



**Modernización del alumbrado público en el municipio de Envigado: Diseños  
luminotécnicos, levantamientos y planos.**

David Alberto Jiménez Arbeláez

Trabajo de grado presentado para optar por el título de ingeniero electricista

Asesor

Nicolás Muñoz Galeano, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería eléctrica

Medellín, Antioquia

2023

Cita	Jiménez Arbeláez [1]
<b>Referencia</b>	[1] D. A. Jiménez Arbeláez “Modernización del alumbrado público en el municipio de Envigado: Diseños luminotécnicos, levantamientos y planos”, Trabajo de grado profesional, pregrado en ingeniería eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, 2023.
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:** Julio César Saldarriaga Molina.

**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.

## **Dedicatoria**

Dedicado a mi familia y a quiénes de una u otra manera han sido parte de mi proceso formativo como profesional.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la empresa Energizando ingeniería y construcción S.A.S por depositar su confianza en mí y hacerme parte de su equipo de trabajo. A todos los colegas que me acompañaron durante el desarrollo de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
III. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
IV. MARCO TEÓRICO	12
A. Reglamento	12
B. Definiciones	12
C. Manual de procedimientos y tipos de brazo	15
V. METODOLOGÍA	20
VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
A. Georreferenciación y levantamiento de información en campo	21
B. Planos base en AutoCAD para simulación	30
C. Simulación en software Dialux y resultados luminotécnicos	32
a. Perfil de iluminación en Dialux para zonas sin red de AP.	38
D. Plano con diseño	39
VII. CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	47

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ficha técnica Philips. ....	13
Fig. 2. Comparación de la eficiencia (lm/W) de cuatro tecnologías comercialmente disponibles. ....	13
Fig. 3. Brazo de luminaria curvo tipo 3000/0°. ....	16
Fig. 4. Brazo de luminaria recto tipo 52/0°. ....	17
Fig. 5. Brazo de luminaria recto tipo 600/Tranvía. ....	18
Fig. 6. Ubicación georreferenciada de barrios en el municipio de Envigado. ....	21
Fig. 7. Levantamiento de información en campo mediante Google Maps. ....	23
Fig. 8. Levantamiento en campo (zona urbana). ....	24
Fig. 9. Registro fotográfico del levantamiento de la zona. ....	25
Fig. 10. Registro fotográfico de la medición. ....	26
Fig. 11. Método de los 9 puntos para cálculo de iluminancia en vías ....	27
Fig. 12. Clases de iluminación para vías vehiculares. ....	27
Fig. 13. Clases de iluminación para diferentes tipos de vía en áreas peatonales ....	28
Fig. 14. Mínimos mantenidos de iluminancia promedio en vías ....	28
Fig. 15. Requisitos mínimos de iluminación para vías ....	29
Fig. 16. Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal ....	29
Fig. 17. Plano base para andén con los datos del levantamiento (vista en planta). ....	30
Fig. 18. Plano base con los datos del levantamiento en zona de vía vehicular (vista en planta). ...	31
Fig. 19. Vista en planta de la simulación de alumbrado público para andén en Dialux. ....	32
Fig. 20. Vista en planta de la simulación de alumbrado público para el tramo de vía en Dialux. .	33
Fig. 21. Zoom a la vista en planta de la simulación del tramo de vía. ....	34
Fig. 22. Vista 3D del tramo de andén simulado. ....	35
Fig. 23. Vista 3D del tramo de vía simulado. ....	36
Fig. 24. Sumario de resultados luminotécnicos de la simulación para el tramo de andén. ....	37
Fig. 25. Perfil de iluminación para el tramo de vía. ....	38
Fig. 26. Resultados luminotécnicos del perfil simulado. ....	39
Fig. 27. Plano con diseño de alumbrado público para andén. ....	40
Fig. 28. Zoom para detalle del plano presentado. ....	41

Fig. 29. Archivo pdf con diseño eléctrico para alumbrado público. ....	41
Fig. 30. Plano de diseño para vía vehicular con red proyectada. ....	42
Fig. 31. Canalización de red en zona verde.....	43
Fig. 32. Plano de diseño en pdf. ....	44
Fig. 33. Zoom al plano de diseño. ....	45

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>RETILAP</b>	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
<b>AP</b>	Alumbrado Público
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode o Diodo Emisor de Luz
<b>W</b>	Vatios
<b>RETIE</b>	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
<b>CREG</b>	Comisión de Regulación de Energía y Gas
<b>EPM</b>	Empresas Públicas de Medellín
<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor
<b>RS</b>	Red secundaria

---

## RESUMEN

En el siguiente documento se muestran los requerimientos técnicos, aspectos de diseño eléctrico y planos necesarios para llevar a cabo un proyecto de modernización de alumbrado público. Se muestran los levantamientos de información en campo y las medidas de iluminancia en los puntos oscuros, que se lograron encontrar en las diferentes zonas sobre las que se evidencia la necesidad de adicionar luminarias y postería. Todo lo anterior es hecho bajo Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el cual se debe cumplir a cabalidad en todo proyecto de alumbrado público. Se presentan las simulaciones hechas mediante el software Dialux, los diseños realizados en AutoCAD y el registro fotográfico que justifica la presentación del proyecto de modernización y la ampliación de iluminación en los puntos oscuros, ya sea en vías o en andenes adyacentes. Este informe tiene como objetivo mostrar cuales son los requerimientos a la hora de llevar a cabo un proyecto de alumbrado público, desde los aspectos reglamentarios que se deben cumplir, hasta los resultados y diseños luminotécnicos que deben ser presentados para la posterior puesta en marcha del proyecto.

***Palabras clave* — luminaria LED, iluminancia, medida, Retilap, luxes**



---

ABSTRACT

The following document shows the technical requirements, electrical design aspects and electrical drawings necessary to carry out a public lighting modernization project. It's shows the information surveys in the field and the measures of illuminance in the dark spots, which were found in the different areas on which the need to add luminaries and posteria is evident. All of the above is done under Technical Regulations of Lighting and Street Lighting (RETILAP), which must be fully complied with in all street lighting projects. The simulations are made using Dialux software, the designs made in AutoCAD and the photographic record that justifies the presentation of the modernization project and the extension of lighting in the dark spots, whether on roads or adjacent platforms are presented. This report aims to show what are the requirements when carrying out a street lighting project, from the regulatory aspects that must be met, to the results and lighting designs that must be presented for the subsequent implementation of the project.

***Keywords*** — (Ejemplo) **LED luminaire, illuminance, measure, Retilap, luxes**

---

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación representan una de las aplicaciones más antiguas y de mayor aplicación en el campo de la ingeniería eléctrica. A lo largo de los años, los sistemas de iluminación se han ido transformando a medida que la tecnología avanza, haciéndose más eficientes, consumiendo menos potencia y en general, haciendo un uso racional y eficiente de la energía. En los últimos años se alcanzó una mayor eficiencia gracias al uso de la tecnología LED. Este avance tecnológico presenta consumos más bajos, fiabilidad y un mayor tiempo de vida útil cuando se compara con las tecnologías anteriores como por ejemplo, el uso de lámparas de sodio [1].

Las aplicaciones de sistemas de iluminación en el alumbrado público también se han beneficiado de las nuevas tecnologías. Hace pocos años y aún en la actualidad, las luminarias de alumbrado público usaban tecnología de vapor de sodio. Si bien, esta era una aplicación eficiente, las demandas de la época actual en términos de eficiencia, durabilidad y disminución de contaminación hacen necesario pasar a otro tipo de tecnologías que cumplan con los requerimientos actuales.

En Colombia, la iluminación de espacios internos y alumbrado externo deben cumplir con lo que dicta la norma para aplicaciones de iluminación, en este caso el RETILAP. En su capítulo 5, el RETILAP expone los requisitos y aspectos a considerar en el alumbrado público y la iluminación exterior. Se pone en consideración aspectos como los niveles exigidos de luminancia e iluminancia, clases de iluminación según el tipo de vía y tipo de aplicación, uso racional de la energía, entre otros [2]. Este documento muestra las exigencias en los proyectos de alumbrado público según lo que dicta el RETILAP y apoyados en el manual de procedimientos de alumbrado público.

La ingeniería tiene aplicación en los sistemas de iluminación desde la parte de diseño hasta la construcción. Los proyectos deben ir acompañados de las mediciones necesarias, tanto de distancias entre postes como de iluminancia de la zona, los estudios descriptivos del terreno (levantamiento en campo), planos y la simulación en software. La simulación permite obtener un diseño luminotécnico detallado, donde se muestren los resultados en términos de iluminancia y uniformidad ajustando el diseño para cumplir con lo que el reglamento exige en estos aspectos. Este documento tiene como objetivo exponer las exigencias en términos de diseño en un proyecto de alumbrado público y la manera como los diseños son presentados para su posterior ejecución

---

### III. OBJETIVOS

#### *A. Objetivo general*

Hacer el diseño luminotécnico de alumbrado público para cada uno de los barrios y veredas del municipio de Envigado, cumpliendo con los requerimientos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) con el fin de modernizar el alumbrado, pasando de lámparas de sodio a lámparas LED.

#### *B. Objetivos específicos*

Medir los valores de iluminancia en las distintas zonas del municipio.

Identificar los lugares donde se requiere iluminación adicional debido a puntos oscuros, ya sea en andén o en vía.

Comparar los resultados iluminancia obtenidos en la simulación con las tablas del reglamento en las que se encuentran los valores mínimos a cumplir según el tipo de vía y andenes adyacentes.

Analizar los resultados de la simulación con base al reglamento, para identificar las posibles soluciones en caso de no cumplir con los valores requeridos.

Dibujar el plano final de cada zona, tomada en cuenta en la simulación y el levantamiento de información en campo, para hacer la entrega al encargado de la construcción civil .

---

## IV. MARCO TEÓRICO

### *A. Reglamento*

Los proyectos de iluminación en el sector eléctrico en Colombia deben seguir los reglamentos dispuestos para que las instalaciones estén normalizadas y sigan unos lineamientos básicos en seguridad y confiabilidad. El RETIE y el RETILAP son los dos reglamentos base en toda instalación eléctrica, el conocimiento y la aplicación de estos es de vital importancia en cualquier instalación eléctrica, sea de iluminación o de otra índole. El RETILAP, que está más enfocado precisamente a los proyectos de iluminación, establece en su sección 100 el objeto del reglamento, donde queda claros los aspectos que se deben considerar en lo que a iluminación interior y exterior se refiere. En pocas palabras, el objeto del reglamento es establecer requisitos a cumplir en alumbrado interior y exterior para darle un uso racional y eficiente a la energía y garantizar aspectos como: la protección de la vida y salud humana, animal y vegetal, la protección del medio ambiente [2]. Lo anterior lleva a la evaluación de aspectos técnicos en términos de iluminancia, uniformidad de iluminación, eficiencia y los productos objeto del reglamento, lámparas incandescentes, de sodio y LED, equipos de control, fusibles y postería. A continuación, se definen y se da claridad en los conceptos que se involucran en el proyecto.

### *B. Definiciones*

LED: Dispositivo semiconductor que emite luz policromática, presenta consumos más bajos, fiabilidad y un mayor tiempo de vida útil [3]. Su principal beneficio radica en el consumo energético requiriendo menos energía que las luminarias convencionales tradicionalmente usadas en AP, como las lámparas de vapor de sodio. Las luminarias LED son fuentes lumínicas con tecnologías promisorias y gran dinámica de investigación. El RETILAP establece que la fuente de iluminación con este tipo de tecnología estará condicionada a los siguientes requisitos: a) cumplir con el Decreto 3450 de 2008 en cuanto a alta eficacia lumínica y b) Cumplir los requisitos de seguridad contra riesgo de origen eléctrico o térmico, c) Certificar el cumplimiento de estos requisitos mediante declaración del proveedor. Sin embargo, también establece que no hay normatividad técnica de reconocimiento internacional que establezca requisitos específicos

obligatorios. Solo deben cumplir con los requisitos generales de iluminación eficiente y segura [2]. En términos de rendimiento, las luminarias LED presentan también mejores rendimientos. La Figura 1, muestra una comparativa en este aspecto proporcionada por el fabricante Philips.

