



**PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN
DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA
DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CONCESIONARIA
CLYFSA DE LA CIUDAD DE VILLARRICA.**

Victor Manuel Alderete González

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay**

Año 2018

**PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN
DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA
DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CONCESIONARIA
CLYFSA DE LA CIUDAD DE VILLARRICA.**

Elaborado por

Victor Manuel Alderete González

Tutor

Ing. Jorge Larramendia

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en
Electricidad

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2018**

/PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

A Dios y a la Virgencita de Caacupé por las bendiciones y fortaleza espiritual que me han dado para llegar a este logro tan importante en mi vida.

A mi mamá María Dionicia, amor e inspiración de mi vida, que con su esfuerzo incansable me dio la oportunidad de alcanzar esta meta y con su amor incondicional acompañándome en todo este tiempo.

A mi papá José, mi orgullo y ejemplo a seguir, que desde el cielo siempre me bendice y me guía.

A mi hermano Nelson Antonio que siempre me brindó su confianza y apoyo.

A mis tíos José y Lilia, por la ayuda y apoyo que me brindaron durante todo este tiempo.

A mis compañeros y amigos de la Facultad de Ciencia y Tecnología, por todos los momentos vividos de lucha constante y también de alegría.

Agradecimientos:

Al Ing. Jorge Larramendia por su colaboración como tutor, aporte de sus sabios conocimientos y el apoyo desinteresado para la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Cesar Ferreira, por su dirección y excelente corrección del proyecto

A todos los docentes de la Facultad de Ciencia y Tecnología, que me guiaron para obtener los conocimientos necesarios para culminar esta carrera universitaria.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CONCESIONARIA CLYFSA DE LA CIUDAD DE VILLARRICA.

Victor Alderete

RESUMEN

En el presente proyecto final de grado se dará una propuesta de alternativas para la reducción de consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado público de la concesionaria CLYFSA. Con una recolección de datos de las instalaciones actuales de alumbrado público de la ciudad de Villarrica, estableciendo normas internacionales para el diseño de iluminación vial, se realiza una exploración de mercado en busca de alternativas tecnológicas para sistemas de alumbrado público.

Estableciendo criterios técnicos y económicos se realiza una evaluación y selección de alternativa con un método de selección de criterios múltiples llamado AHP. Teniendo como resultado la mejor alternativa técnico económica se realiza el proyecto de reposición.

Con el reemplazo del 23.84 % del sistema de alumbrado público por la alternativa seleccionada se logrará una reducción del consumo de energía eléctrica de un 9.03 % en todo el sistema de alumbrado público.

Con un TIR de 15 %, VAN de Gs. Gs 2.011.431.153,06, tomando una tasa de descuento de 10 % para un flujo de caja proyecta para 15 años, queda demostrado la factibilidad económica.

Palabras claves: Consumo de energía eléctrica, alternativa tecnológica, iluminación pública, eficiencia energética.

PROPOSAL OF ALTERNATIVES FOR THE REDUCTION OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION OF THE PUBLIC LIGHTING SYSTEM OF THE CONCESSIONAIRE CLYFSA OF THE CITY OF VILLARRICA.

Victor Alderete

ABSTRACT

In the present final project will give a proposal of alternatives for the reduction of electricity consumption of the public lighting system of the concessionaire CLYFSA. With a collection of data from the current public lighting installations in the city of Villarrica, establishing international standards for the design of road lighting, a market exploration is carried out in search of technological alternatives for public lighting systems.

By establishing technical and economic criteria, an alternative evaluation and selection is made with a multiple criteria selection method called AHP. Having as a result the best economic technical alternative, the replacement project is carried out.

With the replacement of 23.84% of the public lighting system by the selected alternative will achieve a reduction of electricity consumption of 9.03% in the entire public lighting system of the city.

With a TIR of 25%, VAN of Gs. 4,649,247,127.54, taking a discount rate of 10% for a cash flow forecast for 15 years, the economic feasibility is demonstrated.

Key words: Electric energy consumption, technological alternative, public lighting, energy efficiency

CONTENIDO

/PÁGINA DE APROBACIÓN	i
<i>Dedicado a:</i>	ii
<i>Agradecimientos:</i>	iii
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE TABLAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS	xxii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
CAPÍTULO 1.....	3
Principios Fundamentales de alumbrado publico	3
1.1. La luz.....	3
1.1.1. Espectro electromagnético.....	3
1.1.2. PROPIEDADES DE LA LUZ.....	5
1.1.2.1. REFLEXIÓN.....	6
1.1.2.2. REFRACCIÓN.....	6
1.1.2.3. TRANSMISIÓN.....	7
1.1.2.4. ABSORCIÓN.....	8
1.2. MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS	9
1.2.1. FLUJO LUMINOSO (Φ)	9
1.2.2. INTENSIDAD LUMINOSA (I).....	9
1.2.3. LA ILUMINANCIA (E).....	10
1.2.4. LA LUMINANCIA (L).....	10
1.2.5. DESLUMBRAMIENTO.....	11
1.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ	11
1.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR	12
1.3.1.1. EL TONO.....	12
1.3.1.2. LA SATURACIÓN	12
1.3.1.3. LA CLARIDAD.....	12
1.3.1.4. DIAGRAMA CROMÁTICO DEL CIE (COMISIÓN INTERNACIONAL DE LA ILUMINACIÓN).....	12

1.3.2.	TEMPERATURA DEL COLOR	13
1.3.3.	ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (CRI).....	13
1.3.4.	EFFECTOS PSÍQUICOS DE LOS COLORES Y SU ARMONÍA	14
1.4.	SENTIDO DE LA VISIÓN	15
1.4.1.	FACTORES DE LA VISIÓN	17
1.4.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA VISIÓN HUMANA	18
1.4.3.	LA VISIÓN HUMANA EN LA ILUMINACIÓN	18
CAPITULO 2.....		19
FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO		19
2.1.	LÁMPARA.....	19
2.2.	LUMINARIAS	19
2.3.	BALASTOS	20
2.4.	CEBADORES	20
2.5.	FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO	20
2.5.1.	LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN	20
2.5.2.	LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN	23
2.5.3.	LUMINARIAS LED	25
2.5.3.1.	EL LED COMO ELEMENTO GENERADOR DE LUZ	25
2.5.3.2.	PRINCIPIO FÍSICO	26
2.5.3.3.	COMPOSICIÓN DE LOS LED's (COLORES DE LOS LED's).....	27
2.5.3.4.	COLOR DEL LED BLANCO.....	27
2.6.	SISTEMAS INNOVADORES DE ILUMINACIÓN	30
2.6.1.	Sistemas Automáticos de Control de Iluminación	30
2.6.2.	Sensores	32
CAPÍTULO 3.....		33
DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN VIAL		33
3.1.1.	OBJETIVOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO	33
3.1.2.	FACTORES DETERMINANTES DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	33
3.1.3.	NIVEL DE ILUMINACIÓN Y FACTOR DE UNIFORMIDAD	33
3.1.4.	UNIFORMIDAD GENERAL DE LUMINANCIA DE LA CALZADA (U_0)	33
3.1.5.	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL SOBRE LA CALZADA (UL)	34
3.1.6.	RELACIÓN DE ALREDEDORES (SR)	34
3.1.7.	ALTURA DEL PUNTO DE LUZ.....	34

3.1.8.	RELACIÓN ENTRE LA SEPARACIÓN Y LA ALTURA DE LOS PUNTOS DE LUZ	35
3.1.9.	DISPOSICIÓN DE LOS PUNTOS DE LUZ.....	35
3.1.9.1.	UNILATERAL.....	35
3.1.9.2.	BILATERAL TRESBOLILLO	36
3.1.9.3.	BILATERAL PAREADA	36
3.1.9.4.	AXIAL.....	36
3.1.10.	FACTOR DE UTILIZACIÓN (f_u)	37
3.1.10.1.	CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN	37
3.1.11.	FACTOR DE CONSERVACIÓN o FACTOR DE MANTENIMIENTO (f_C)	38
3.2.	TIPOS DE CALCULOS.....	40
3.2.1.	CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO	40
3.2.2.	CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS.....	41
	CAPÍTULO 4.....	42
	EL USO DE SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN.....	42
	CAPITULO 5.....	44
	METODO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	44
5.1.	Fundamentos teóricos del AHP	44
5.1.1.	Introducción	44
5.1.2.	Etapas del modelo AHP.....	45
5.1.2.1.	Modelización	45
5.1.2.2.	Valoraciones	46
5.1.2.3.	Priorización y síntesis.....	48
	CAPITULO 6.....	50
	EVALUACION ECONOMICA.....	50
6.1.	Método de evaluación.....	50
6.1.1.	Valor Presente Neto (VPN).....	50
6.1.2.	Tasa Interna de Rendimiento (TIR).....	51
6.1.3.	Periodo de retorno de inversión (PRI).....	52
6.1.4.	Análisis de sensibilidad	52
	III. RESUMEN EJECUTIVO	53
	CAPITULO 7.....	53
7.1.	Descripción del trabajo.....	53

7.2. Justificación.....	53
7.3. Finalidad del proyecto	54
7.4. Metas	55
7.5. Objetivos.....	55
7.5.1. Objetivo general	55
7.5.2. Objetivos específicos.....	55
7.6. Beneficiarios.....	56
7.7. Producto.....	56
7.8. Localización física y cobertura espacial.....	56
7.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	56
7.10. Métodos y Técnicas utilizadas.....	58
7.10.1. Tipo de Investigación	58
7.10.2. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos	58
7.11. Recursos necesarios.....	58
7.11.1. Recursos humanos	58
7.11.2. Recursos materiales	59
7.12. Factibilidad técnica.....	59
7.13. Factibilidad económica.....	60
7.13.1. Beneficios	60
7.13.1.1. Ahorro energético	60
7.13.1.2. Disminución de potencia instalada	60
7.13.1.3. Ahorro en mantenimiento	61
7.13.2. Costos	62
7.13.2.1. Costo de equipos	62
7.13.2.2. Costo de accesorios.....	62
7.13.2.3. Costo de instalación	63
7.13.3. Evaluación económica.....	63
7.13.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada.....	63
7.13.3.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR).....	64
7.13.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN).....	64
7.13.3.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	65
IV. INGENIERÍA DE DISEÑO.....	66
CAPÍTULO 8.....	66

