadas y la baja altura de su montaje debido a que son cuartos diseñados para una instalación residencial.

En contraste, como se puede apreciar en la Fig. 31, la iluminancia en la zona central de la habitación principal dio valores muy bajos, de 25 lx, mientras que en los lugares debajo de las luminarias se tenían unas isolíneas que indicaban hasta 250 lx, por lo que se puede inferir que la uniformidad en esta zona daría un valor muy bajo, como en realidad se puede corroborar en la TABLA II. En este espacio en particular el área de cálculo no traspasaba ningún objeto, por lo que este valor de uniformidad si sería representativo del valor real producto del diseño entregado por la empresa encargada de este.

En el caso anterior se encontró que la disposición de las luminarias con bajo flujo luminoso afectó los valores de iluminancia en las distintas zonas de la habitación, generándose zonas oscuras en los espacios que quedaban entre una luminaria y otra.

## *B. Instalación industrial de producción de alimentos*

### *B.1. Deslumbramiento*

Como se observa en la TABLA IV se logró que cada uno de los espacios simulados tuviera un nivel de deslumbramiento menor o igual al dado en la TABLA III. Durante el desarrollo de este diseño se encontraron algunos factores que aumentaban el valor de UGR generado por las luminarias. Uno de ellos era el flujo luminoso de las luminarias highbay usadas, dado que eran luminarias de altas potencias, de 200 W, lo cual generaba un alto deslumbramiento. Mediante pruebas se comprobó que usar luminarias de 160 o 100 W generaba menos deslumbramiento en la misma zona y con la misma distribución.

También se descubrió que el tipo de luminarias usadas también afectaba el deslumbramiento. Las luminarias highbay o campana que se usaron generaban mayor deslumbramiento que las lineales. Hablando con el proveedor de las luminarias se pudo constatar que los fabricantes de estas luminarias reportaban que generaban un UGR menor a 19, por lo que el proveedor no entendía por qué estaban generando un deslumbramiento tan alto. Sin embargo, se llegó a la conclusión que ese nivel de UGR reportado en la ficha técnica de la luminaria era probablemente el resultado de una simulación en DIALux con una sola luminaria en un cuarto vacío y con una altura alta de montaje de la luminaria.

Según este tipo probable de prueba hecha a la luminaria, se constató que estas no son representativas de la disposición final que estas luminarias van a tener en cualquier montaje real en que se utilicen, pues todas las instalaciones van a ser distintas a las condiciones de esta prueba realizada por el fabricante a la luminaria. Dado esto se explicó que el deslumbramiento se ve afectado por diversas variables, entre ellas la cantidad de luminarias, el flujo luminoso, la disposición de estas, la densidad con que están en el espacio, el ángulo con el que el rayo luminoso llega al ojo del observador, entre otras, por lo que el nivel de deslumbramiento generado no puede ser algo dado por el fabricante, porque este depende de la situación particular de cada instalación donde se esté utilizando la luminaria.

Para reducir el deslumbramiento producido por las luminarias de la empresa proveedora, se realizó una reubicación de estas como se ve en la Fig. 48, ubicando 3 luminarias de 30400 lm en la zona contigua al mezanine Cocinas para reducir el deslumbramiento en dicha plataforma. Con esto se logró reducir el deslumbramiento en el mezanine y la zona general a niveles menores o iguales a 25 UGR, según el límite estipulado en la TABLA III.

Como la Fase 2 de la nueva planta todavía no se iba a construir, sino hasta que se terminara la Fase 1, no había riesgo de que sucediera lo que pasó en la Fase 1, donde se habían comprado las luminarias antes de que se verificara cumplimiento de requerimientos lumínicos, por lo que en este caso se hicieron las pruebas necesarias, y se halló que tanto las luminarias de 38000 como las de 30400 lm generaban mucho deslumbramiento, por lo que se propusieron luminarias de 19000 lm.

Sobre los mezanines cocinas y UMAS se usaron luminarias herméticas lineales, las cuales tenían un flujo menor a las highbays, y se halló que estas no producían tanto deslumbramiento, por lo que no hubo necesidad de modificar su disposición tanto en la Fase 1 como en la Fase 2 para disminuir el nivel de deslumbramiento.