Descripción	Luminaria LED	Halógeno	Fluorescente
Rendimiento en Horas	50,000	10,000	5,000
Rendimiento (8 horas diarias)	17 años + 45 días	3 años + 155 días	1 años + 260 días

Fig. 1. Ficha técnica Philips. [4].

Adicional a lo presentado en la Figura 1, un estudio en ahorro energético de la iluminación LED de la Universidad de Zaragoza, España [4] hace una comparativa la eficiencia en unidades de lumen/vatio (lm/W) de cuatro tecnologías disponibles en el mercado.

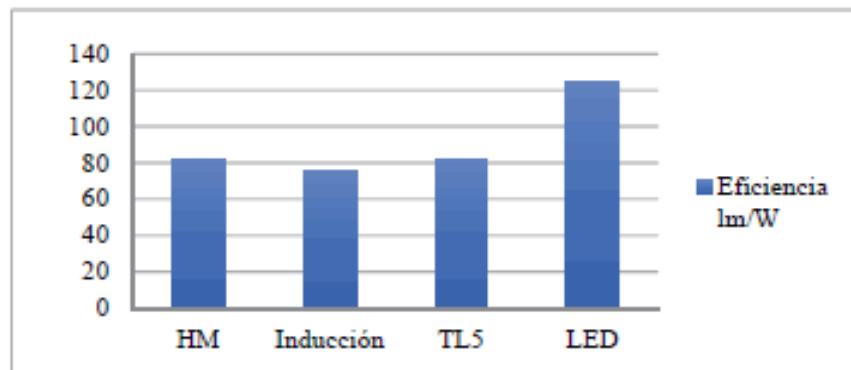


Fig. 2. Comparación de la eficiencia (lm/W) de cuatro tecnologías comercialmente disponibles. [5].

El RETILAP define los siguientes conceptos, los cuales son clave en el diseño e implementación de un proyecto de alumbrado público.

Factor de uniformidad general de la luminancia ( $U_0$ ): Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada. Es una medida de la variación de la iluminancia sobre un plano dado.  $U_0 = L_{min}/L_{pro}$  en [%]. El valor no puede ser inferior a 40%. Es importante anotar que el valor a cumplir para el caso de AP varía según los tipos de vía y en algunos casos no se tiene en cuenta.

Luminaria: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte,

fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

Fotometría: Medición de cantidades asociadas con la luz.

Lux (lx): Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado.

Lumen (lm): Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

Candela (cd): Unidad del Sistema Internacional (SI) de intensidad luminosa. Una candela es igual a un lumen por estereorradián. Una candela se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de una frecuencia de  $540 \times 10^{12}$  Hz y en la cual la intensidad radiante en esa dirección es  $1/683$  W por estereorradián.

Deslumbramiento: Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad.

Niveles Mínimos de iluminación mantenidos: Son los niveles de iluminación adecuado a la tarea que se realiza en un local o en una vía. Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener los valores de iluminación mantenido y tendrán que sustituirse las bombillas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo se asegura que la tarea se pueda desarrollar según las necesidades visuales.

Luminancia (L): En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m<sup>2</sup>).

Iluminancia (E): Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx).

De lo anterior, es importante distinguir la diferencia entre luminancia e iluminancia, pues ambos conceptos son tenidos en cuenta en los diseños luminotécnicos y es necesario diferenciarlos. En términos sencillos, la iluminancia se refiere a la cantidad de luz o flujo luminoso que incide

---

sobre una superficie, es decir, cuanta luz está llegando al área determinada. En su lugar, la luminancia se entiende como la luz que emite la fuente y es reflejada en una superficie y el ojo humano percibe, cuanta luz refleja la superficie iluminada hacia la vista.

### *C. Manual de procedimientos y tipos de brazo*

Por otro lado, además del RETILAP, la alcaldía de Medellín en colaboración con Empresas Públicas de Medellín (EPM), desarrolló un manual de procedimientos de alumbrado público que sirve como complemento al reglamento, y expone lo que debe cumplir un diseño de alumbrado público. La parte de diseños debe incluir una serie de documentos como el plano urbanístico y el plano rotulado con el archivo de extensión .dwg (AutoCAD). Adicional a esto los detalles, cotas, levantamientos topográficos y el archivo del software en el cual se realizó el diseño con sus cálculos luminotécnicos [5]. Los resultados luminotécnicos permiten observar los valores de iluminancia máxima, mínima y media y la uniformidad general. Los valores que arroja la simulación son comparados con lo que el reglamento dicta y en caso de no cumplirlos se puede variar la potencia de la luminaria, su ángulo de inclinación, el brazo que las sostiene y las interdistancias a las que se proyectan los postes que eventualmente se instalarán. En lo relacionado a los brazos de la luminaria, estos son importantes y varían según la aplicación, sea anden o vía, y según el tipo de vía. Se muestran los que principalmente se han usado en el proyecto de modernización de AP y los de uso más extendido en el municipio de Envigado:

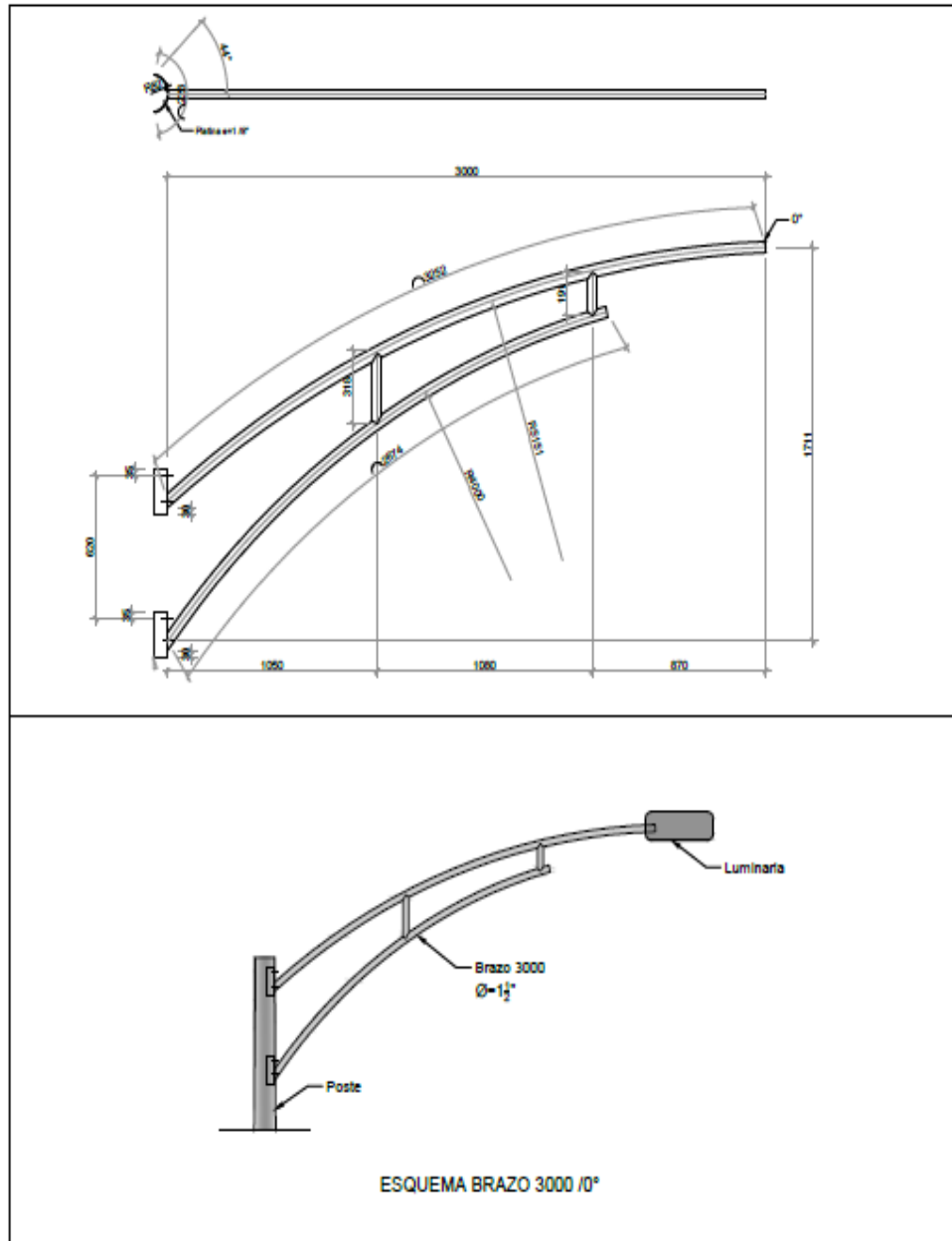


Fig. 3. Brazo de luminaria curvo tipo 3000/0° [6].



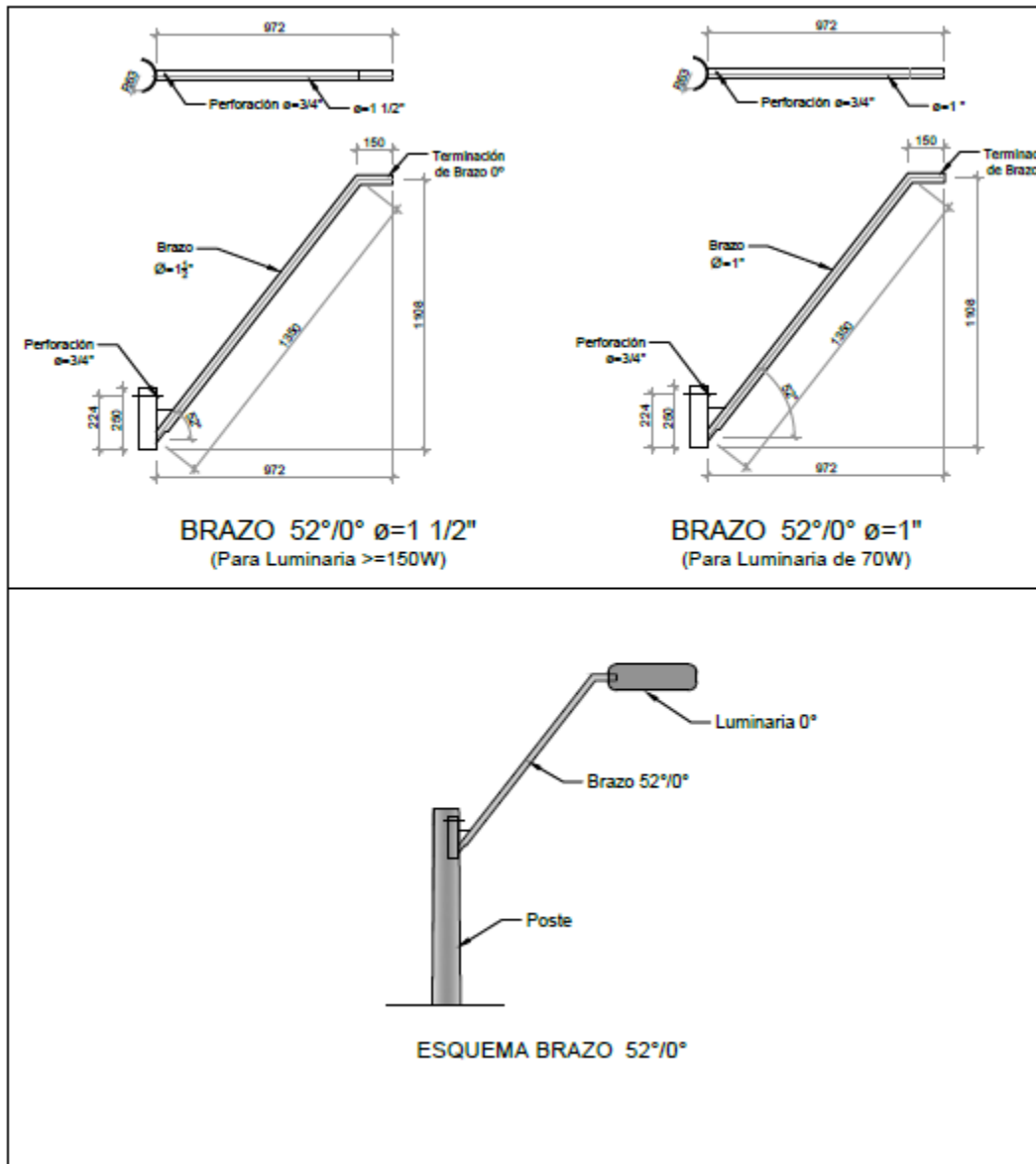


Fig. 4. Brazo de luminaria recto tipo 52°/0° [6].