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CIUDAD DE VILLARRICA	66
8.1. Reconocimiento de la instalación y ubicación	66
8.2. Tipos de alumbrado públicos instalados actualmente en la ciudad	66
8.3. Objetivos del alumbrado público.....	67
8.4. Especificaciones técnicas de equipos de Alumbrados Actuales.....	68
8.4.1. Balasto Inductivo para una lámpara vapor de sodio alta presión – uso interno	68
8.4.2. Lámpara de vapor de sodio de alta presión	68
8.4.3. Luminaria	71
8.5. Altura del punto de luz	72
8.6. Disposiciones.....	72
8.7. Consumo de artefactos de iluminación según laboratorio.....	74
8.8. Tipos de calle.....	75
8.9. Mediciones de nivel de iluminación.....	75
8.10. Informe de instalación de alumbrado público actual.....	76
8.10.1. Consumo de energía por mes y año.....	77
CAPITULO 9.....	78
Normas del alumbrado publico.....	78
9.1. Normas de referencia.....	78
9.2. Clase de Alumbrado y Clasificación de las Vías para Tráfico Motorizado	78
CLASES DE ALUMBRADO PARA DIFERENTES TIPOS DE VIAS PÚBLICAS... 78	
9.3. De los Niveles de Luminancia en las Vías de Tráfico Motorizado	80
CAPITULO 10.....	83
Alternativas tecnológicas de alumbrado publico	83
10.1. Consideraciones generales.....	83
10.2. Clasificación de Alumbrados públicos Según tipos	83
10.3. Realización de ensayos	84
CAPITULO 11.....	88
Definición de criterios técnicos y económicos	88
11.1. Criterios técnicos	88
11.1.1. Consideraciones generales.....	88
11.1.2. Características eléctricas	88
11.1.2.2.Factor de potencia.....	89
11.1.3. Características lumínicas	90

11.1.3.1. Flujo Luminoso	90
11.1.2.3. Temperatura del color.....	91
11.1.2.3. Índice de rendimiento de color	91
11.1.3. TABLA COMPARATIVA	92
11.2. Criterios económicos	92
11.2.1. Costo.....	92
11.2.2. Vida Útil	93
11.2.3. Depreciación por año.....	93
11.2.4. Costo de instalación.....	93
11.2.5. Mantenimiento.....	94
CAPITULO 12.....	97
Evaluación y selección de alternativa	97
11.1. Consideraciones generales.....	97
11.2. Objetivo	97
11.3. Ponderación de Criterios	99
11.3.1. Ponderación de Criterios Técnicos	99
11.3.2. Ponderación de Criterios Económicos.....	100
11.4. Resultado	100
11.4.1. Puntuación Técnico – Económico	100
11.4.2. Puntuación Técnica	101
11.4.3. Puntuación Económica	102
11.5. Especificaciones técnicas de la mejor alternativa.....	102
11.6. Ventajas sobre el equipo de alumbrado VP.....	103
11.7. Consumo energético	104
CAPITULO 13.....	105
Proyecto de reposición.....	105
13.1. Consideraciones generales.....	105
13.2. Delimitación de calles y/o arterias de la Ciudad de Villarrica.	105
13.3. Diseño según disposición	107
13.3.1. Unilaterales	108
13.3.2. Central doble	110
13.3.3. Central en 3 bolillo	113
13.3.4. Zigzag.....	116
13.4. Memoria descriptiva de Reemplazo, reposición y adecuación	119

13.4.2.	Tramo 2: DR. BOTTREL, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.	120
13.4.3.	Tramo 3: Coronel Oviedo, desde General Caballero hasta Presidente Franco.	120
13.4.4.	Tramo 4: Curupa'yty, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.	121
13.4.5.	Tramo 5: Colon, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.	122
13.4.6.	Tramo 6: Ruiz Díaz de Melgarejo, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco. ...	123
13.4.7.	Tramo 7: Mariscal Francisco Solano López, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.	124
13.4.8.	Tramo 8: Mariscal Estigarribia desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.	125
13.4.9.	Tramo 9: Alejo García, desde Ruta 8 hasta Avenida España.	125
13.4.10.	Tramo 10: Bulevar Yegros, desde Ruta 8 hasta Bulevar Caballero.	126
13.4.11.	Tramo 11: Bulevar Caballero, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario	127
13.4.12.	Tramo 12: Presidente Franco, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	128
13.4.13.	Tramo 13: Humaita, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	129
13.4.14.	Tramo 14: Coronel Félix Bogado, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	130
13.4.15.	Tramo 15: Gral. José E. Díaz desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	131
13.4.16.	Tramo 16: Carlos Antonio López, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	132
13.4.17.	Tramo 17: Natalicio Talavera, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	133
13.4.18.	Tramo 18: Gregorio Benítez, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	134
13.4.19.	Tramo 19: Ruta 8 Dr. Blas Garay, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.	135
13.5.	Datos finales de Reemplazo, reposición y adecuación.	136
13.6.	Informe final de proyecto de reemplazo.	137
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	139
9.	CONCLUSIONES.	140
10.	RECOMENDACIONES.	141
11.	APÉNDICE.	142
	Apéndice A: Resumen ejecutivo.	142
	Apéndice A.1: Localización y cobertura espacial del proyecto.	143
	Apéndice B: Ingeniería de diseño.	146
	Apéndice B.1: Sistema de información geográfica de AP.	147

Apéndice B.2: Equipos utilizados actualmente.	150
Apéndice B.3: Alternativas de alumbrado en prueba	153
Apéndice B.4: Niveles de iluminación tras simulaciones.....	157
B.4.1. Disposición unilateral.....	158
B.4.2. Disposición central doble.....	161
B.4.3. Disposición central en 3 bolillo.....	168
Apéndice B.4.4. Disposición central en Zig Zag.....	176
Apéndice C: Evaluación económica	179
Apéndice C.1: Flujo de caja, TIR, VPN y PRI.....	180
BIBLIOGRAFIA	184
Bibliografía	185

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: Longitud de ondas en metros.	4
Figura 1.2: : Curvas de sensibilidad espectral para V_λ el observador CIE en condiciones fotópicas; V_λ el observador CIE en condiciones escotópicas (CIE, 1970, 1978).....	5
Figura 1.3: Tipos de reflexión.	6
Figura 1.4: Refracción.	7
Figura 1.5: Tipos de transmisión.....	8
Figura 1.6: Longitud de ondas en metros.	4
Figura 1.7: Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual.	10
Figura 1.8: Iluminancia.	10
Figura 1.9: Luminancia e iluminancia.	11
Figura 1.10: Triangulo cromático CIE.....	13
Figura 1.11: Ojo humano.....	15
Figura 1.12: Las sensibilidades espectrales de los bastones y los conos.	17
Figura 1.13: Campo visual del ojo humano.....	18

CAPITULO 2

Figura 2.1: Luminarias con lámpara de sodio de alta presión.	19
Figura 2.2: Lámpara de vapor de mercurio a alta presión	21
Figura 2.3: Energía espectral de mercurio a alta presión.....	22
Figura 2.4: Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	23
Figura 2.5: Energía espectral de Sodio a alta presión	25
Figura 2.6: Elementos que componen un LED	26
Figura 2.7: Disposición de los electrones en bandas de energía	26
Figura 2.8: Fosforo convertido	28
Figura 2.9: Síntesis aditiva del color	28

Figura 2.10: Enfoque hibrido	29
Figura 2.11 Modificación de la longitud de onda por fosforescencia.....	30
Figura 2.12: Espectro luminoso LED	30
CAPITULO 3	
Figura 3.1: Disposición del alumbrado público.	36
Figura 3.2: Determinación del coeficiente de utilización	37
Figura 3.3: Curvas del coeficiente de utilización	38
Figura 3.4: Resumen general.....	40
CAPITULO 5	
Figura 5.1: Esquema jerárquico.	46
CAPITULO 7	
Figura 7.1: Gráfico de flujo de caja proyectada	63
CAPITULO 8	
Figura 8.1: Cantidad de alumbrado público en Villarrica.....	67
Figura 8.2: Distribución de Luz lámpara VS.	71
Figura 8.3: Luminaria para equipos de VS.....	72
Figura 8.4: Disposición de los alumbrados.....	74
CAPITULO 12	
Figura 12.1: Esquema de red por niveles para selección de alternativa.....	98
Figura 12.2: Esquema de red por niveles para selección de alternativa dentro del software	99
Figura 12.3: Ponderación de criterios técnicos.	99
Figura 12.4: Ponderación de criterios económicos.....	100
Figura 12.5: Puntuación técnico económico.....	100
Figura 12.6: Puntuación técnico económico.....	101
Figura 12.7: Puntuación económica	102
CAPITULO 13	

Figura 13.1: Delimitación de tramos.....	106
Figura 13.2: Unilateral calzada 1	108
Figura 13.3: Datos de disposición de las luminarias.....	109
Figura 13.4: Central doble calzada 1 y 2	111
Figura 13.5: Datos de disposición de las luminarias.....	112
Figura 13.6: Central en 3 bolillo calzada 1 y 2	114
Figura 13.7: Datos de disposición de las luminarias.....	115
Figura 13.8: Zig Zag calzada 1	117
Figura 13.9: Datos de disposición de las luminarias.....	118

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE A

Figura A.1: Mapa de la ciudad de Villarrica	144
Figura A.2: Tramos seleccionados para el proyecto	145

APÉNDICE B

Figura B.1: Vista general del sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica perteneciente a la concesionaria CLYFSA.	148
Figura B.2: Vista centrada en el microcentro de la ciudad del sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica perteneciente a la concesionaria CLYFSA.	149
Figura B.3: Equipo de VS instalados actualmente	151
Figura B.4: Imagen en taller del equipo de VS.	152
Figura B.5: LED Tipo 1 en prueba.....	154
Figura B.6: LED Tipo 2 en prueba.....	155
Figura B.7: LED Tipo 3 en prueba.....	156
Figura B.8: Intensidad lumínica horizontal	158
Figura B.9: Luminancia.....	159
Figura B.10: Intensidad lumínica horizontal Calzada 2	161