En la Fase 2 se encontró que si se ponían muchas luminarias de 38000 lm (30 o más) se podía reducir el deslumbramiento, pero esta solución era poco práctica y muy costosa para el cliente, por lo que se decidió usar más bien luminarias con menor flujo ya que con menos luminarias se podían alcanzar niveles aceptables de UGR en la zona.

### *B.2. Iluminancia media*

Durante el diseño se evidenció que por el alto flujo luminoso de las luminarias usadas en la Fase 1, la iluminancia media en la mayoría de los casos tenía valores cercanos o por encima del valor objetivo ( $E_m$ ) hallado en la TABLA III. Como se puede apreciar en dicha tabla, todos los espacios tenían una iluminancia media mayor a 350 lx excepto en la bodega donde el nivel de iluminancia media estaba solo 2 lx por debajo del valor objetivo de 300 lx.

En ambas fases de la nueva planta se recortaron las áreas de cálculo para que no traspasaran objetos o estructuras y, a su vez, para evitar que estuvieran en esquinas o zonas muy estrechas debido a que en estos lugares la iluminancia daba niveles muy bajos. Al depurar de esta manera las áreas de cálculo se logró aumentar el valor de iluminancia media en los espacios requeridos, buscando que los niveles de iluminación dieran altos debido a que por experiencia de la empresa proveedora de las luminarias en el momento de medir en campo la iluminancia medida podía dar más baja que la simulada ya que en las plantas del cliente hay muchas tuberías y estructuras grandes que pueden obstruir los rayos lumínicos.

### *B.3. Uniformidad*

En ambas fases de la nueva planta se logró alcanzar una uniformidad mayor a 0,4. En la Fase 1 se logró llegar a estos niveles de uniformidad con la reubicación mencionada de las luminarias y depurando las áreas de cálculo, especialmente en el Área General. La localización final de las luminarias se logró mediante distintas pruebas que se hicieron en el software de iluminación, encontrándose una distribución óptima para estas, como sucedió en el cuarto de empaques, que se puede ver en la Fig. 45 o en la Fig. 48 para el Área General.

En la Fase 2 la uniformidad se logró colocando las luminarias sobre esas zonas que quedaban en zonas oscuras, ya que eran estrechas o eran zonas encerradas. Para poder lograr valores aceptables en esta Fase 2, se colocó un arreglo en malla con más de 30 luminarias y se fueron eliminando las luminarias que se podían retirar sin disminuir los niveles de iluminancia media y uniformidad por debajo de sus valores requeridos. Así el arreglo final fue de 24 luminarias de 19000 lm en el Área General de la Fase 2 como se observa en la Fig. 59. Como se observa en las diferentes imágenes reportadas en los resultados gráficos de este proyecto, la iluminancia se mantiene muy regular en cada uno de los espacios simulados, cumpliéndose a cabalidad los requerimientos del RETILAP [1] en cuanto a uniformidad se refiere.

#### *B.4. Regulación de tensión*

Se buscó, donde fuera posible, utilizar circuitos monofásicos, debido a que los circuitos bifásicos en el tablero se protegen con 2 interruptores monofásicos enclavados, por lo que usar este tipo de circuitos aumentaba el tamaño del tablero a utilizar. El otro criterio para realizar la selección del tipo de circuito y el calibre de los conductores fue la regulación de tensión, la cual se calcula según como se explica en el Marco Teórico del presente informe.

Para la regulación de tensión se tuvo en cuenta que la caída de tensión del tablero más la de cualquier circuito asociado a este no podría ser mayor a 3% según lo que dice el RETIE [3]. Por lo anterior, se eligió utilizar circuitos monofásicos siempre y calibre 12 AWG o 10 AWG si se cumplía que la regulación del circuito era igual o menor a 1,74%, ya que la regulación del tablero era de 1,26%.

Donde aún con calibre 10 AWG no se podía tener una regulación menor al valor máximo, se usaron circuitos bifásicos con calibre 12 o 10 AWG, dependiendo de cuál de los 2 calibres permitía tener una regulación menor al valor mencionado anteriormente.