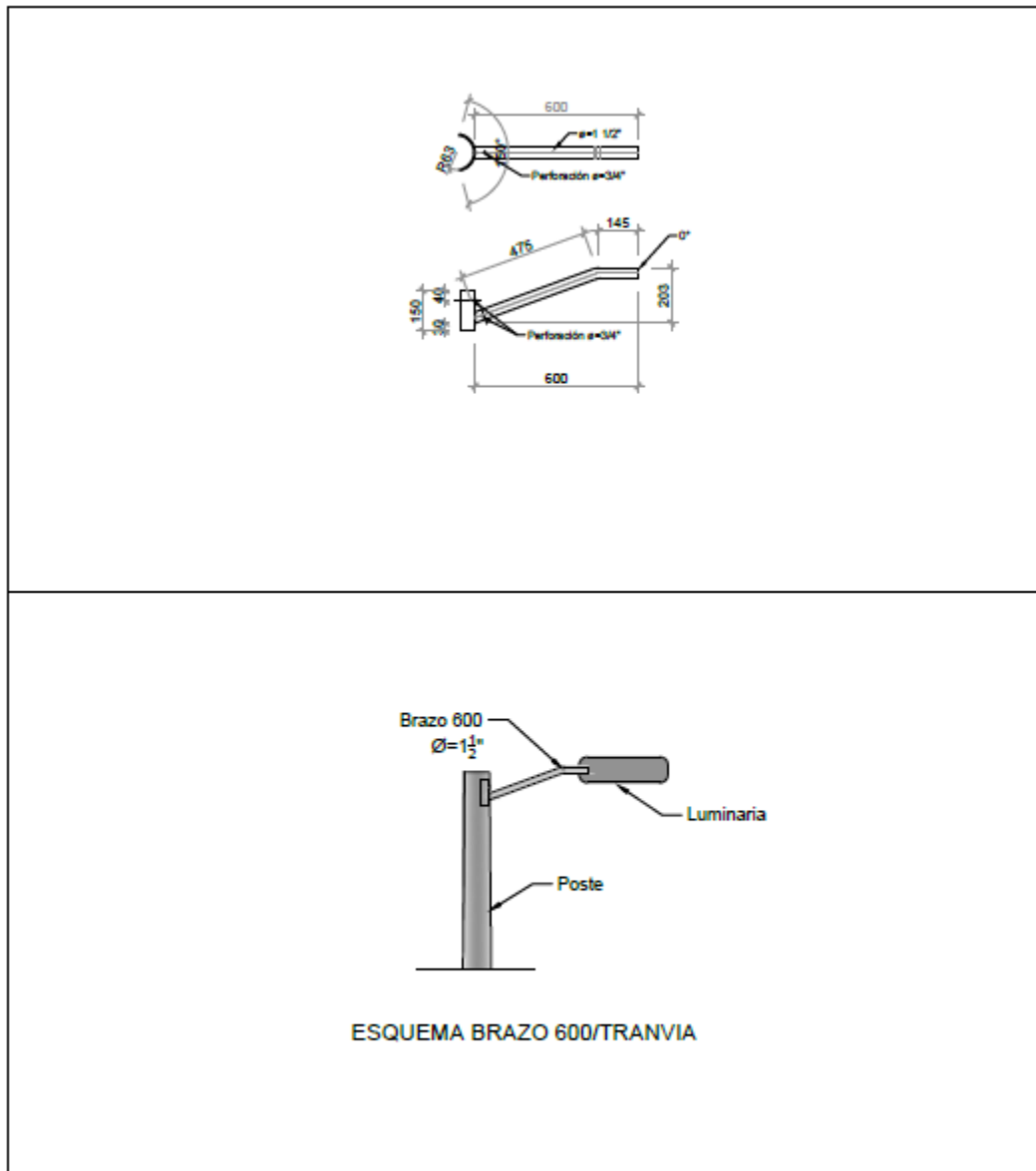


Fig. 5. Brazo de luminaria recto tipo 600/Tranvía. [6].

Las Figuras 3,4 y 5, muestran algunos de los brazos principales que se utilizan en el alumbrado público de la ciudad. Es importante para realizar cualquier proyecto de alumbrado público tener conocimiento en cuales son los brazos disponibles y en sus medidas, tanto horizontales como verticales, pues esto es clave para estimar la altura de la luminaria y con esto, mediante simulación, evaluar como la variación de la altura tiene efecto sobre la iluminancia y la uniformidad. En las Figuras, se puede ver cual es la altura de cada tipo de brazo con respecto al punto en el que se fija este al poste. Lo anterior es clave, pues para saber cual es la altura de la

luminaria con respecto al piso, se deben conocer la medida vertical del brazo, la altura del poste y la longitud de empotramiento de este. EPM, en su norma de especificación técnica para postes [6], establece que, para el cálculo de la longitud de empotramiento, se debe aplicar la fórmula establecida en el numeral 4.6 de la Norma NTC-1329:

$$LE = 0.1H + 0.6 (m) \quad (1)$$

Donde LE es la longitud de empotramiento en metros y H es la longitud total del poste.

El brazo 600/Tranvía se usa para los andenes adyacentes principalmente y es de aclarar que su altura normalmente se toma fija, de 5 o 6m con respecto al piso.

En lo que este documento ocupa y abarca, adicional a los reglamentos para alumbrado público en los aspectos técnicos, también se cuenta con leyes y decretos que plantean quienes son los responsables de la prestación de servicio del AP (alumbrado público) y los aspectos económicos. Con respecto a los responsables de la prestación del servicio de alumbrado público, la cartilla de la CREG [7], plantea que en el artículo 51 de la ley 1819 de 2016 establece que la responsabilidad por la prestación del servicio de alumbrado público está en cabeza de los municipios o distritos, quienes podrán prestar dicho servicio en forma directa o a través de empresas de servicios públicos domiciliarios. En el aspecto económico, el municipio traslada a los usuarios lo que corresponde al alumbrado público de las avenidas, parques y calles del municipio o distrito, cuyo costo de prestación se distribuye entre los usuarios del respectivo municipio.

---

## V. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se ejecutan una serie de actividades que muestran cuales deben ser los pasos por seguir a la hora de realizar un diseño de alumbrado público y así cumplir con los objetivos planteados:

Actividad 1: Levantamiento de información en campo, donde se muestre las medidas de las distancias entre poste, los postes que se proyectarán y los postes existentes, la información del punto geográfico en el que se encuentra, el ancho de vía y de andén si aplica. Además, se incluyen las medidas de iluminancia de la zona.

Actividad 2: Elaboración del plano mediante AutoCAD con la información dada en el levantamiento, utilizando los anchos de vía, anchos de andén y distancias entre postes plasmados previamente en el levantamiento de información en campo.

Actividad 3: Exportar el plano realizado en AutoCAD al software Dialux, donde se dibujará el contorno de la vía y se adicionará la luminaria con la potencia requerida según el tipo de vía. Se debe tener en cuenta la altura, la longitud de brazo y la separación entre cada luminaria a la hora de realizar la simulación.

Actividad 4: Generar un archivo PDF con los resultados luminotécnicos que arroja la simulación, donde se evidencia el tipo de vía simulada, las luminarias utilizadas y los resultados de la medida de iluminancia el luxes (lx) en las superficies de cálculo definidas al software donde se verifique que se cumple con lo que dicta el reglamento.

Actividad 5: Realizar el plano con el diseño de alumbrado público donde se ubiquen los postes, ya sean existentes o proyectados y la luminaria utilizada en cada poste con las especificaciones de altura, potencia y tipo de brazo para cada una de las luminarias. Acotar las distancias entre postes y adicionar la información de las direcciones y referencias que faciliten la identificación del lugar a la hora de la ejecución del proyecto en campo.

Actividad 6: Generar un archivo PDF, con su respectivo rótulo, notas y el plano con el diseño para ser entregado y aprobado.

---

## VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el desarrollo de la práctica, se lograron realizar las actividades descritas en la metodología, abarcando todo lo que corresponde al alumbrado público en su fase de diseño. En esta sección se muestran los resultados del proceso de diseño, partiendo del levantamiento de información en campo hasta la entrega del plano final para su posterior revisión y aprobación.

### *A. Georreferenciación y levantamiento de información en campo*

Se parte de la referenciación geográfica de todo el municipio de Envigado, separando este por barrios. Esto permite que la logística a la hora de coordinar cuadrillas sea más sencilla, pues si se tiene la separación por barrios del municipio se puede dividir el trabajo del levantamiento en campo, buscando hacer un trabajo más eficiente en lo que respecta a esta primera actividad del diseño. Una buena herramienta para esto es la base de datos de georreferenciación de la página de trámites, servicios e información del estado colombiano [8].



Fig. 6. Ubicación georreferenciada de barrios en el municipio de Envigado.

---

La Figura 6, muestra todo el territorio del municipio de Envigado separado por barrios. En cada uno de estos se hizo el levantamiento de información en campo. En el levantamiento debe quedar clara la información necesaria para el diseño: ancho de vía, andén adyacente si aplica, separación entre postes existentes, altura del poste, tipo de brazo a utilizar y potencia de la luminaria.

En el caso de este proyecto, se buscó una manera más eficiente a la hora de realizar el levantamiento, usando la herramienta de Google Maps que permite dar una referencia más clara del lugar en el que se está, adicionando la coordenada y dibujando sobre el mismo mapa los diferentes postes, sean existentes o proyectados, con las distancias de estos y una descripción acompañada de la imagen, donde se especifiquen los datos necesarios que permita al diseñador tener absoluta claridad sobre los parámetros del lugar donde se hizo el levantamiento. Esto fue especialmente útil en los levantamientos en zona rural, donde era difícil dar una referencia clara (calles, carreras, locales cercanos etc.), debido a que en muchas ocasiones solo se contaba con una vía y algunas casas alrededor lo que dificultaba dar una referenciación clara. Además, al ser un levantamiento nocturno, pues era necesario para la medición de luxes y la identificación de puntos oscuros que fuera de noche, la herramienta de Google Maps logró ser de gran utilidad.

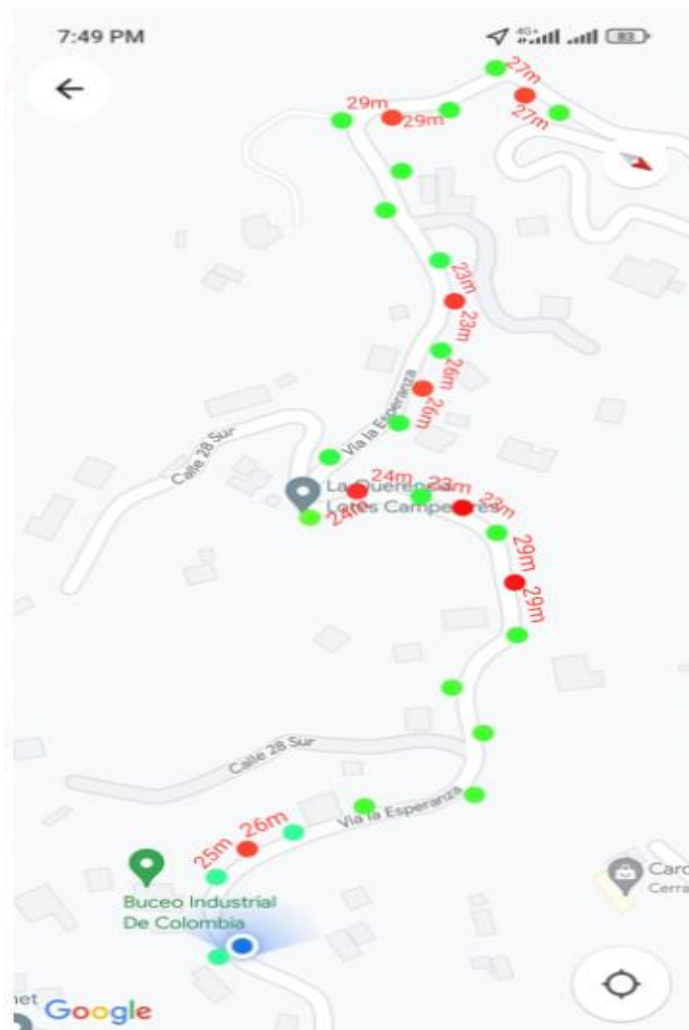


Fig. 7. Levantamiento de información en campo mediante Google Maps.