Figura B.11: Intensidad lumínica horizontal Calzada 1	162
Figura B.12: Luminancia Calzada 2.....	163
Figura B.13: Luminancia Calzada 1.....	166
Figura B.14: Intensidad lumínica horizontal Calzada 2.	168
Figura B.15: Intensidad lumínica horizontal Calzada 1	163
Figura B.16: Luminancia Calzada 2.....	170
Figura B.17: Luminancia Calzada 1.....	173
Figura B.18: Intensidad lumínica horizontal	176
Figura B.19: Luminancia.....	176

APÉNDICE C

Figura C.1: VPN con una tasa de descuento del 10%	182
--	-----

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1.1: Niveles de reproducción cromático según DIN 5035.....	14
--	----

CAPITULO 2

Tabla 2.1: Compuestos empleados en la construcción de Led	27
---	----

CAPITULO 3

Tabla 3.1: Factor de depreciación del flujo de la lámpara.....	39
Tabla 3.2: Factor de supervivencia de la lámpara	39
Tabla 3.3: Factor de depreciación de la luminaria.....	40

CAPITULO 5

Tabla 5.1: Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980).....	47
Tabla 5.2: Matriz de comparaciones pareadas.....	48

CAPITULO 7

Tabla 7.1: Ahorro energético.....	60
Tabla 7.2: Disminución de la potencia instalada	61
Tabla 7.3: Ahorro en mantenimiento.....	62
Tabla 7.4: Costo de equipos.....	62
Tabla 7.5: Costo de accesorios	62
Tabla 7.6: Costo de instalación.....	63

CAPITULO 8

Tabla 8.1: Especificaciones técnicas de Balasto inductivo.....	68
Tabla 8.2: Datos técnicos de lámpara VS	70
Tabla 8.3: Distancia entre equipos.....	72
Tabla 8.4: Consumo de los alumbrados según laboratorio.....	75
Tabla 8.5: Niveles de iluminación	76
Tabla 8.6: Pliego de tarifa para alumbrado público.....	77
Tabla 8.7: Consumo anual y mensual de energía	77

CAPITULO 9

Tabla 9.1: Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas.	79
Tabla 9.2: Luminancias de calzada para trafico motorizado	81

CAPITULO 10

Tabla 10.1: Resultado de ensayo LED Tipo 1.	85
Tabla 10.2: Resultado de ensayo LED Tipo 2	86
Tabla 10.3: Resultado de ensayo LED Tipo 3	87

CAPITULO 11

Tabla 11.1: Potencia de alternativas.	88
Tabla 11.2: FDP de alternativas.....	89
Tabla 11.3: Eficacia de alternativas	89
Tabla 11.4: Consumo eléctrico de alternativas	90
Tabla 11.5: Porcentaje de distorsión armónica de alternativas.....	90
Tabla 11.6: Flujo luminoso de alternativas.....	90
Tabla 11.7: Temperatura de color de alternativas.....	91
Tabla 11.8: CRI de alternativas	91
Tabla 11.9: Tabla comparativa técnica de alternativas	92

Tabla 11.10: Costo de alternativas.....	92
Tabla 11.11: Vida útil de alternativas	93
Tabla 11.12: Depreciación por año de alternativas.....	93
Tabla 11.13: Costo de instalación de alternativas.....	94
Tabla 11.14: Costo de mantenimiento de alternativas	95
Tabla 11.15: Tabla comparativa económica de alternativas	96

CAPITULO 12

Tabla 12.1: Especificaciones técnicas de la mejor alternativa.....	103
Tabla 12.2: Ventajas sobre el equipo de alumbrado VP.....	103
Tabla 12.3: Consumo energético de la mejor alternativa	104

CAPITULO 13

Tabla 13.1: Resultados para disposición unilateral.	110
Tabla 13.1: Comparación de nivel de iluminación en Lux.....	110
Tabla 13.1: Resultados para disposición central doble.....	113
Tabla 13.1: Comparación de nivel de iluminación en Lux.....	113
Tabla 13.1: Resultados para disposición central en 3 bolillo.	116
Tabla 13.1: Comparación de nivel de iluminación en Lux.....	116
Tabla 13.1: Resultados para disposición en zigzag	118
Tabla 13.1: Comparación de nivel de iluminación en Lux.....	118
Tabla 13.1: Datos finales para reemplazo y/o reposición y adecuación.....	137

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE C

Tabla C.1: Flujo de caja de beneficios.....	181
Tabla C.2: Flujo de caja proyectada	181
Tabla C.3: Resultado TIR.....	182

Tabla C.4: Resultado VPN.....	183
Tabla C.5: Resultado PRI	183

LISTA DE ABREVIATURAS

CLYFSA: Compañía de Luz y Fuerza S.A.

ANDE: Administración Nacional de Electricidad.

LED: Diodo emisor de luz.

VS: Artefacto de iluminación de vapor de sodio de alta presión.

FDP: Factor de potencia.

CRI: Índice de reproducción cromática.

AHP: Proceso analítico jerárquico.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las instalaciones de alumbrado público a cargo de la concesionaria de energía eléctrica CLYFSA de la ciudad de Villarrica presenta un alto consumo de energía.

El consumo de energía eléctrica por parte de los alumbrados públicos dentro del municipio de la ciudad de Villarrica a cargo de la CLYFSA, estima un consumo total de energía durante un año que según registros es de 3.480.000 kWh en toda la ciudad. Esto equivale al 4,03% del total de energía facturada en el año 2016 (86.414.234 kWh), En comparación con la ciudad de Graz (una ciudad austríaca, capital del estado federado de Estiria) que con 24.000 equipos consume por año 8.480.000 kwh, tomando este dato como referencia se estima que 3045 equipos de esa ciudad consumirían en un año 1.078.437 Kwh la cual equivale a un consumo de solo el 30% de lo que consume los alumbrados públicos de la concesionaria CLYFSA.

Por todo lo expuesto, se pretendió reducir el consumo de energía total de los alumbrados públicos de la ciudad de Villarrica del Espíritu Santo con la implementación de un sistema más eficiente, reemplazando el sistema existente en forma parcial o en su mayor parte.

El proyecto que a continuación se presenta tuvo como objetivo principal la presentación de una propuesta de alternativas tecnológicas para la reducción de consumo de energía eléctrica de los alumbrados públicos de la concesionaria CLYFSA.

Actualmente las tecnologías en sistemas de alumbrado están en continua evolución. presentando en el mercado soluciones duraderas y fáciles de adaptar a futuros progresos tecnológicos. Las prestaciones de los diseños fotométricos y mecánicos apuntan específicamente, a la reducción del consumo energético sin dejar de alcanzar, los niveles de iluminación requeridos, respetando las normativas vigentes.

La instalación de los alumbrados públicos actuales dentro de la ciudad fue proyectada y configurada para el desarrollo constante de la población y mejorar la seguridad. Para ellos en la propuesta se respetó el tipo de instalación existente y se tomó como punto de partida datos de las instalaciones de alumbrados existentes.

Los principales beneficiarios son los clientes, como también la concesionaria que puede conseguir un ahorro importante con la reducción del consumo de energía eléctrica de los alumbrados públicos. También logrando la menor afectación del medio ambiente debido a que se buscó aplicar tecnologías no contaminantes.

La revisión bibliográfica comienza en el capítulo 1 con los principios fundamentales de la luz y sigue de la siguiente manera con los capítulos que contienen las siguientes teorías: capítulo 2 con fuentes de iluminación para el alumbrado público, capítulo 3 con diseños de iluminación vial, capítulo 4 uso de software para el diseño de iluminación vial, capítulo 5 método de selección de alternativa y el capítulo 6 evaluación económica.

En el capítulo 7 se encuentra el resumen ejecutivo del presente trabajo y en el capítulo 8 comienza lo que es la ingeniería de diseño con los siguientes capítulos que contiene todo el estudio realizado para lograr el objetivo que son: capítulo 8 situación actual de alumbrado público de la ciudad de Villarrica, capítulo 9 normas del alumbrado público, capítulo 10 alternativas tecnológicas de alumbrado público, capítulo 11 definición de criterios técnicos y económicos, capítulo 12 evaluación y selección de alternativa y el capítulo 13 proyecto de reposición.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

Principios Fundamentales de alumbrado publico

1.1. La luz

Se denomina luz a la manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de ser percibidas por el órgano visual, las longitudes de onda de estas radiaciones electromagnéticas están comprendidas en el rango de 380 y 770 nm, conocido como espectro visible.

1.1.1. Espectro electromagnético

Consiste en la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, que viajan a través del vacío y se encuentran ordenadas de acuerdo a la longitud de onda (λ) y frecuencias (f).

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ecuación 1.1: Relación de frecuencia y longitud de onda.

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($3 \times 10^8 m/s$).

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican en:

- ondas de radio
- microondas
- infrarrojos
- visible (espectro visible para el ojo humano)

- ultravioleta
- rayos X
- rayos gamma

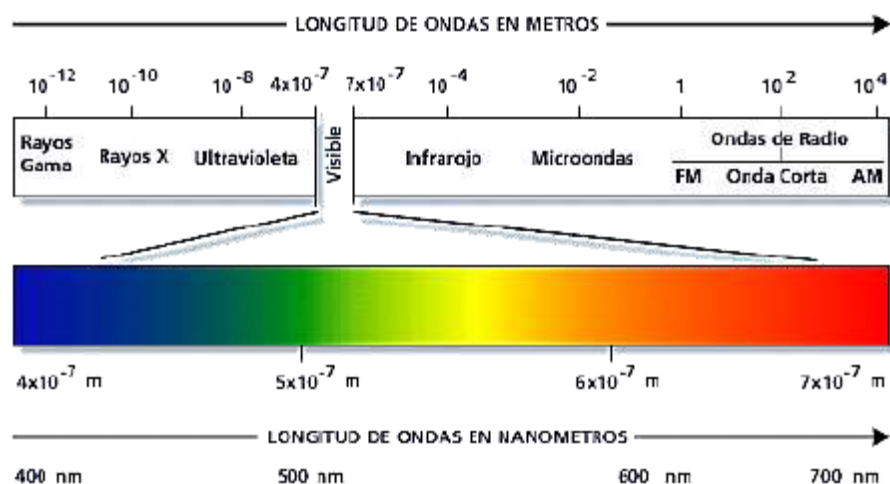


Figura 1.1: Longitud de ondas en metros.