La acometida del tablero de iluminación fue calculada sumando todas las cargas asociadas al tablero y sumando un 30% de reserva, como se evidencia en la TABLA VI. Se eligió conductor 1/0 AWG ya que daba una regulación menor de 1,5%, y de esa forma tener buen margen de caída de tensión para los diferentes circuitos de las cargas, y también porque era el conductor comercial por encima del No. 2 AWG, ya que con este último la regulación de tensión estaba por encima de 2,5%, lo cual dejaba muy poco margen para los conductores a elegir para las cargas, y esto hubiera obligado a utilizar calibres muy altos para unos circuitos que no justificaban tener calibres tan altos por encima del 12 o el 10 AWG.

Como se observa en la TABLA V, se cumplieron los criterios anteriormente expuestos, garantizando una regulación de tensión desde el transformador de servicios auxiliares (de donde salía la acometida del tablero de iluminación) hasta cada una de las cargas de menos de 3%.

### *B.5. Ocupación de ductos y cantidad de cables*

Se crearon la TABLA VII y la TABLA VIII para realizar de manera más automática el cálculo de ocupación de ductos, ya que en la empresa se usaba una hoja de Excel donde solo se podía analizar un caso a la vez. En la TABLA VII se podía hacer el registro de los circuitos individuales que se encontraban en este caso en las fases 1 y 2 de la nueva planta y, con estos datos, calcular el área de cada uno de estos circuitos. En este caso eran 2 tipos de circuitos con 3 conductores independientemente de si eran monofásicos o bifásicos, y lo que variaba era el calibre.

Con la TABLA VIII se recopilaba cada uno de los casos en cuanto a la ocupación de las distintas tuberías. En cada uno de los casos como se tenían más de 2 conductores por tubería el porcentaje de ocupación no podía ser mayor a 40%, lo cual se puede corroborar en la TABLA VIII.

Con la TABLA IX se automatizó el cálculo de cantidad de conductores según el código de colores del RETIE [3], ya que anteriormente en la empresa se hacía de manera manual, recogiendo la información en una hoja de Excel por circuito y sumando cada uno de los calibres resultado del análisis hecho.

Con la TABLA IX se automatizó este cálculo, ya que se recogía en ella información ya conocida como el tipo de circuito (monofásico o bifásico), la longitud del circuito y el calibre de los conductores, con esta información y utilizando fórmulas en Excel se pudo automatizar el cálculo de la cantidad de conductores de manera rápida y eficiente.

## *C. Instalación industrial de productos químicos*

### *C.1. Deslumbramiento*

En este proyecto hubo muchos problemas con el deslumbramiento. Se encontró que esto se debía al tipo de luminarias (highbays o campana), al alto flujo de las luminarias y al ángulo de apertura de estas, el cual era de entre 100° y 120°. La solución encontrada que permitió tener valores dentro de los límites permitidos hallados en la TABLA XI según lo encontrado en la

TABLA X fue usar reflectores para áreas clasificadas con un ángulo de apertura de  $60^\circ$ , los cuales se colocaron sobre el Nivel 3 como se aprecia en la Fig. 87.

Una propuesta que se hizo para reducir el deslumbramiento fue girar las highbay en un ángulo de  $30^\circ$  con respecto a la horizontal, de forma que apuntaran en dirección opuesta a las plataformas. Esto logró reducir el deslumbramiento en estas plataformas, pero lo aumentó en la zona hacia donde apuntaban las luminarias, pero como este deslumbramiento estaba por debajo de 28 UGR, se propuso definir esa zona como de intervención ocasional, y dimerizar las highbay a 70% de su potencia.

Sin embargo, el ingeniero encargado por parte del cliente rechazó esta proposición a pesar de que ya se habían comprado las highbay y pidió que las reemplazáramos por luminarias highbay para áreas generales. Al hacer este cambio, como estas luminarias tenían un flujo luminoso menor que las ya adquiridas por el cliente y además, dimerizadas al 80%, en conjunto con los reflectores que tenían un ángulo de apertura de  $60^\circ$ , se logró tener deslumbramientos menores al límite máximo según la TABLA X, como se puede apreciar en los resultados numéricos presentados en la TABLA XI.

### *C.2. Iluminancia media*

Se logró tener una iluminancia media dentro de los parámetros de la TABLA X con las luminarias empleadas. Las luminarias lineales ya adquiridas por el cliente fueron ubicadas estratégicamente para lograr tener un valor de iluminancia media en los 2 primeros niveles de las plataformas, como se puede apreciar en la TABLA XI.