La Figura 7, muestra el levantamiento realizado en una de las zonas rurales del municipio de Envigado. Es importante anotar que la convención usada en el proyecto con respecto a los postes fue tomar los puntos verdes como postes existentes y los puntos rojos como postes proyectados. En la Figura también se muestra las distancias de separación entre los distintos postes, existentes y proyectados. Cada imagen se acompañaba de un texto descriptivo que diera claridad de los parámetros necesarios para el diseño. En este caso se tiene la siguiente descripción:

- postes existentes con luminaria de vía también existente.
- postes proyectados.

“Se proyectan los postes mostrados cada uno de 8m, con luminaria de 60W y brazo 52/0. Para este tramo se tiene un ancho de vía de 6m”.

La imagen de Google Maps con todos los parámetros que se deben tener en cuenta representan el levantamiento de información en campo. Este mismo ejercicio se hizo en cada una de las zonas de los diferentes barrios de Envigado donde se veía la necesidad de adicionar luminarias debido a punto oscuros y en las zonas donde se tenía luminaria de sodio, para cambiar esta por luminaria LED.



Fig. 8. Levantamiento en campo (zona urbana).

La Figura 8, muestra otro ejemplo de los diferentes levantamientos de información en campo realizados, en este caso la descripción en la imagen es la siguiente: “levantar dos postes de 8m con luminaria peatonal de 40W, utilizando un brazo del tipo 600/Tranvía”. Adicional a esto, para presentar un informe final a la interventoría y justificar el levantamiento, se debía llevar registro fotográfico donde se evidenciara el lugar en el cual se hizo la medida y el valor que arrojó la medición con el luxómetro, como se muestra a continuación:





Fig. 9. Registro fotográfico del levantamiento de la zona.



Fig. 10. Registro fotográfico de la medición.

Las Figuras 9 y 10 muestran dos de los diferentes registros fotográficos del levantamiento en zonas oscuras, estas fotografías se utilizan en la elaboración de un informe final que sirve como prueba de la solución integral propuesta para el mejoramiento y modernización del alumbrado público, y que justifica el porqué de los levantamientos en los puntos que se hicieron. En las fotos se deben evidenciar la medida que arrojó el equipo en esa zona, donde se muestre que efectivamente es zona oscura que necesita un complemento de iluminación. Cabe aclarar que, el registro fotográfico es para los complementos de iluminación, es decir, los puntos oscuros. En los casos donde se tenía luminaria de sodio, simplemente se hacía el levantamiento y se realizaba el cambio “uno a uno” esto significa que con la misma infraestructura existente se hace el cambio de la luminaria de sodio por la luminaria LED que aplique. Además, el RETILAP en su sección 530.2 expone los métodos de cálculo de iluminancia promedio en una vía. En el caso de este proyecto se aplicó en la medida el método de los 9 puntos. En este método es necesario ubicar cada uno de estos puntos de cálculo sobre la porción típica de la vía considerada, definiendo un rectángulo de

área largo ( $s/2$ ) por ancho ( $w$ ). De este modo, tal rectángulo se divide en cuatro partes, dos longitudinales y dos transversales, de modo que los puntos a considerar son cada uno de los vértices de los nuevos rectángulos generados. “S” representa la separación entre luminarias y “W” el ancho de vía.

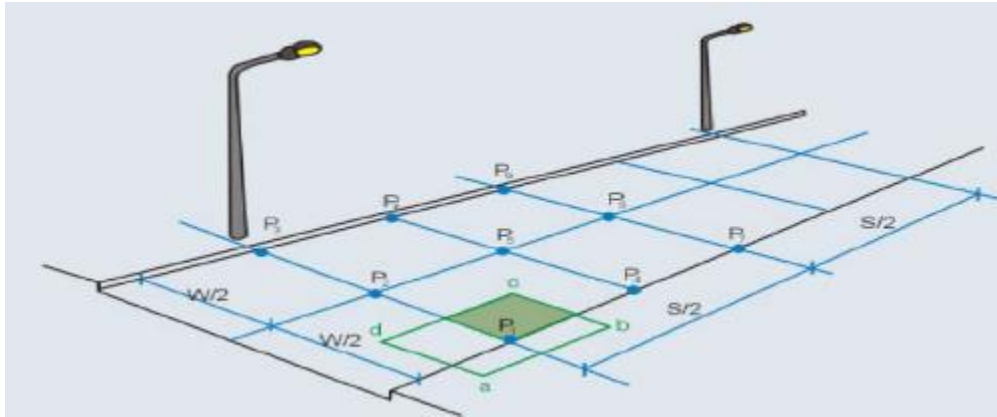


Fig. 11. Método de los 9 puntos para cálculo de iluminancia en vías [2].

A partir de la lectura de la iluminación en los 9 puntos, la iluminación promedio sobre la vía se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2x(E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4xE_5] \quad (2)$$

Los resultados obtenidos y cada uno de los diseños hechos se resumen básicamente en la aplicación de la sección 510 consideraciones técnicas del diseño de alumbrado público del RETILAP. En esta sección se expone todo lo necesario y los valores a cumplir a la hora de hacer los diseños.

En primera instancia, se debe distinguir cada uno de los tipos de vía vehiculares que se tomaron en cuenta, la sección 510.1.1 describe estas así:

Clase de Iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
		Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M1	Autopistas y carreteras	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas.	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M3	Vías principales y ejes viales.	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M4	Vías primarias o colectoras	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100
M5	Vías secundarias				

Fig. 12. Clases de iluminación para vías vehiculares [2].

En el proyecto las vías tenidas en cuenta fueron M3 y M4, pues las autopistas de la zona ya contaban con una modernización del alumbrado y con un cumplimiento con el reglamento en términos de iluminancia. Adicional a esto, en las zonas urbanas principalmente se realizaron diseños para alumbrado peatonal, pues las necesidades en vía eran más notorias en la zona rural. Para este diseño, se tomó en cuenta la sección 510.1.2 de vías para tráfico peatonal del RETILAP.

DESCRIPCIÓN DE LA CALZADA	CLASE DE ILUMINACIÓN
Vías de muy elevado prestigio urbano	P1
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	P2
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	P3
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.</i>	P5
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. <i>Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente</i>	P6
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias	P7

Fig. 13. Clases de iluminación para diferentes tipos de vía en áreas peatonales [2].

En el proyecto, al tener en consideración la vía pública, se tomaron en consideración los tipos de áreas peatonales P2 y P3.

Una vez aclarados los tipos de vía, se evaluaba cuáles eran los requisitos de iluminancia a cumplir para esa vía. La sección 510.2.1 expone que se podrán hacer diseños con base en criterios de iluminancia para vía que se muestran a continuación:

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficie de la vía [Luxes]			Uniformidad de la iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	$E_{min} / E_{prom}$ (%)
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fig. 14. Mínimos mantenidos de iluminancia promedio en vías [2].

Se toman para los diseños los valores en el recuadro, dado que las vías son M3 y M4 y el tipo de superficie se normaliza en R2, la cual es una superficie de asfalto con textura rugosa y

agregados normales. Con lo anterior, el valor a cumplir en las simulaciones para vías vehiculares debe estar por encima de 17 Luxes y 12 Luxes para vías M3 y M4 respectivamente.

Adicional a esto, se tiene en cuenta la sección 510.3 de niveles exigidos de luminancia e iluminancia en alumbrado público. Donde de acuerdo con los tipos de vías de cada municipio, los sistemas de alumbrado público se deben diseñar y construir con los valores fotométricos de la tabla 510.3 a. El diseño de iluminación debe considerar no solamente las calzadas vehiculares, sino las ciclorutas y los andenes adyacentes si aplican.

Tipo de vía	Calzadas vehiculares				Ciclo-rutas adyacentes		Relación de alrededores		
	$L_{prom}$ cd/m <sup>2</sup>	$U_o$ ≥ %	$U_l$ ≥ %	TI ≤ %	$E_{prom}$ luxes	$U_o$ ≥ %	$E_{prom}$ luxes	$U_o$ ≥ %	SR %
M1	2,0	40	50	10	20	40	13	33	50
M2	1,5	40	50	10	20	40	10	33	50
M3	1,2	40	50	10	15	40	9	33	50
M4	0,8	40	N.R.	15	10	40	6	33	N.R.
M5	0,6	40	N.R.	15	7.5	40	5	33	N.R.

Fig. 15. Requisitos mínimos de iluminación para vías [2].

Se resaltan las vías M3 y M4 las cuales son las de aplicación en este proyecto.

Finalmente, los requisitos de iluminancia para andenes peatonales se exponen en la sección 510.2.2 Requisitos de iluminación para vías peatonales y ciclistas del RETILAP. Se presenta una tabla donde se tienen los valores de luxes mínimos mantenidos según el tipo de vía peatonal y el valor medio de luxes.

Clase de iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	No aplica	No aplica

Fig. 16. Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal [2].

*B. Planos base en AutoCAD para simulación*

Una vez realizados los levantamientos y tenido en cuenta los requerimientos normativos para los diseños de AP, se procede a la simulación en software. En primera instancia, para cada zona del municipio de Envigado se realizaba un croquis de esta mediante AutoCAD, esto con el fin de reproducir con exactitud la zona. El proceso fue el siguiente: tomando el levantamiento hecho mediante Google Maps, se tomaba esta imagen y se pegaba en AutoCAD, la ubicación de los postes se calcaba y se tomaba la medida del brazo que correspondiera. Una vez hecho esto, el archivo se exportaba al software Dialux para la simulación. La zona plasmada en AutoCAD quedaba de la siguiente manera:

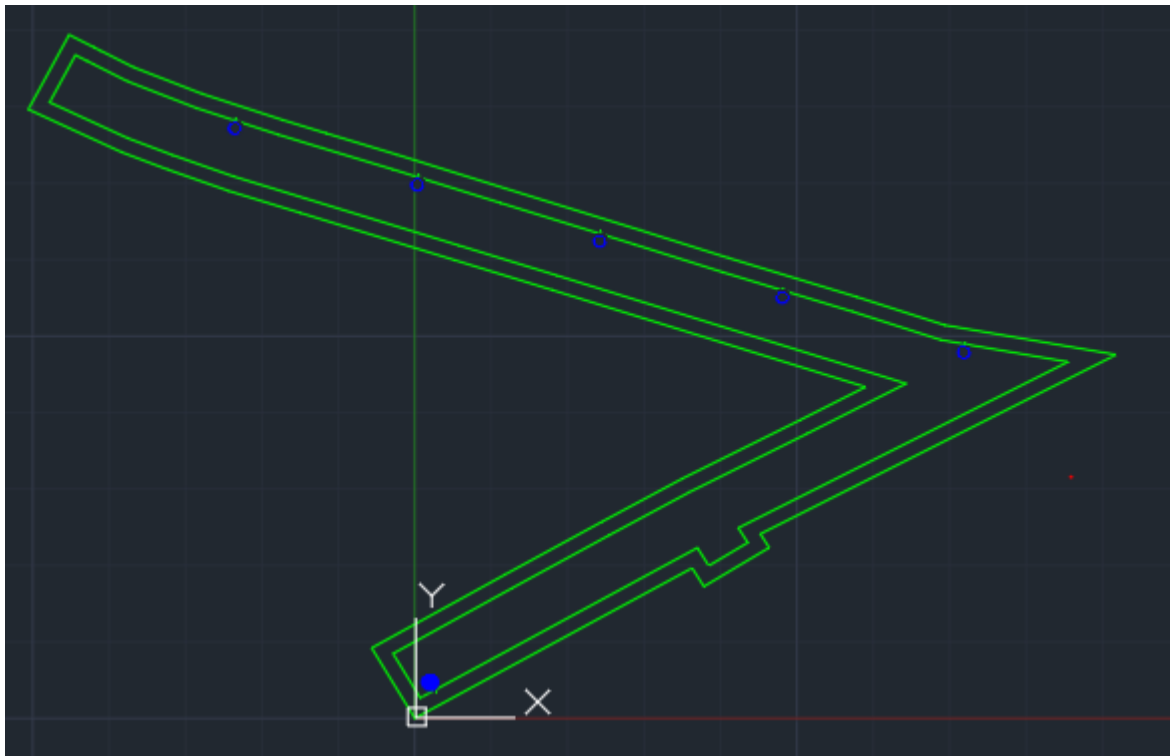


Fig. 17. Plano base para andén con los datos del levantamiento (vista en planta).