El efecto visual de la radiación, en el rango visible, depende de la longitud de onda. Las magnitudes fotométricas se obtienen mediante factores de peso que corresponden a la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano, basada en la diferente percepción de claridad para cada longitud de onda en la región visible. Debido a las diferencias individuales, y a la dependencia de esta curva de sensibilidad espectral de las condiciones experimentales, y en especial del nivel de iluminación, ha sido necesario lograr acuerdos internacionales entre representantes de los distintos países, los que han sido canalizados por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). La CIE (1970, 1978) adopta dos curvas de sensibilidad espectral relativa, V_{λ} , para el observador CIE estándar, en condiciones fotópicas (visión de día), es decir para niveles de iluminación altos en el año 1924, y en condiciones escotópicas (visión nocturna), es decir para niveles de iluminación bajos, en el año 1951.

En la Figura 1 se muestran estas dos curvas, que están relacionadas a los dos sistemas de fotorreceptores que tiene el sistema visual humano, el de los conos, que opera fundamentalmente en condiciones fotópicas, y el de los bastones, que opera en condiciones escotópicas. El ojo muestra su máxima sensibilidad para 555nm en condiciones fotópicas, mientras que para condiciones escotópicas este máximo se desplaza hacia los 507nm.

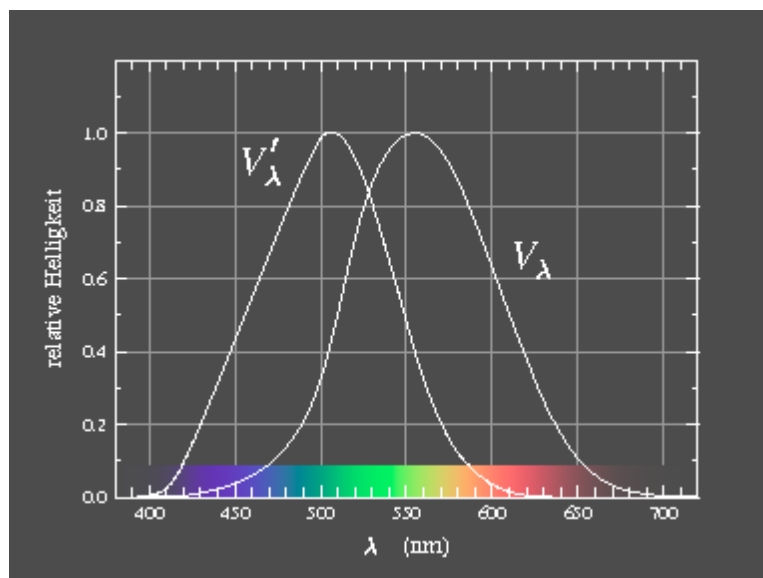


Figura 1.2: Curvas de sensibilidad espectral para V_λ el observador CIE en condiciones fotópicas; V'_λ el observador CIE en condiciones escotópicas (CIE, 1970, 1978).

1.1.2. PROPIEDADES DE LA LUZ

En el instante en el que la luz llega a un objeto se producen los siguientes fenómenos:

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

1.1.2.1. REFLEXIÓN.

La reflexión es un fenómeno que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie, cambiando así su dirección. Este fenómeno está regido por la ley de reflexión.

La dirección en la que sale reflejada la luz depende del tipo de superficie. Si la superficie es brillante toda la luz sale en una dirección única; es decir se produce una reflexión especular. Si la superficie es mate y la luz es reflejada en todas las direcciones se conoce como reflexión difusa. Se conoce como reflexión mixta al fenómeno que ocurre en superficies metálicas sin pulir en el que predomina una dirección sobre las demás.

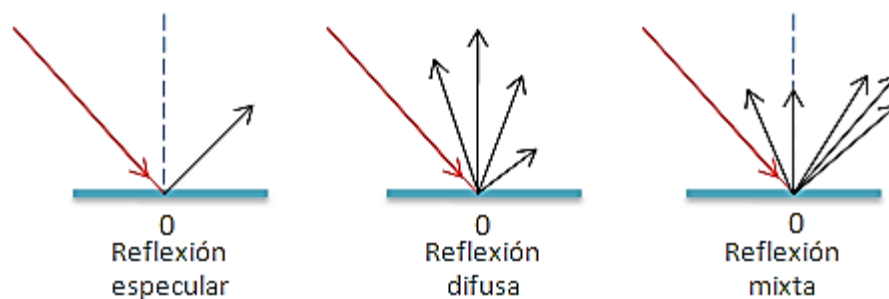


Figura 1.3: Tipos de reflexión.

1.1.2.2. REFRACCIÓN

Este fenómeno se produce cuando un haz de luz atraviesa de un medio material a otro, desviando así su trayectoria según la ley de refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

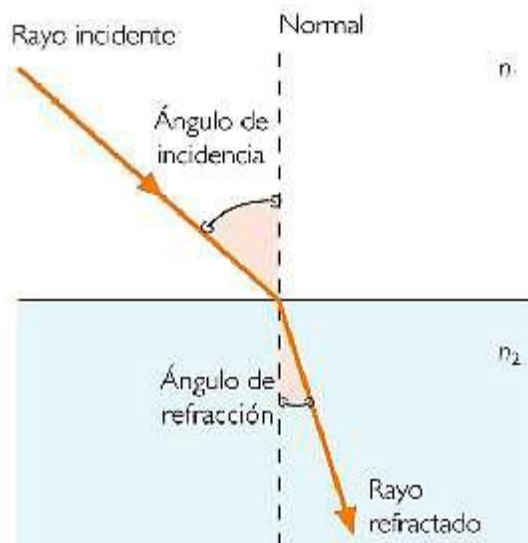


Figura 1.4: Refracción.

1.1.2.3. TRANSMISIÓN

La transmisión es el fenómeno que ocurre cuando la luz atraviesa una superficie o un objeto, en este fenómeno la luz cambia su dirección por refracción al pasar de un medio a otro que tiene distinta densidad.

Existen 3 casos de transmisión:

1. Transmisión regular: Cuando el rayo de luz no es desviado de su trayectoria (Vidrios transparentes).
2. Transmisión difusa: Cuando el rayo de luz se difunde en todas las direcciones (Vidrios translucidos).
3. Transmisión mixta: Cuando predomina una dirección sobre las demás (vidrios Orgánicos).



Figura 1.5: Tipos de transmisión.

1.1.2.4. ABSORCIÓN

El ojo humano es sensible en un intervalo del espectro electromagnético denominado espectro visible, son los colores que mezclados forman la luz blanca.

La absorción es un proceso que se presenta al incidir luz blanca a un objeto, una parte de los componentes de la luz es absorbida por la superficie y el resto son reflejadas. Estas últimas son las que determinan el color que percibimos. Si absorbe a todas es negro y si las refleja a todas es blanco.



Figura 1.6: Absorción de la luz.

1.2. MAGNITUDES, UNIDADES Y CONCEPTOS BASICOS

La radiación del espectro electromagnético se cuantifica con la ayuda de las magnitudes radiométricas. Si se trata de cuantificar solo el espectro visible las magnitudes radiométricas se convierten en magnitudes fotométricas.

1.2.1. FLUJO LUMINOSO (ϕ)

Cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz a la que el ojo humano es sensible, su unidad de medida es el lumen (lm).

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 2.1: Flujo luminoso.

Dónde:

ϕ = Flujo luminoso en Lúmenes.

Q = Cantidad de luz emitida en Lúmenes x seg.

t = Tiempo en segundos.

1.2.2. INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Es la relación del flujo luminoso de una fuente puntual de luz proyectada en una determinada dirección dentro de un ángulo sólido (ω). Su unidad de medida es la candela (cd).

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Ecuación 3.1: Intensidad luminosa.

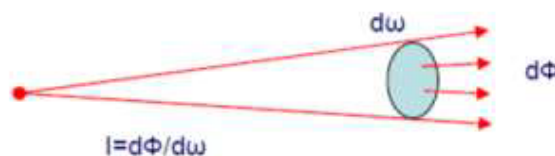


Figura 1.7: Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual.

1.2.3. LA ILUMINANCIA (E)

Iluminancia es el flujo luminoso recibido por una superficie (S) independientemente de la dirección, su unidad es el lux (lx) que equivale a un $\frac{lm}{m^2}$

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Ecuación 4.1: Luminancia E.

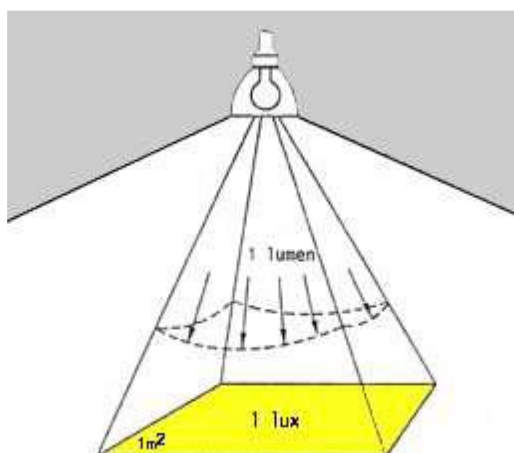


Figura 1.8: Iluminancia.

1.2.4. LA LUMINANCIA (L)

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la $\frac{cd}{m^2}$

$$L = \frac{I}{S}$$

Ecuación 1.5: Luminancia L.