Fue necesario recortar las áreas de cálculo para evitar medir en zonas tapadas por tanques o estructuras, teniendo en cuenta que el modelo 3D usado en el software no tenía todos los detalles de tuberías y equipos puesto que si se dejaban quedaba muy pesado el archivo y se demoraba demasiado tiempo para simular o incluso, podía reiniciar ciertos computadores desde los que intentaban abrirlo.

### *C.3. Uniformidad*

Como se puede apreciar en la TABLA XI, se pudo mantener una uniformidad mayor o igual a 0,5 en todos los espacios simulados. Esto se logró gracias al flujo de las luminarias seleccionadas y su ubicación estratégica dentro de las limitaciones que se tenía para dicha localización, ya que solo se podía colgar luminarias en las vigas del techo o las correas transversales que había entre viga y viga.

Como se puede observar en las imágenes de los resultados gráficos de este proyecto, la iluminancia se mantuvo bastante uniforme y constante en cada una de las áreas de cálculo definidas en el software. Esto se logró también porque las áreas abiertas al lado de la tolva y las válvulas fue dividida en 3 distintas áreas, las cuales fueron nombradas según las actividades informadas por el cliente a realizar en cada una de ellas, de esa forma se definió el área general, la zona de pesaje y tableros y el área de válvulas del nivel 1.

### *C.4. Iluminación de emergencia*

Se siguió la sección 470.4 “*Localización de las luminarias de emergencia*” del RETILAP [1], según la cual se deben colocar luminarias de emergencia en las salidas existentes en los recorridos de evacuación y en las escaleras. Según esto, se garantizó iluminación en las escaleras de las plataformas y en el área adyacente a la puerta principal, como se puede apreciar en la Fig. 88 y la Fig. 89, donde se observa con los colores falsos que la iluminancia en toda la superficie estudiada en este caso estaba por encima del requisito de 1 lux en el eje central de la vía de evacuación.

Se aclara que no se realizó definición de ruta de evacuación, dado que esta solo la puede realizar una persona competente en esa área de seguridad y salud en el trabajo o competente, lo que se hizo fue iluminar esas zonas por donde las personas tendrían que evacuar el edificio. En la puerta trasera se usó una luminaria tipo Mickey mouse para áreas clasificadas la cual, debido a que no se tenían archivos fotométricos para simularla, no se pudo incluir en el resultado gráfico, pero según sus especificaciones se esperaba que pudiera cumplir a cabalidad su función.

## VII. CONCLUSIONES

Se realizaron diseños de sistemas de iluminación en plantas industriales, manteniendo los valores requeridos por el RETILAP [2], tanto de iluminancia, deslumbramiento y uniformidad en cada zona estudiada, y usar el mínimo número posible de luminarias para lograr los valores buscados.

Se verificaron los valores de iluminancia y deslumbramiento en instalación residencial, generando recomendaciones para cumplir en cada lugar con los valores estipulados en la norma europea donde esta se aplicará.

Se modelaron plantas industriales con máquinas y estructuras como tanques y tolvas en DIALux Evo versión 10 para simular lo más fielmente cada espacio estudiado. Se usaron luminarias comerciales accesibles en Colombia, y se logró cumplir con los requerimientos de las normas colombianas y europeas con estas.

Se encontró que el ángulo de apertura de las luminarias influye mucho en el nivel de deslumbramiento generado. Se halló además que entre mayor sea el uso de plataformas (como mezanines) es necesario implementar luminarias con menor ángulo de apertura, entre  $60^\circ$  y  $30^\circ$ .

Los estudios de iluminación interior tanto en áreas residenciales como industriales son muy importantes para garantizar la salud visual de las personas, su óptimo desempeño en sus actividades diarias, sean estas de recreación o laborales, y así, ayudar al buen desarrollo y mejoría de la producción de las distintas industrias y empresas y para mejorar la calidad de vida de las personas.

## REFERENCIAS

- [1] «REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO [RETILAP]». Ministerio de Minas y Energía, Resolución No. 90708 de de 2013.
- [2] «UNE-EN 12464-1». CEN, 2007.
- [3] «REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS [RETIE]». Ministerio de Minas y Energía, Actualización de 2015.
- [4] «NTC 2050», 25 de noviembre de 1998.