La Figura 17, muestra un ejemplo del plano base para exportar al Dialux de un levantamiento en uno de los tramos del barrio Las Casitas, donde se proyecta mejora de iluminación para andén peatonal. Se toman los datos de ancho de vía, separación entre postes, brazo a utilizar y postes existentes y proyectados para realizar este plano. En este caso las circunferencias rellenas representan postes existentes y las circunferencias sin relleno los postes proyectados.

Adicional a las simulaciones hechas para distintos tramos de andén y la que se presenta como ejemplo en la Figura 16, es importante tener en cuenta los tramos de vía. Se toma como ejemplo un tramo de vía en una de las zonas rurales del municipio, el cual no contaba con iluminación y precisaba de una proyección de alumbrado público. El plano base con los datos del levantamiento se muestra a continuación:

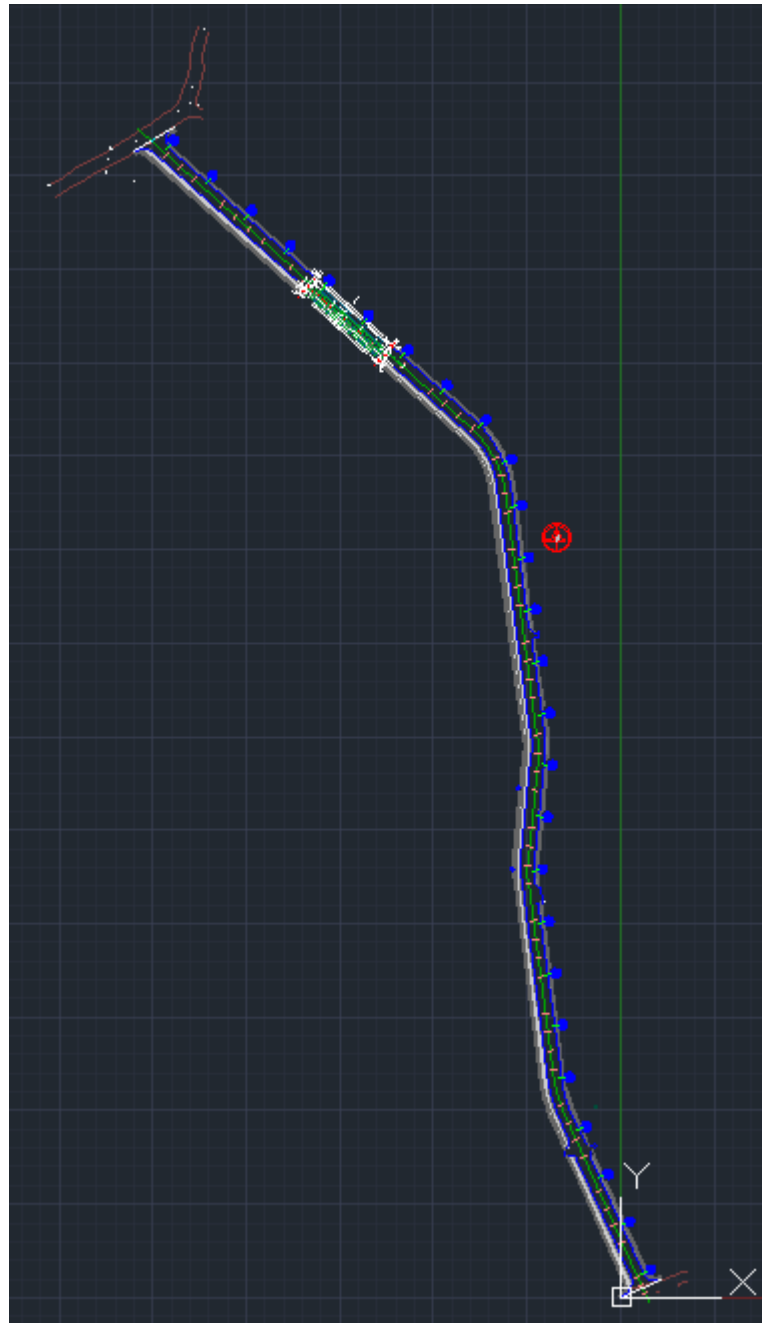


Fig. 18. Plano base con los datos del levantamiento en zona de vía vehicular (vista en planta).

La Figura 18 muestra el plano base del tramo de vía en zona rural de Las Palmas. Mediante el levantamiento hecho y con los datos tomados en este, se realiza el plano que será exportado a Dialux para la simulación y así obtener los datos luminotécnicos que permiten mostrar un cumplimiento con los dictámenes del reglamento.

### C. Simulación en software Dialux y resultados luminotécnicos

Los archivos de los planos base se exportan a Dialux y mediante este software se realizan las simulaciones correspondientes para obtener los datos de iluminancia y compararlos con lo que dicta la sección 510 del RETILAP.

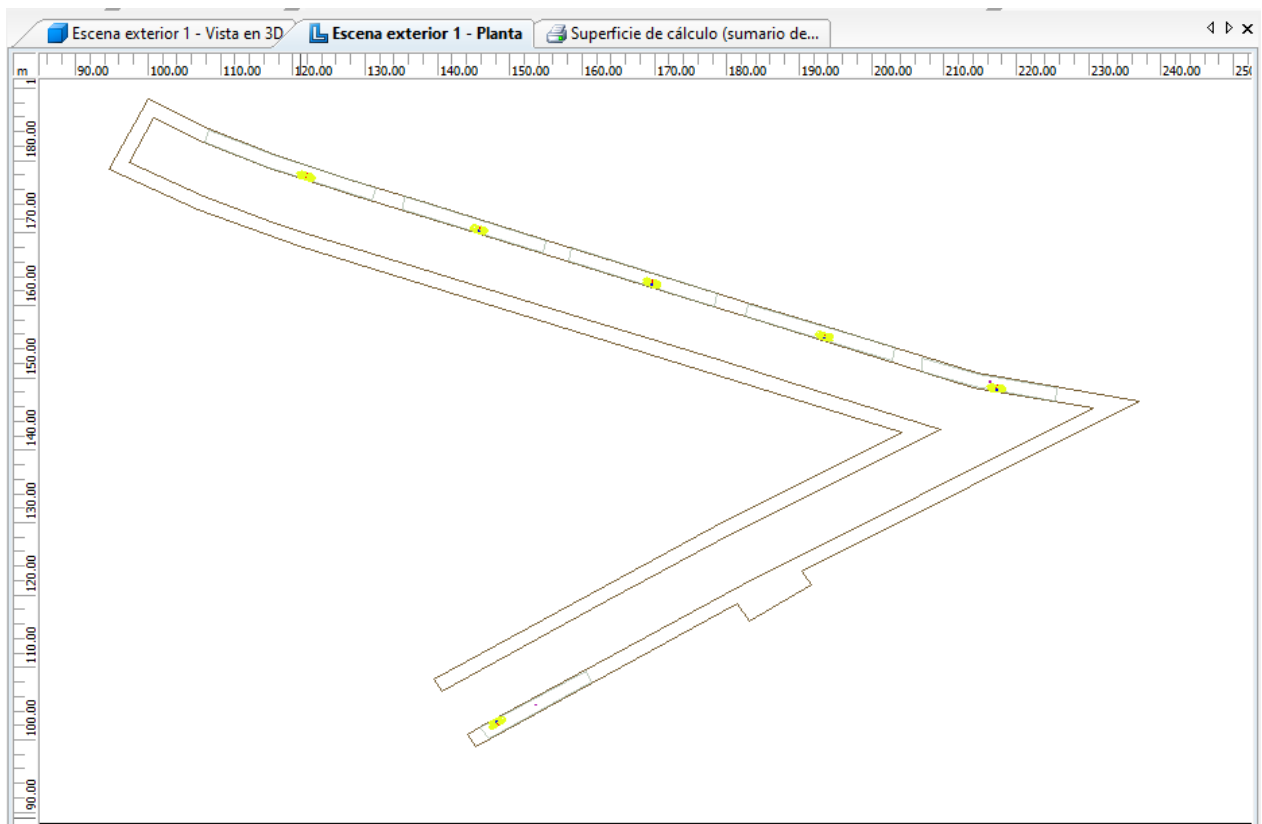


Fig. 19. Vista en planta de la simulación de alumbrado público para andén en Dialux.

La Figura 19, muestra el tramo de vía de andén simulado. En la simulación se usaba el croquis exportado de AutoCAD y se adicionaban las luminarias correspondientes, en este caso 40W pues se trataba de un tramo de andén peatonal.



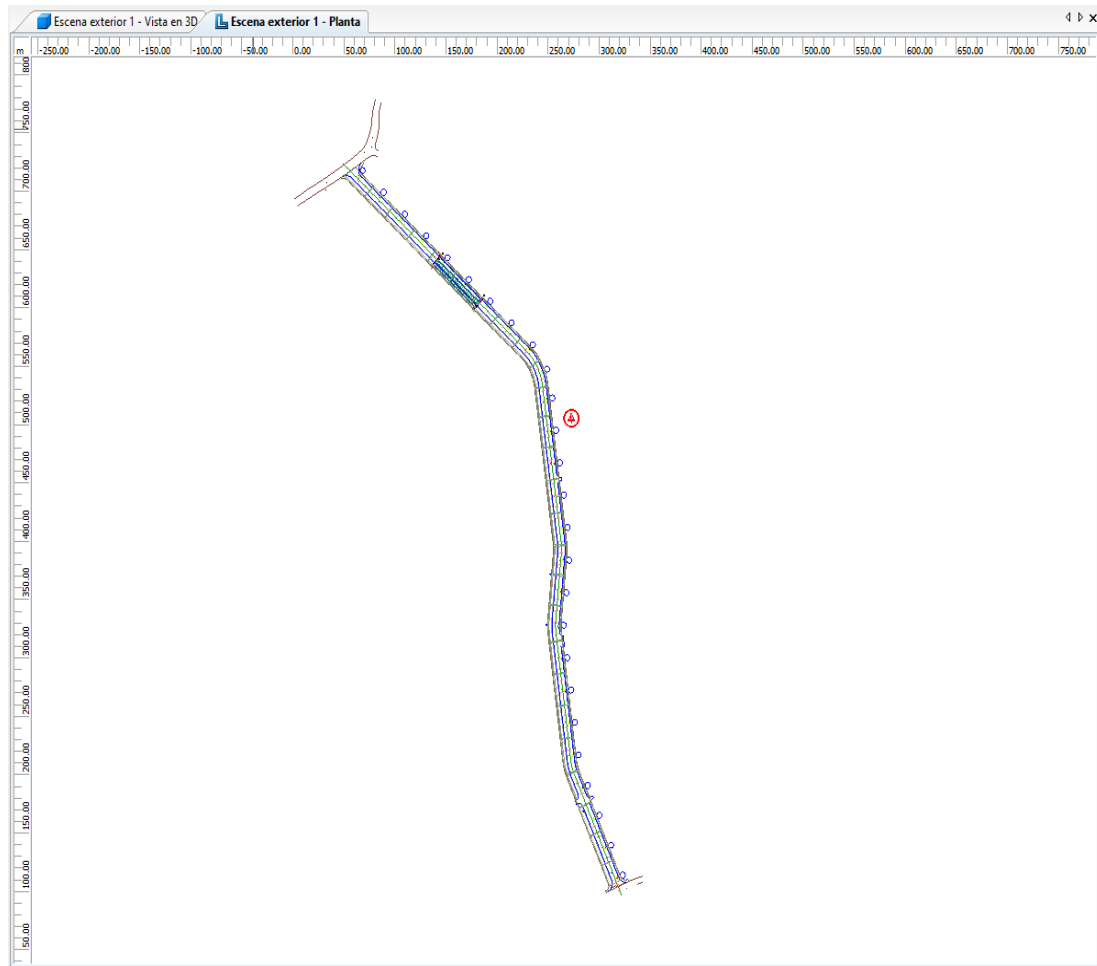


Fig. 20. Vista en planta de la simulación de alumbrado público para el tramo de vía en Dialux.