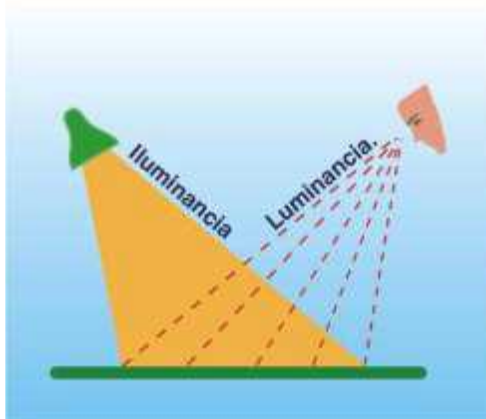


Figura 1.9: Luminancia e iluminancia.

1.2.5. DESLUMBRAMIENTO

Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos.

a) Deslumbramiento perturbador conocido también como fisiológico, este reduce el contraste sobre los objetos observados este tipo de deslumbramiento es el utilizado en alumbrado exterior.

b) Deslumbramiento molesto llamado también psicológico, es molesto a la vista, sin embargo, no dificulta la percepción de los objetos.

1.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ

El color está definido, por la composición espectral de la radiación que llega al ojo, esta región, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 760 nm del espectro electromagnético, además, hay que tener en cuenta los procesos de adaptación del sistema visual del ojo.

1.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR

1.3.1.1. EL TONO.

El tono está asociado al color predominante, sea este espectral o no, es decir es el atributo asociado con el nombre de los colores básicos: rojo, amarillo, naranja, verde, azul o púrpura. En el caso de un color no espectral como el púrpura, que resulta de una suma de luces rojas y azules, que no se corresponde con una longitud de onda, el tono se describe como la longitud de onda de su color complementario.

1.3.1.2. LA SATURACIÓN

La saturación corresponde a la pureza del color que determina el tono. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca, es una luz completamente no saturada.

1.3.1.3. LA CLARIDAD.

La claridad denominada también luminosidad es una propiedad de los colores, asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz.

1.3.1.4. DIAGRAMA CROMÁTICO DEL CIE (COMISIÓN INTERNACIONAL DE LA ILUMINACIÓN)

Los colores del espectro visible, así como las mezclas de distintos colores, se pueden representar matemáticamente por medio de un diagrama de colores, conocido como el triángulo cromático aprobado por la CIE, el cual se emplea para tratar el color de las fuentes de luz y otros materiales. Todos los colores están ordenados respecto a los valores de tres coordenadas cromáticas x , y , z para cada uno de ellos, cumpliéndose la igualdad: $x + y + z = 1$. De esta forma, dos coordenadas cualesquiera son suficientes para determinar el punto representativo o lugar geométrico de un color o mezcla de colores.

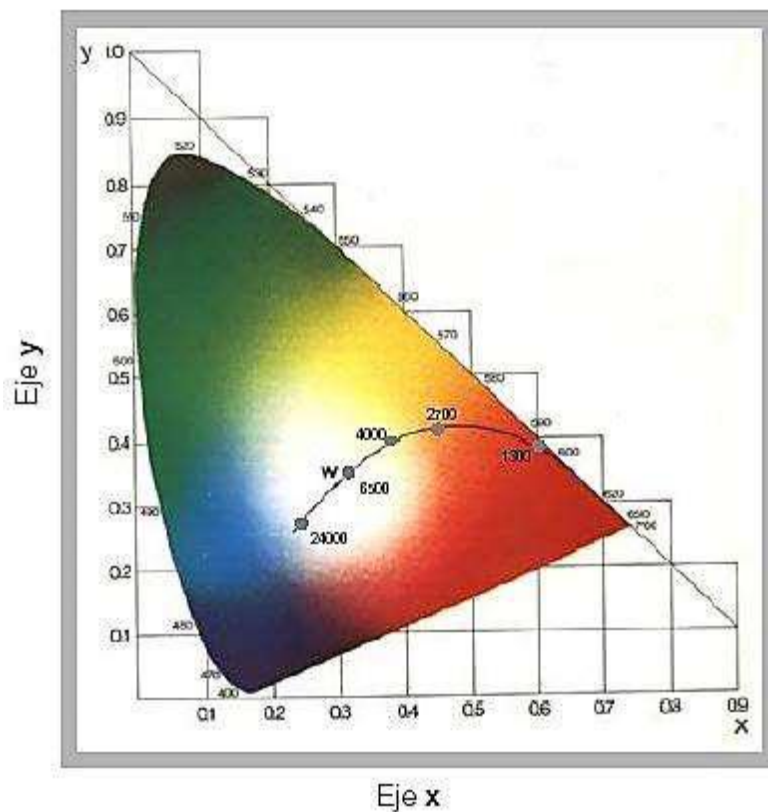


Figura 1.10: Triángulo cromático CIE.

1.3.2. TEMPERATURA DEL COLOR

Es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz es decir define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro. El cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul. Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura.

1.3.3. ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (CRI)

El concepto de reproducción cromática de una fuente luminosa se define como el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados con esta, en comparación con el que presentan bajo una luz de referencia; como referencia

te toma la del cuerpo negro y como ideal se toma la luz día homologada por la CIE.

Convencionalmente, el CRI varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, ya que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas en los colores de una muestra.

Dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

Índices de reproducción recomendados según la DIN 5035 (Instituto Alemán De Normalización):

Nivel	CRI
Excelente	85-100
Bueno	70-84
Regular	40-69
Mala	Hasta 39

Tabla 1.1: Niveles de reproducción cromático según DIN 5035.

1.3.4. EFECTOS PSÍQUICOS DE LOS COLORES Y SU ARMONÍA

Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema del mayor interés para los psicólogos, arquitectos, luminotécnicos y decoradores.

No se pueden establecer reglas fijas para la elección del color apropiado con el fin de conseguir un efecto determinado, pues cada caso requiere ser tratado de una forma particular. Sin embargo, existe una serie de experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores.

Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío, y por eso se habla de “colores cálidos” y “colores fríos”.

Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul.

Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

Asimismo, la claridad del color también tiene sus efectos psicológicos. Los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

Cuando se combinan dos o más colores y producen un efecto agradable, se dice que armonizan. La armonía de colores se produce mediante la elección de una combinación de colores que es agradable y placentera para el observador en una situación determinada.

1.4. SENTIDO DE LA VISIÓN

Este sentido se basa en la capacidad que tiene el ojo para absorber la luz del exterior y transmitirla a través del nervio óptico al cerebro y así extraer información útil para los individuos a partir de imágenes obtenidas de mundo externo.

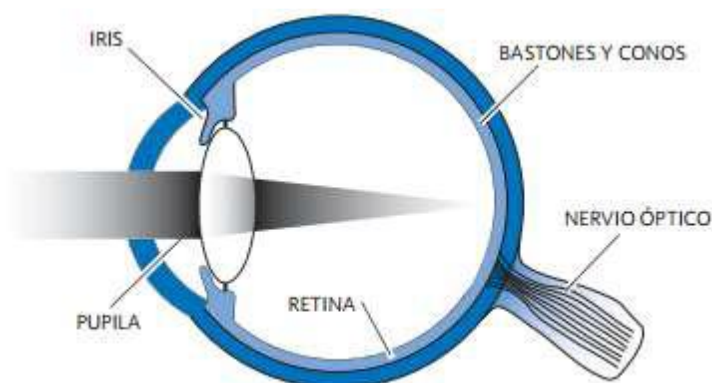


Figura 1.11: Ojo humano.

La visión comienza cuando la luz de una escena penetra en nuestro ojo. La lente de nuestro ojo enfoca la luz como una imagen sobre nuestra retina. La retina humana utiliza dos tipos de células para detectarla luz: bastones y conos. Estos sensores microscópicos están distribuidos por la retina y cada tipo sirve para una finalidad muy diferente. Los bastones y conos convierten la luz en impulsos eléctricos minúsculos que viajan por a través de fibras nerviosas hasta el cerebro. En el cerebro, se convierten en una impresión de la forma y el color del objeto observado.

Todos los bastones tienen la misma sensibilidad a las longitudes de onda de la luz y, por tanto, no pueden ver el color de un objeto. Los bastones ven todos los objetos como tonos del gris. Los conos nos permiten ver en niveles de luz muy bajos. En escenas de alta luminosidad sólo los conos suministran una información útil para el cerebro mientras que los bastones se inundan con la luz y cesan de producir la señal.

Existen tres tipos de conos: uno tiene la mayor sensibilidad a las longitudes de onda largas de la luz visible; vemos el rojo; otro tiene la mayor sensibilidad a las longitudes de onda medias de la luz visible; vemos el verde; y otro tiene la mayor sensibilidad a las longitudes cortas de la luz visible; vemos el azul.

Percibimos el brillo según sea el nivel total de la señal proveniente de todos los conos. Percibimos el color según sean los niveles relativos de la señal proveniente de los tres tipos de conos.

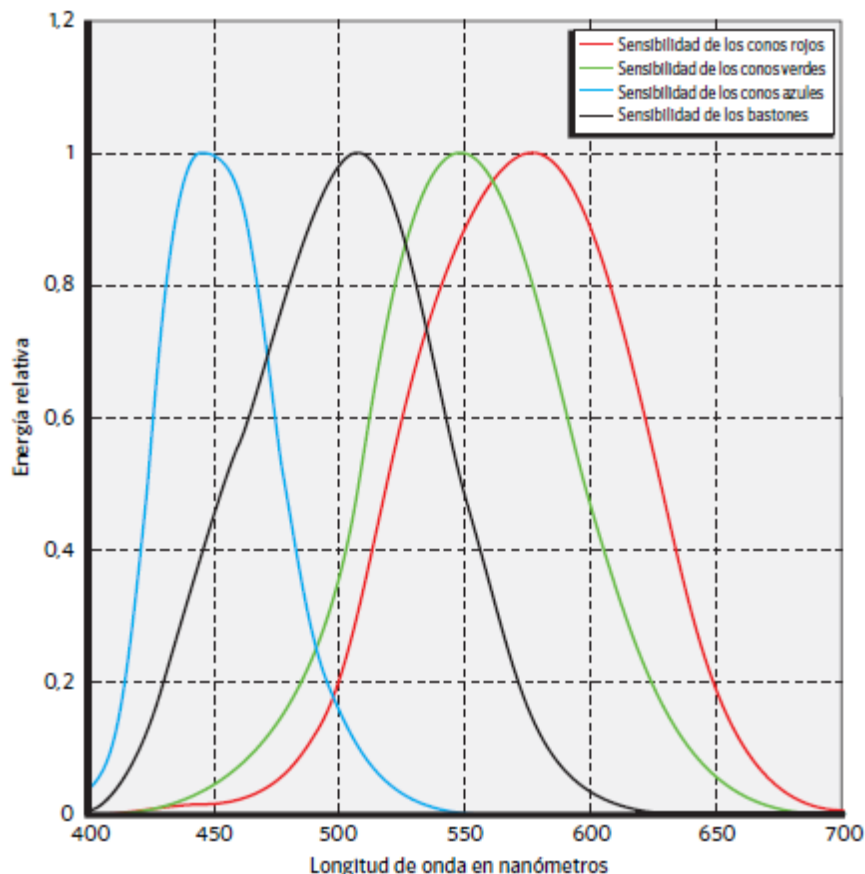


Figura 1.12: Las sensibilidades espectrales de los bastones y los conos.