La Figura 20 muestra el tramo de vía en el software Dialux, con la longitud de vía medida y los postes proyectados con sus respectivas interdistancias, pues como se dijo, en este caso se tiene una proyección completa pues en la zona no se cuenta con red de alumbrado público.

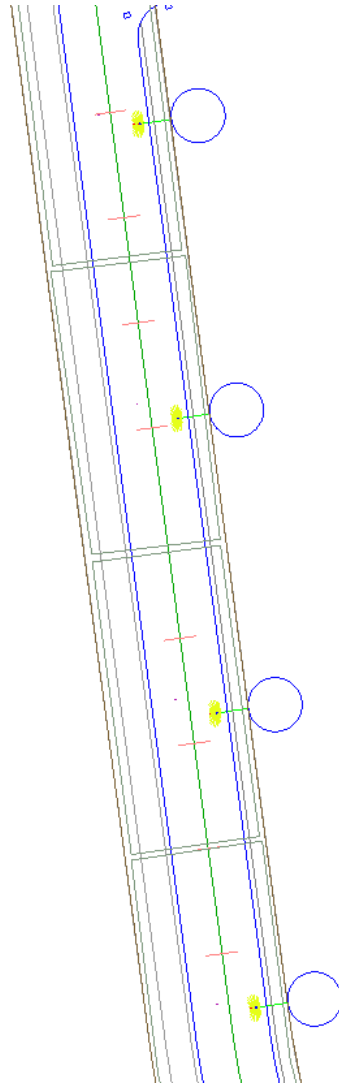


Fig. 21. Zoom a la vista en planta de la simulación del tramo de vía.

En los postes y brazos proyectados se ubica la luminaria respectiva para la vía. En este caso se tenía un tipo de vía M3 y se tomaba luminaria LED de 90W para la simulación.

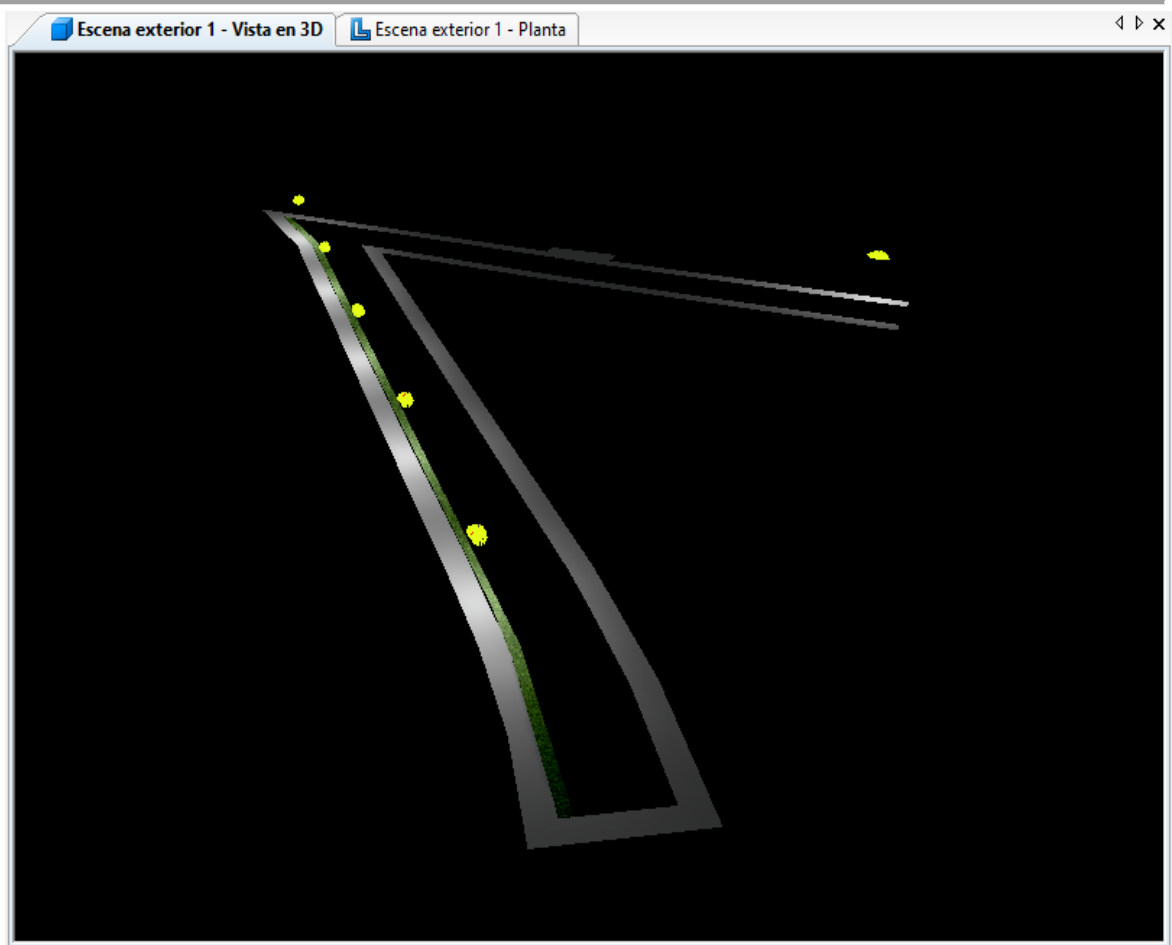


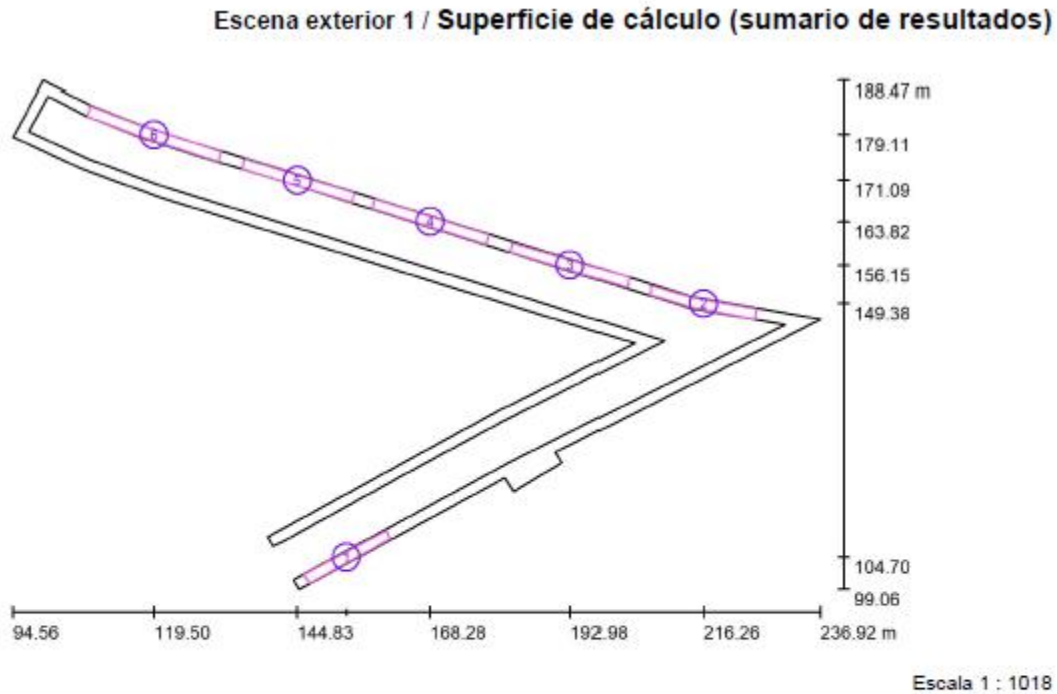
Fig. 22. Vista 3D del tramo de andén simulado.

Una vez hecha la simulación, el software arroja una lista de resultados según las superficies de cálculo definidas. Como este tramo se trataba de un complemento de iluminación para zonas oscuras en andén, separado de la vía por una franja de zona verde como lo muestra la Figura 22, se debía cumplir con los valores estipulados según la sección 510.2.2 de requisitos de iluminación para vías peatonales según el RETILAP. Debido a que esta zona de andén es de utilización moderada por peatones, se toma como clasificación P3, donde se debe cumplir un mínimo mantenido de 1.5 luxes.



Fig. 23. Vista 3D del tramo de vía simulado.

Para este caso, al tratarse de una vía M3, se debe cumplir con los datos de la tabla de la sección 510.2.1 del RETILAP y la tabla de la sección 510.3.



**Lista de superficies de cálculo**

N°	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	ANDEN 1	perpendicular	128 x 16	21	3.22	42	0.153	0.078
2	ANDEN 2	perpendicular	128 x 16	25	10	42	0.409	0.243
3	ANDEN 3	perpendicular	128 x 16	24	9.25	42	0.392	0.220
4	ANDEN 4	perpendicular	128 x 16	24	8.95	42	0.379	0.213
5	ANDEN 5	perpendicular	128 x 16	24	9.43	42	0.388	0.224
6	ANDEN 6	perpendicular	128 x 16	21	3.17	42	0.154	0.076

Fig. 24. Sumario de resultados luminotécnicos de la simulación para el tramo de andén.

Los resultados presentados muestran un resumen en términos de Luxes para el tramo de andén simulado. Como se puede observar, los valores de mínimo mantenido se cumplen en cada una de las 6 superficies de andén definidas. En este caso, la relación  $E_{min}/E_m$  representa la uniformidad de iluminancia para cada tramo y  $E_m$ , representa la media de Luxes en cada tramo de andén, donde se evidencia que se cumple con los requisitos normativos en lo que respecta a los andenes peatonales. Para los andenes la uniformidad pierde relevancia, pues las exigencias en este rubro se toman principalmente para las simulaciones en vía vehicular.

*a. Perfil de iluminación en Dialux para zonas sin red de AP.*

Es importante aclarar que, en el caso mostrado del tramo de vía M3, como no se podía tomar medidas de separación de postes en el levantamiento en campo realizado en este tramo de vía, dado que era una red nueva la que se estaba proyectando, era necesario realizar un perfil de iluminación. Este perfil se hace mediante Dialux, lo que se busca es conocer cuál es la distancia de separación de postes necesaria según el tipo de vía para cumplir con los requerimientos del RETILAP y de esta manera proyectar los postes con la separación máxima permitida, es decir, la separación de postes a partir de la cual no se cumple con los requerimientos de iluminancia, uniformidad y deslumbramiento.

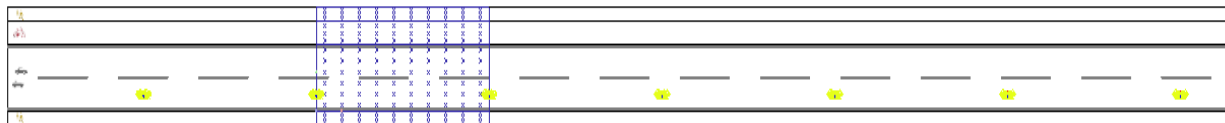


Fig. 25. Perfil de iluminación para el tramo de vía.