1.4.1. FACTORES DE LA VISIÓN

- La acomodación visual: es la capacidad del ojo para enfocar a diferentes distancias.
- La adaptación visual: proceso de adaptación del ojo a distintos niveles de luminosidad. Es más rápida de niveles de iluminación bajos a altos que viceversa.
- La agudeza visual: capacidad de percibir y discriminar visualmente los detalles más pequeños.

1.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VISIÓN HUMANA

Cada ojo ve aproximadamente 150° sobre el plano horizontal y con la superposición de ambos se abarcan los 180° . Sobre el plano vertical sólo son unos 130° , 60° por encima de la horizontal y 70° por debajo.

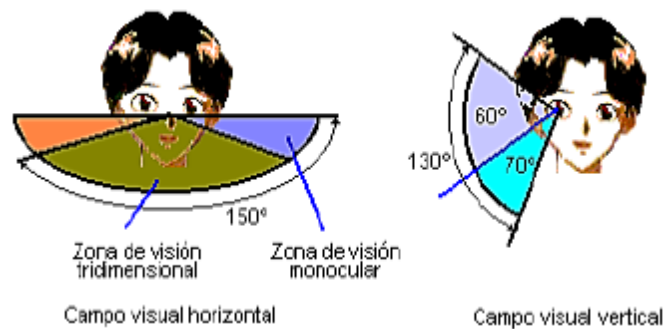


Figura 1.13: Campo visual del ojo humano.

El campo visual se extiende en las siguientes direcciones: alto (de arriba abajo), ancho (de derecha a izquierda) y profundo que es la máxima distancia alcanzada por la vista proyectada al frente y perpendicularmente al que mira.

1.4.3. LA VISIÓN HUMANA EN LA ILUMINACIÓN

La visión humana está afectada por varios factores mencionados anteriormente como intensidad luminosa, color, contraste, reflexión, deslumbramiento, observador, etc.

Por esta razón existe la necesidad de considerar en el diseño de iluminación a la fisiología de la visión que requiere el desarrollo de modelos simplificados del sistema visual.

CAPITULO 2

FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

2.1. LÁMPARA

Las lámparas son los encargados de generar la luz, actualmente se utilizan lámparas de descarga de vapor de sodio y en menor cantidad de vapor de mercurio para alumbrado público ya que poseen buenas prestaciones y un mayor ahorro energético con relación a las lámparas incandescentes.

2.2. LUMINARIAS

Las luminarias, son los aparatos que albergan, soportan y protegen a la lámpara y a sus elementos auxiliares, además están encargadas de concentrar y dirigir el flujo luminoso hacia una determinada superficie.

En el alumbrado de calles y carreteras las luminarias de distribución asimétrica son las de mayor aplicación generalmente, al ser la longitud de estas mayores que el ancho ofrecen un mejor aprovechamiento del flujo luminoso. Para el alumbrado de plazas y grandes espacios son más adecuadas las luminarias de distribución simétrica.



Figura 2.1: Luminarias con lámpara de sodio de alta presión.

2.3. BALASTOS

El balasto es un dispositivo eléctrico utilizado por bombillas de descarga eléctrica, para obtener las condiciones necesarias del circuito en el encendido y operación de las bombillas, es decir que limita la corriente que atraviesa la lámpara estabilizando el circuito.

Los balastos representan un consumo que varía entre el 10% y 20% del consumo total de la lámpara, además existen dos tipos de balastos: Electromecánicos (para corriente alterna con frecuencia de 50 o 60 Hz) y los Electrónicos (para altas frecuencias).

2.4. CEBADORES

También se los conoce como ignitores, este es un dispositivo que provee las condiciones eléctricas necesarias para iniciar la descarga y así el arranque de lámparas.

2.5. FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

En esta parte se describen los tipos de fuentes de iluminación artificial utilizados por la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A. para el alumbrado público y aquellas opciones que por desarrollo tecnológico representan una opción de uso y de remplazo.

2.5.1. LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se añaden sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, la temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 °K con índices de rendimiento en color de

40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Las lámparas de vapor de mercurio están constituidas por una pequeña ampolla de cuarzo, provista de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una cierta cantidad de argón y unas gotas de mercurio. Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la corriente que circula por ellos.

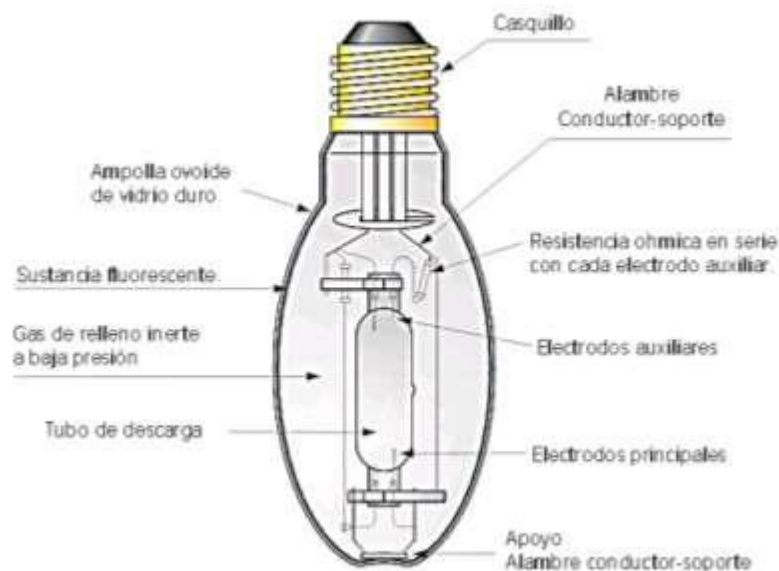


Figura 2.2: Lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

La pequeña ampolla está contenida dentro de otra de mucho mayor tamaño, de vidrio, cuya misión es la de proteger a la pequeña ampolla, establecer equilibrio térmico, así como también la de ser un depósito de sustancias fluorescentes encargadas de darle una cierta tonalidad roja.

Como todas las lámparas de descarga, la lámpara de vapor de mercurio debe llevar un elemento limitador de corriente, balasto. Cuando se conecta a la red de alimentación, se produce inicialmente una descarga entre el electrodo principal

y el auxiliar, que se encuentran muy próximos, lo que ioniza el argón, haciéndolo conductor y estableciendo un tenue arco entre los dos electrodos principales; el calor generado por esta descarga va progresivamente evaporando el mercurio de la ampolla, y poco a poco se va convirtiendo en el conductor principal.

A medida que aumenta la temperatura en el tubo de descarga, aumenta la presión del vapor de mercurio y con ella la potencia activa consumida y el flujo luminoso emitido, hasta alcanzar, al cabo de 3 o 4 minutos, los valores normales de régimen. La intensidad absorbida por el circuito se inicia con un valor del orden del 40 al 50% mayor que el nominal, y va reduciéndose progresivamente.

Esta variación de la intensidad durante el arranque de la lámpara tiene una influencia en el circuito, ya que, en un alumbrado de este tipo, el limitador deberá estar dimensionado para poder aguantar dicha intensidad.

Si por algún motivo se apaga la lámpara, y seguidamente queremos volver a encenderla, ello no resulta posible debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada.

Transcurridos tres o cuatro minutos, la lámpara se habrá enfriado y reanudará el periodo de encendido; esto supone un serio inconveniente para este tipo de lámparas.

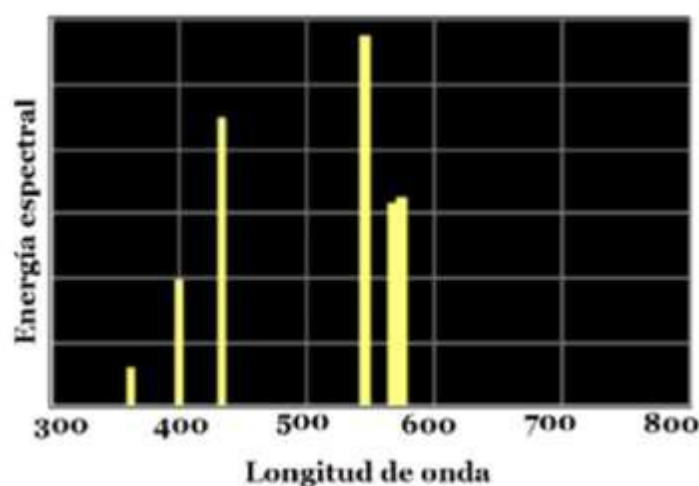


Figura 2.3: Energía espectral de mercurio a alta presión.

2.5.2. LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN

La lámpara de vapor de sodio a alta presión radia en todo el espectro visible, además posee en una temperatura de color entre 1900 a 2200 °K y un índice de rendimiento de color de 22 esto para las lámparas de vapor de sodio estándar.

Al aumentar la presión del vapor de sodio incrementa el porcentaje de longitudes de onda larga emitidas y mejora el índice de rendimiento del color hasta un valor de 65, aunque la eficacia y la vida disminuyen, estas lámparas tienen una vida útil entre 8000 y 12000 horas.

El fallo por fugas en el tubo de descarga y el incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria limitan la duración de la lámpara.

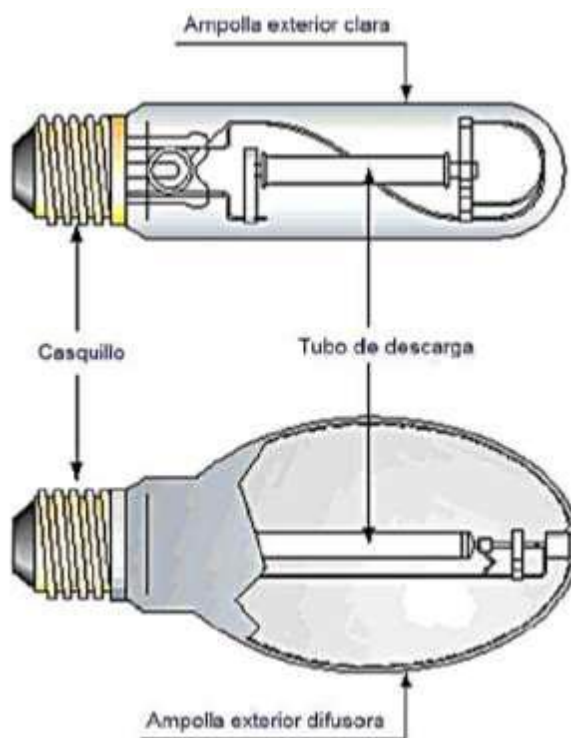


Figura 2.4: Lámpara de vapor de sodio a alta presión.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de

sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Debido a que estas lámparas no tienen un electrodo de encendido por su menor diámetro, se suministra un pulso de alta tensión, entre 1,5 a 5 kV, mediante un ignitor, para ionizar al gas de encendido que es el xenón. Una vez encendida, la lámpara se calienta en 10 minutos aproximadamente, durante el cual va cambiando de color.

Una vez que se ha establecido el arco, la tensión del mismo es baja (por la baja presión de vapor). El color inicialmente es blanco por la descarga del xenón, cambiando luego a amarillo después de unos 20 segundos. Durante este tiempo el sodio se evapora y poco a poco se involucra en la descarga.

La eficacia de estas lámparas está en un rango entre 80 a 130 lm/W, dependiendo de su potencia y de las propiedades de reproducción del color. La lámpara de sodio “blanco” tiene una eficacia de 43 lm/W y un valor un 45 % menor de las de sodio de alta presión estándar, las mismas poseen un tubo de descarga de óxido de aluminio sintetizado, alojado en una envoltura tubular de vidrio transparente al vacío.

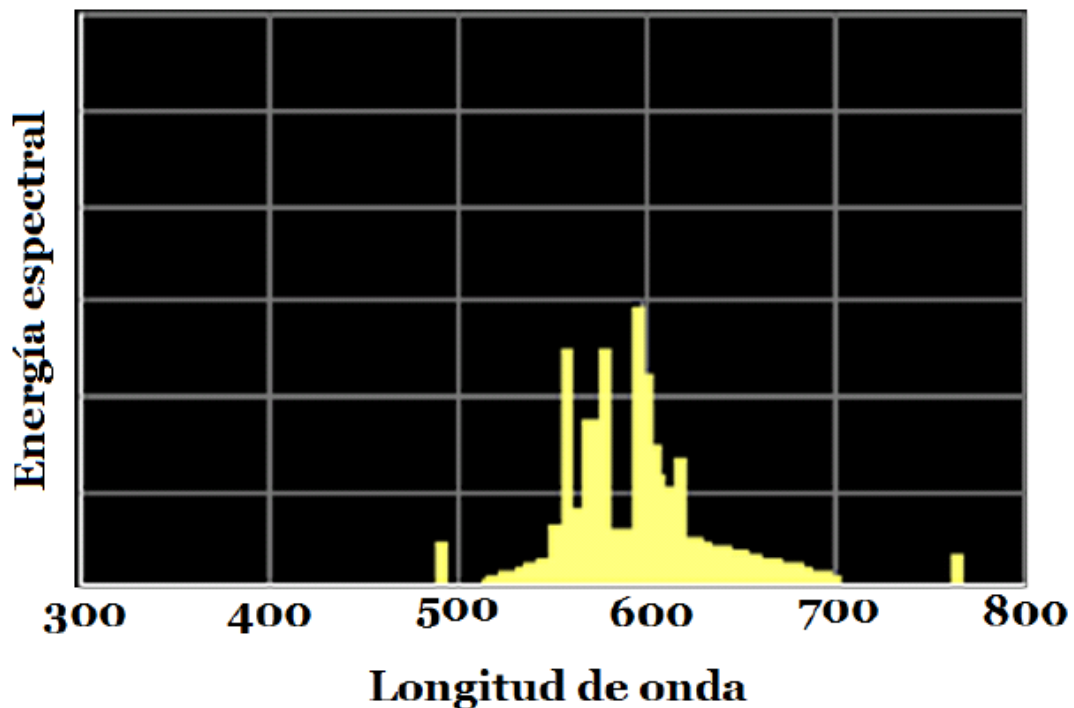


Figura 2.5: Energía espectral de Sodio a alta presión.

2.5.3. LUMINARIAS LED

En los últimos años el sistema de alumbrado público ha recibido un impulso inusitado en lo referente a la instalación de lámparas LED (Diodo Emisor de Luz) por sus diferentes prestaciones.

En el país es previsible que la utilización de los LED se incremente, debido a que sus aplicaciones son superiores a las lámparas incandescentes y al tubo fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED tiene ventajas para el alumbrado público como el ahorro energético que varía entre un 60% y 80% en relación con la iluminación tradicional.

2.5.3.1. EL LED COMO ELEMENTO GENERADOR DE LUZ

El diodo LED emite fotones de luz al paso de una corriente eléctrica en un sentido determinado (Ánodo-Cátodo), si utilizamos la convención eléctrica de la circulación de electrones.

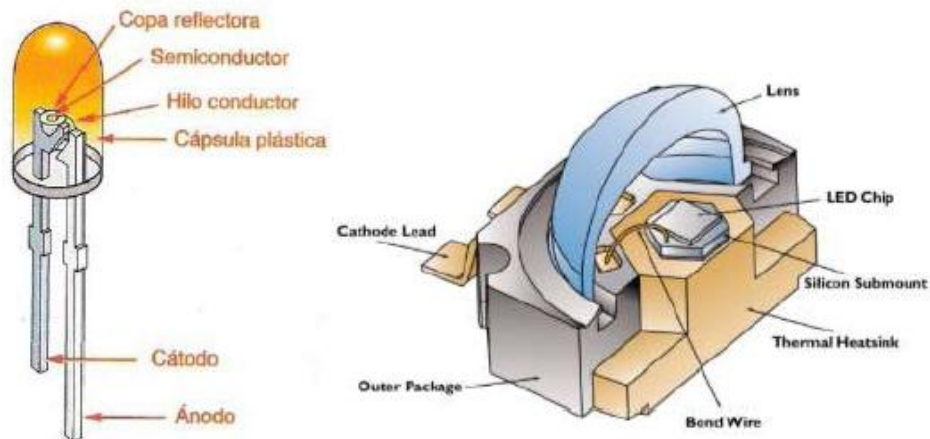


Figura 2.6: Elementos que componen un LED.

2.5.3.2. PRINCIPIO FÍSICO

El principio físico de la emisión de fotones por parte de un LED se basa en la teoría atómica de Bohr, que justifica su comportamiento en base a las bandas de energía en la que se encuentran los electrones en un átomo. Por este fenómeno, una tensión externa aplicada a una unión semiconductor p-n polarizada directamente (Ánodo-Cátodo), excita los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones si la energía es lo suficientemente grande, los electrones escapan del material en forma de fotones y pueden ser visibles por el ojo humano.

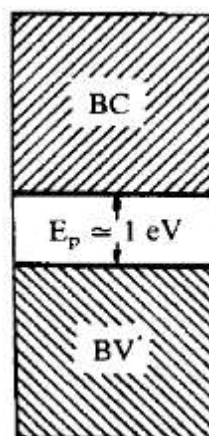


Figura 2.7: Disposición de los electrones en bandas de energía.

Las lámparas actuales, incluidos las LED's, tienen entre 95 o 150lm/w de rendimiento luminoso.

2.5.3.3. COMPOSICIÓN DE LOS LED's (COLORES DE LOS LED's)

Existen LED's de distintos colores, incluso de colores que los humanos no podemos ver, los colores dependen del material semiconductor con el que fueron fabricados y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue.

Compuesto	Color	Long. de onda
arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
fosfuro de galio (GaP)	verde	555 nm
nitruro de galio (GaN)	verde	525 nm
nitruro de galio e indio (InGaN)	azul	450 nm
carburo de silicio (SiC)	azul	480 nm

Tabla 2.1: Compuestos empleados en la construcción de Led.

A continuación, se describe como se encuentran formado el LED de color blanco que es el que se utiliza para alumbrado público.

2.5.3.4. COLOR DEL LED BLANCO

En un principio, solo se podían construir LED's de color rojo, verde y amarillo, con poca intensidad de luz, lo que limitaba su utilización, después se crearon LED's de casi todos los colores, excepto los de luz blanca, debido a que no se descubría el material que permitiera desarrollar un LED de luz azul.

En 1995 que se inventaron los LED's ultravioleta y azul, y esto dio paso al desarrollo del tan ansiado LED de luz blanca.

Desde ese momento el LED blanco ha evolucionado rápidamente en lo relacionado a la tecnología de iluminación y será probablemente la fuente dominante de luz en el futuro.

Los componentes del LED de luz blanca y las luminarias se basan en uno de los tres siguientes enfoques:

a) Modificación de la longitud de onda por fosforescencia o conversión de fosforo (UV+ fósforo).

Se modifica la radiación UV a una longitud de onda visible mediante adición de una serie de fósforos en el encapsulado que absorben dicha radiación y emiten luz blanca.