En la Figura 25, se muestra el perfil de iluminación. Para realizar este perfil se tomaban los datos de ancho de vía, ancho de andén (si aplica), altura de la luminaria a proyectar y potencia de la luminaria. Los parámetros de separación entre postes y ángulo de inclinación de las luminarias eran variables y se jugaba con estos datos buscando el valor con el cual se cumplía lo dictado por el RETILAP que en este caso se resume en la tabla 510.3 a. Los resultados fueron los siguientes:

Lista del recuadro de evaluación

1	<p>Recuadro de evaluación Calzada 1                      Longitud: 28.000 m, Anchura: 7.000 m                      Trama: 10 x 6 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.                      Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070                      Clase de iluminación seleccionada: ME2</p>	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
		1.81	0.62	0.83	7	0.78
2	<p>Recuadro de evaluación Camino peatonal 1                      Longitud: 28.000 m, Anchura: 1.500 m                      Trama: 10 x 3 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.                      Clase de iluminación seleccionada: CE5</p>					
				$E_m$ [lx]		U0
				16.94		0.84
3	<p>Recuadro de evaluación Camino peatonal 2                      Longitud: 28.000 m, Anchura: 1.500 m                      Trama: 10 x 3 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.                      Clase de iluminación seleccionada: CE5</p>					
				$E_m$ [lx]		U0
				21.45		0.77
4	<p>Recuadro de evaluación Camino para bicicletas 1                      Longitud: 28.000 m, Anchura: 2.400 m                      Trama: 10 x 3 Puntos                      Elemento de la vía pública respectivo: Camino para bicicletas 1.                      Clase de iluminación seleccionada: S6                      Clase de iluminación adicional ES: ES9</p>					
		$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]			$E_{min}$ (semicil.) [lx]
		20.84	16.56			6.90

Fig. 26. Resultados luminotécnicos del perfil simulado.

La Figura 26 muestra los resultados luminotécnicos una vez se varía la separación entre postes y el ángulo de inclinación de las luminarias y se encuentra el valor óptimo. Los datos que arroja Dialux en términos de luminancia (cd/m<sup>2</sup>), U<sub>0</sub> (uniformidad) y TI (deslumbramiento) se comparan con los datos de la tabla 510.3 a del RETILAP tanto para vía como para andenes adyacentes del tipo M3. Se verifica el cumplimiento de cada uno de estos ítems y se procede a realizar el plano de diseño con los datos de separación de postes obtenidos e inclinación de luminarias. Para este caso, una vez cumplidos los valores, se obtuvo una separación de postes de 28m y una inclinación de luminaria de 0°.

#### D. Plano con diseño

Una vez realizada la simulación se exporta de nuevo a AutoCAD para presentar el plano final del diseño de alumbrado público, donde se especifican las luminarias a utilizar, el tipo de brazo, la interdistancia entre postes y las coordenadas que ayuden a la identificación del lugar una vez se vaya a realizar la obra civil en campo. Se presentan los planos de los dos casos mostrados en este informe, alumbrado para andén y alumbrado de vía proyectado con red. Los casos de

alumbrado para vía que se proyectaban como complemento al alumbrado existente y donde ya se contaba con red son análogos al caso de alumbrado de andén presentado.

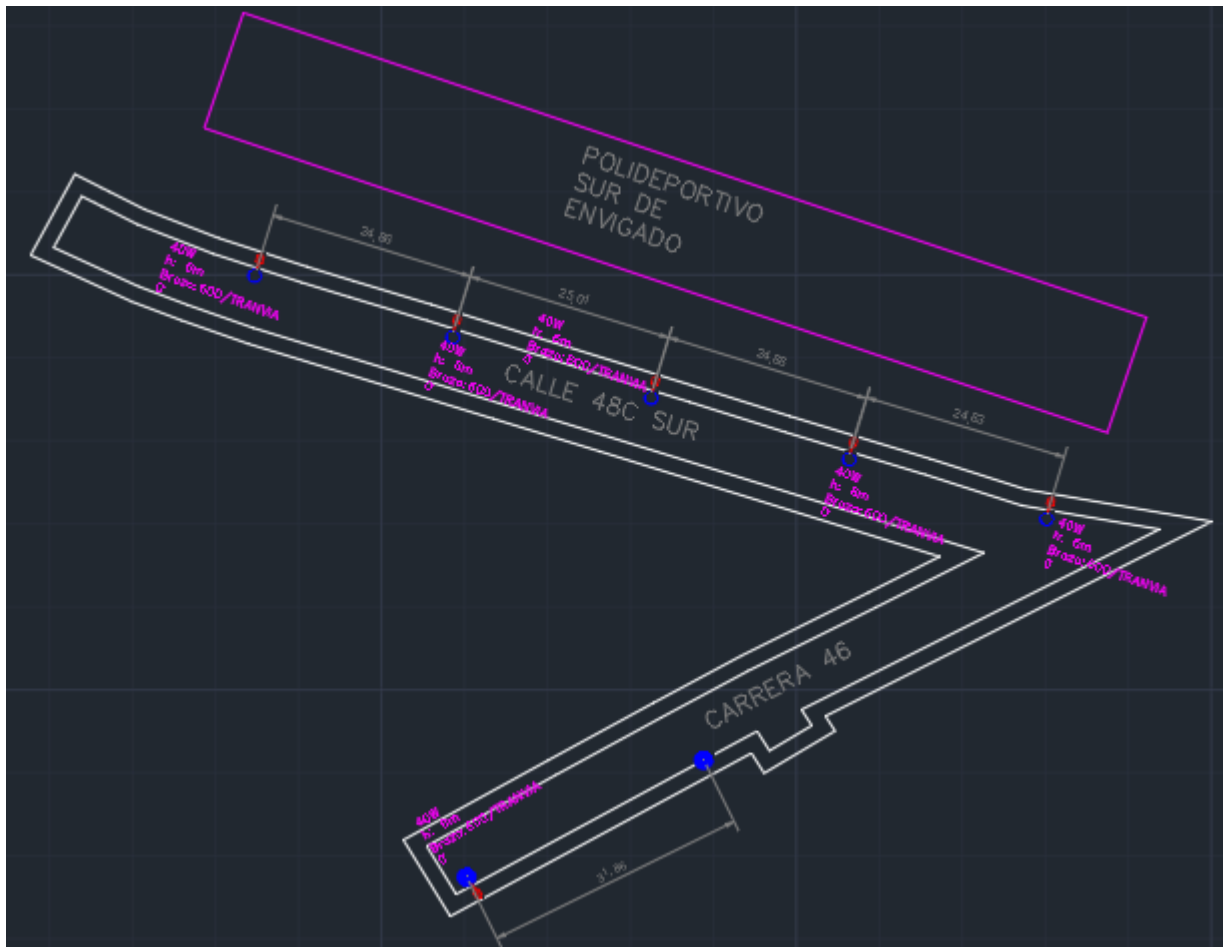


Fig. 27. Plano con diseño de alumbrado público para andén.

En la Figura anterior se muestra el plano de la zona de andén especificada, recordar que según la convención, los postes con relleno son existentes y los postes sin relleno son proyectados. En este caso que se toma como ejemplo las luminarias proyectadas son de 40W, ideales para andenes peatonales y el brazo a utilizar es 600/Tranvía, el cual es un brazo corto (60cm) y con 0° de inclinación que es de común uso para vías peatonales.



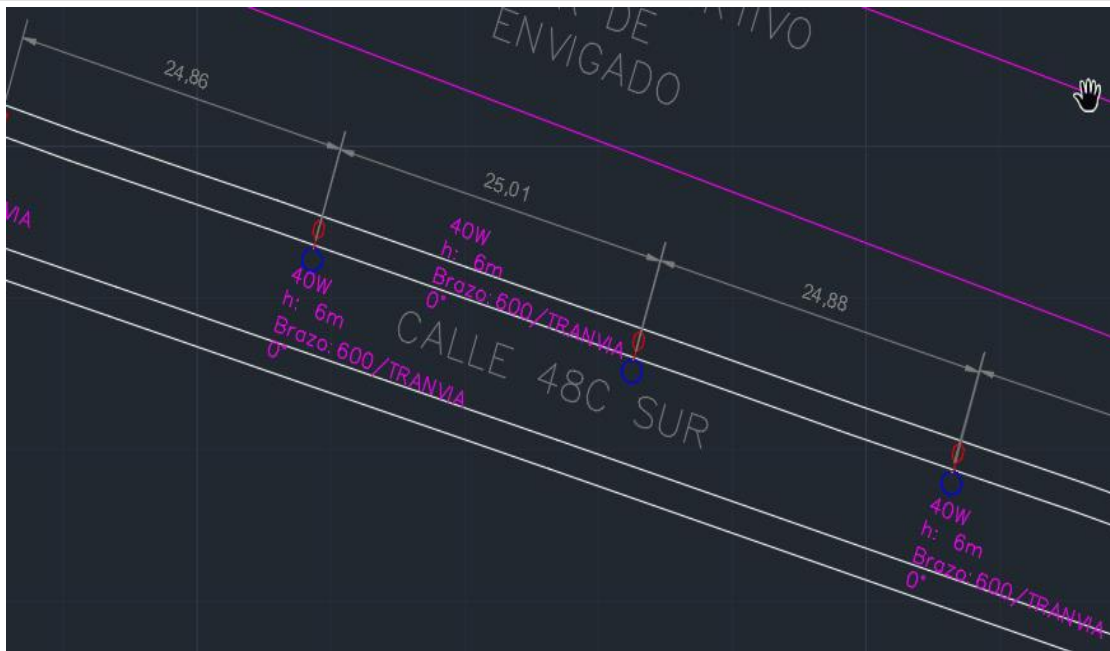


Fig. 28. Zoom para detalle del plano presentado.

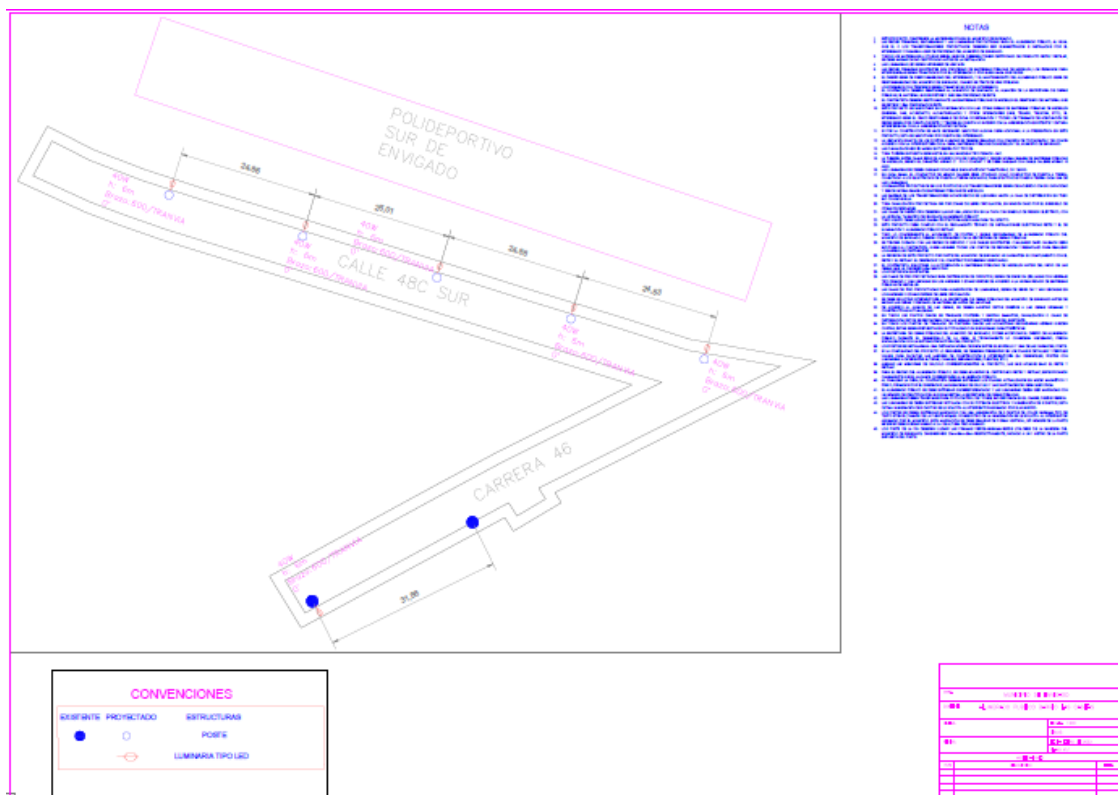


Fig. 29. Archivo pdf con diseño eléctrico para alumbrado público.

Una vez realizado el diseño se presenta un archivo pdf, el cual contiene el rótulo respectivo, el cuadro de convenciones, las notas del diseño y el plano como tal, con los detalles respectivos.



Fig. 30. Plano de diseño para vía vehicular con red proyectada.

El plano con el diseño de vía requiere un mayor detalle. Adicional a lo presentado en el plano de andén con red de alumbrado público existente, se debe tener en cuenta el cableado y calibre de este, que para este caso se toma Nro. 2 con aislamiento THWN. Es de anotar que, para el caso de alumbrado público, los circuitos se toman bifásicos por lo que se tendrán dos conductores número 2 y número 6 Cu para la tierra. Estos calibres, dado que se tiene un consumo bajo de energía por parte del AP, se calculan por regulación, respetando el 3% de caída de tensión. En este caso el

principal ítem a tener en cuenta es la distancia, pues a mayor distancia de la fuente mayor es la caída de tensión. Adicional al cableado, para este caso se plantea una red subterránea con las respectivas cajas de paso de concreto bajo la norma de EPM RS3-001 y RS4-001 en la que se especifican las dimensiones de esta, la resistencia del material de concreto y las respectivas canalizaciones en zona verde y andén. La canalización en esta zona se tomaba en zona verde.

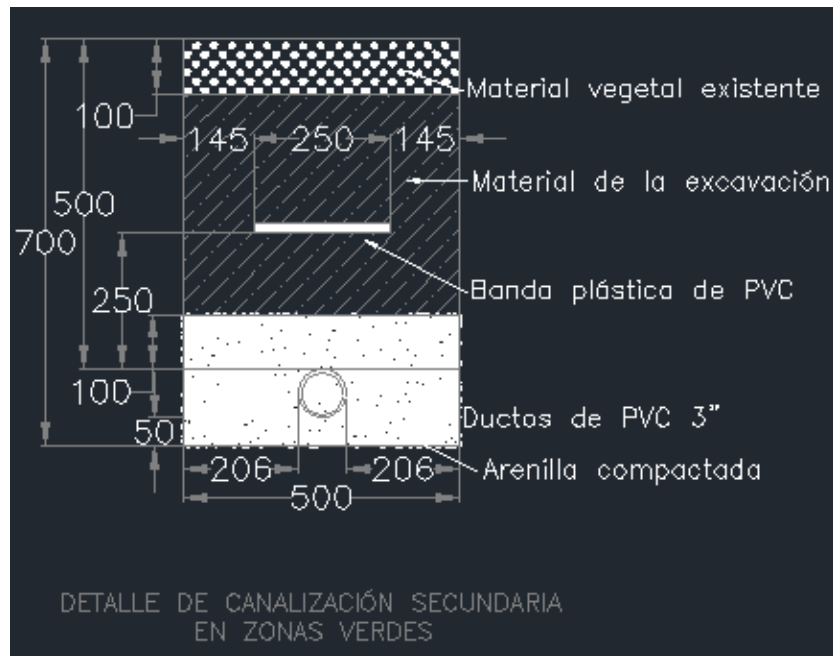


Fig. 31. Canalización de red en zona verde.

Todos estos detalles deben tenerse en cuenta en el plano, desde las cajas a utilizar, el cable, las distancias, si la red es subterránea o aérea, la luminaria, su potencia y su brazo. Cada detalle es clave para dar claridad al constructor y que el diseño tenga una implementación adecuada luego de ser aprobado.

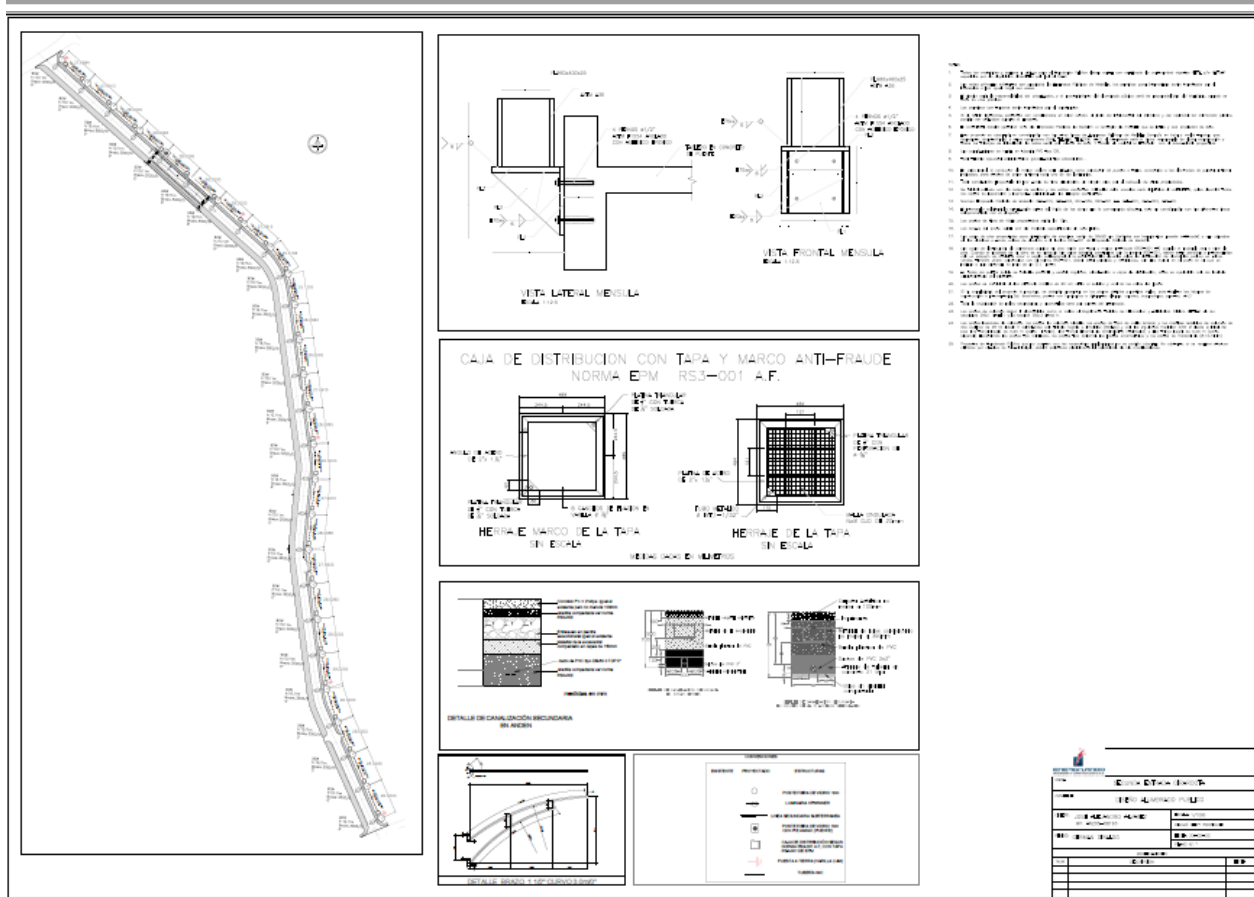


Fig. 32. Plano de diseño en pdf.

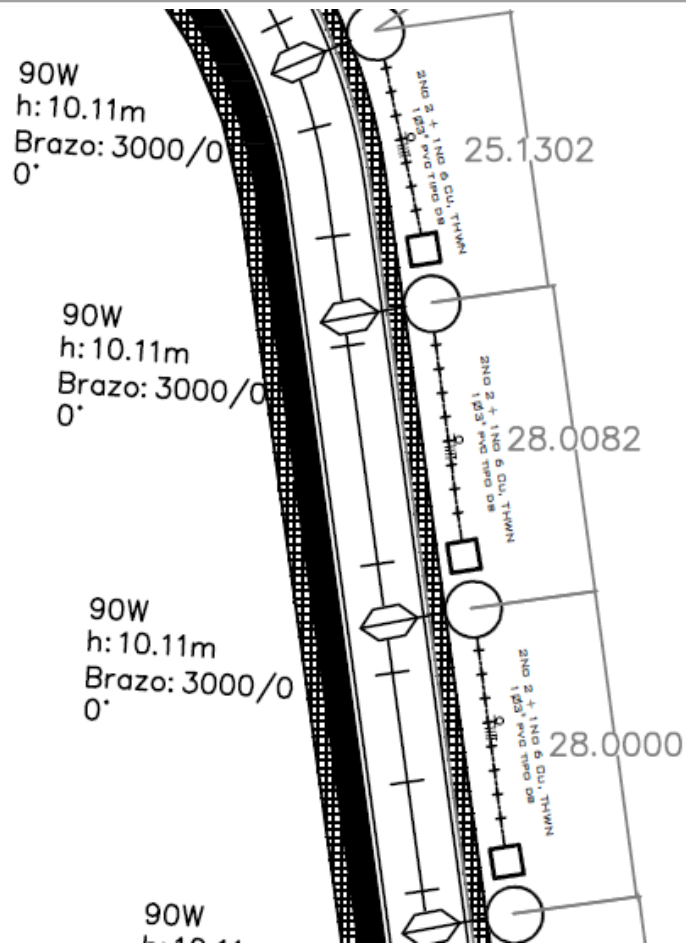


Fig. 33. Zoom al plano de diseño.

El archivo con el plano es el paso final, en este están contenidos todos los detalles del diseño, así como las convenciones utilizadas y notas que se crea necesario adicionar. Los diseños son revisados y se espera una retroalimentación de ser necesaria.

---

## VII. CONCLUSIONES

El conocimiento del reglamento RETILAP es clave a la hora de llevar a cabo un proyecto de iluminación, en este caso alumbrado público. Saber cuales son los requerimientos a cumplir, los conceptos que se deben aplicar y los pasos a seguir en un diseño según el reglamento, permite realizar diseños que vayan acorde a este y que la aprobación para su posterior ejecución sea factible.

El uso de las herramientas de software de simulación como Dialux, son de gran utilidad y de constante aplicación en el ámbito de los diseños eléctricos. Saber manejar adecuadamente estas herramientas modificando los parámetros como la distancia, potencia e inclinación para cumplir con el reglamento es vital para realizar un buen diseño. Cualquier diseñador debe conocer estas herramientas.

Los levantamientos de información en campo como primera parte del diseño de alumbrado público son de especial cuidado, pues es en esta etapa del proyecto donde se debe ser lo más claro posible al plasmar en el papel lo que se ve y se mide en el lugar. Se debe mostrar claridad en los datos de distancia, poste, ubicación y demás elementos para que en el momento de realizar el diseño se ejecute de manera óptima, evitando malas interpretaciones.

En el caso donde no se contaba con red de alumbrado público, los perfiles de iluminación representaron una gran herramienta para hacer una proyección de separación entre postes, alturas, potencia de luminaria y brazo para presentar un diseño con los datos del perfil que cumpla con el reglamento en términos de luminancia, uniformidad y factor de deslumbramiento.

La participación en este proyecto de alumbrado público, permitió afianzar conceptos estudiados durante el pregrado en lo relacionado a iluminación, redes, normativa y eficiencia de la energía, lo que aporta a una interiorización del conocimiento y entendimiento de los procesos.

---

## REFERENCIAS

- [1] G. S. Olivar-Castellanos, L. G. Vela-Valdés, J. Aguayo- Alquicira, G. S. Olivar-Castellanos, L. G. Vela-Valdés, y J. Aguayo- Alquicira, «Control por ganancias programadas aplicado a un convertidor DC-DC para la regulación de la intensidad luminosa de una lámpara LED», *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, n.º 29, pp. 66-78, 2023, doi: 10.17163/ings.n29.2023.06.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP», 2010.
- [3] M. A. S. Cruz, «Análisis de costo / beneficio en la implementación de sistemas de iluminación led en la construcción de vivienda multifamiliar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá», Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2015.
- [4] A. Serrano-Tierz, A. Martínez-Iturbe, O. Guarddon-Muñoz, y J. L. Santolaya-Sáenz, «Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso», *DYNA*, vol. 82, n.º 191, pp. 231-239, jun. 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n191.45442.
- [5] Alcaldía de Medellín, «Manual de procedimientos de alumbrado público del municipio de Medellín». 2018.
- [6] Empresas Públicas de Medellín, «Norma técnica ET-TD-ME04-01: Especificación técnica para postes de concreto». 2019.
- [7] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), «Cartilla de Alumbrado Público». 2012.
- [8] Gobierno de la República de Colombia, «Ordenamiento territorial -Barrios del municipio de Envigado».