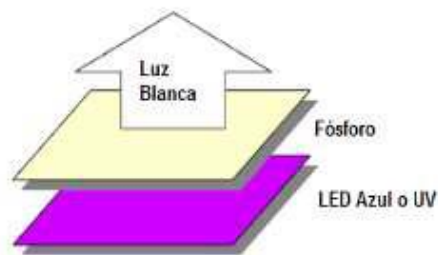


Figura 2.8: Fosforo convertido.

b) El procedimiento RGB (Red-Green-Blue) o mezcla de colores.

Mediante la combinación en partes iguales de luz de los tres colores (roja, verde y azul) y controladas con mucha precisión mediante dispositivos adecuados permite obtener la luz blanca.

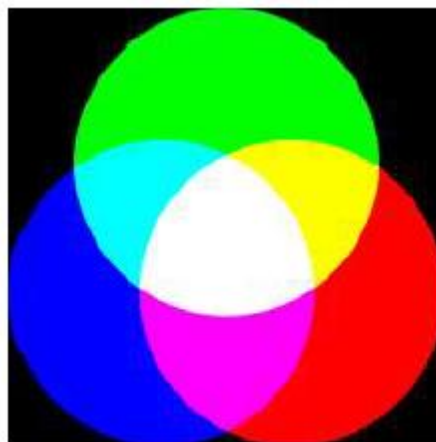


Figura 2.9. Síntesis aditiva del color.

c) Un enfoque híbrido que combina la conversión del fósforo y la mezcla de colores.

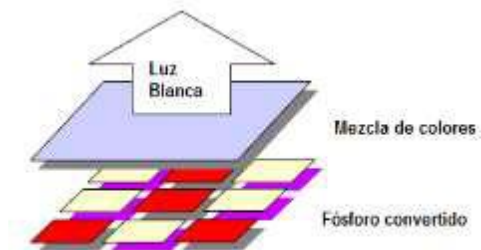


Figura 2.10: Enfoque híbrido.

La mayoría de los LED's utilizan el enfoque de fósforo convertido para crear luz blanca. La luz blanca se genera mediante la mezcla de una porción de luz azul emitida directamente desde un molde de Nitruro de Galio (GaN) LED con luz amarilla de conversión descendente emitida por un fósforo.

El fósforo puede estar situado en la superficie de emisión del diodo emisor de luz, dentro del encapsulado, o separado del mismo. Muchos fabricantes han logrado bajar la Temperatura de Color (CCT) e incrementar el Índice de

Reproducción Cromática (CRI) mediante la mezcla de fósforo rojo con fósforo amarillo.

Dependiendo de la cantidad de fósforos y el tipo de éstos, se consigue que la luz blanca sea más o menos fría, o lo que es lo mismo, con más o menos temperatura de color.

De esta manera se pueden conseguir LED's de luz blanca con temperaturas de 7.000 °K (luz fría), a 2.700 °K (luz cálida). (13)



Figura 2.11: Modificación de la longitud de onda por fosforescencia.

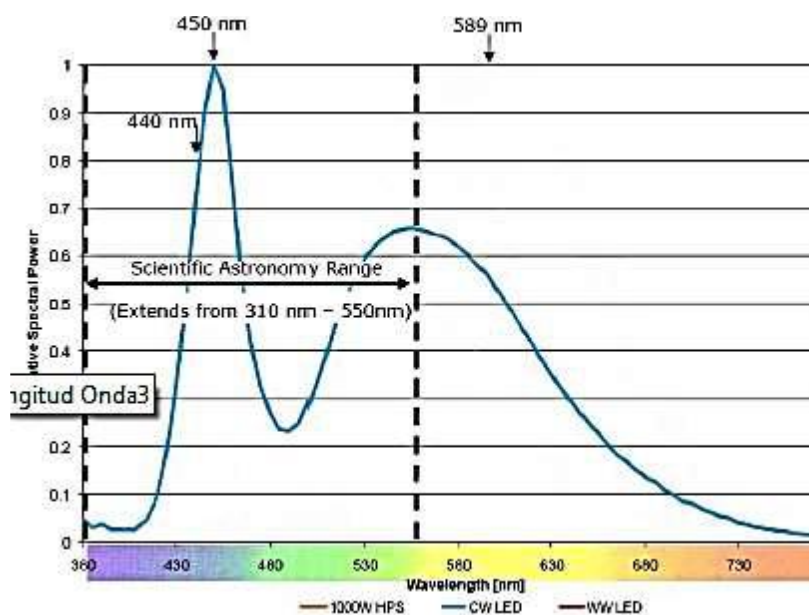


Figura 2.12: Espectro luminoso LED.

2.6. SISTEMAS INNOVADORES DE ILUMINACIÓN

2.6.1. Sistemas Automáticos de Control de Iluminación

Con el desarrollo de la electrónica de potencia, con componentes capaces de manejar las corrientes y tensiones típicas de lámparas de descarga (Assaf y Avellaneda de Wilde, 1985) de interfaces de control y de los Controladores Lógicos Programables (PLC), han aparecido en el mercado equipos que realizan nuevas e innovativas funciones en los sistemas de iluminación, entre ellos, los denominados Sistemas Automáticos de Control.

Un Sistema Automático de Control de Iluminación (SACI) puede ser definido como un dispositivo de control del alumbrado artificial, que tiene la finalidad de proveer alguna de las siguientes funciones:

- Encendido
- Apagado
- Atenuación (control del flujo luminoso)

Los sistemas de control automático (SACI) aparecen, entonces, como una alternativa al control manual, realizado por el usuario o por el encargado (administrador) según su propio criterio; con los SACI se ejecutan las mismas tareas automáticamente, y de acuerdo a un patrón preestablecido, orientado al ahorro energético y en función de una o más de las siguientes variables:

- Nivel de iluminancia por la luz artificial o natural
- Ocupación de los locales
- Horario de ocupación de los locales

Pertenece a esta categoría una amplia gama de equipos, desde simples relojes controladores de iluminación hasta módulos de control conectados, por interfaces apropiadas, a complejas centrales de administración y control de un edificio domótico. La finalidad de estos sistemas es el control de todos los sub sistemas, incluidos los de iluminación, luz de emergencia, señalización de vías de escape, alarmas de seguridad, etc. Cada módulo, compuesto por una red de sensores y de dispositivos varios, realiza el monitoreo de las condiciones operativas, la detección de fallas, predicción del mantenimiento, etc., información que es luego procesada por la central de control.

2.6.2. Sensores

La finalidad de un sensor de un sistema de control es evaluar las condiciones de los ambientes (cantidad de luz natural, presencia o ausencia de ocupantes, etc.) para generar la señal de control. Los tipos más conocidos son:

- Sensor ocupacional
- Sensor fotoeléctrico
- Sensor de tiempo (reloj)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN VIAL

3.1. EL ALUMBRADO PÚBLICO

3.1.1. OBJETIVOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Los principales objetivos que se buscan cumplir al realizar una instalación de alumbrado público son:

- Brindar la iluminación necesaria para conseguir la máxima seguridad y comodidad de circulación, tanto vehicular como de peatones, procurando minimizar todo tipo de problemas visuales, principalmente el deslumbramiento y la polución lumínica.
- Contribuir al control de la delincuencia y el vandalismo.
- Estimular el desarrollo cívico, turístico y comercial.

3.1.2. FACTORES DETERMINANTES DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO

En el alumbrado público existen factores como la eficiencia, la iluminación, la seguridad, la estética y el tráfico; los cuales determinan la exigencia que se debe cumplir; siendo este último de gran importancia debido a su incremento.

3.1.3. NIVEL DE ILUMINACIÓN Y FACTOR DE UNIFORMIDAD

La iluminación de una vía pública está en razón directa de la intensidad del tráfico rodado o la velocidad media de los vehículos, depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada.

3.1.4. UNIFORMIDAD GENERAL DE LUMINANCIA DE LA CALZADA (U_0)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía.

3.1.5. UNIFORMIDAD LONGITUDINAL SOBRE LA CALZADA (UL)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación. Se mide o se calcula de acuerdo con la norma CIE 140-2000.

3.1.6. RELACIÓN DE ALREDEDORES (SR)

Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratar conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m.

En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la relación SR no es necesaria.

3.1.7. ALTURA DEL PUNTO DE LUZ

En alumbrado público la altura del punto de luz tiene una gran influencia sobre la calidad de la iluminación y sobre sus costos.

La altura de montaje se obtiene tomando en cuenta elementos como la intensidad luminosa de la luminaria y anchura de la calzada.

Además, al situar el punto de luz a una gran altura tiene ventajas como también inconvenientes.

Entre las ventajas podemos citar:

- Mejor distribución de luminancias sobre la calzada
- Menor deslumbramiento, lo cual permite instalar lámparas de mayor potencia luminosa por punto de luz.

- Mayor separación entre puntos de luz con la consiguiente reducción del número de unidades luminosas y del costo total de la instalación.

Así mismo los inconvenientes que se generan:

- El mantenimiento de la instalación se torna más difícil y se incrementa los costos.
- El factor de utilización disminuye, debido a que gran parte del flujo luminoso emitido incide fuera de la zona que se pretende iluminar.

3.1.8. RELACIÓN ENTRE LA SEPARACIÓN Y LA ALTURA DE LOS PUNTOS DE LUZ

Esta relación afecta directamente a la uniformidad de la iluminación que se consigue sobre la calzada, a los valores absolutos de las luminancias y a las características fotométricas de la luminaria.

A medida que esta relación disminuye, la uniformidad de la iluminación es más elevada y mejor el reparto de luminancias, consiguiéndose una mayor comodidad visual para los usuarios de la vía, pero esto lleva consigo un aumento en el costo de la instalación, ya que es necesario distanciar menos las unidades luminosas o situar los puntos de luz a una mayor altura. De aquí que esta relación debe ser un compromiso entre las necesidades cualitativas de la iluminación y las posibilidades económicas para satisfacerlas.

3.1.9. DISPOSICIÓN DE LOS PUNTOS DE LUZ

La disposición de los puntos de luz en una vía pública se puede realizar de las siguientes formas:

3.1.9.1. UNILATERAL

Este tipo de configuración se utiliza cuando los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico. Se utilizará generalmente cuando la anchura de

la calzada es relativamente estrecha es decir cuando el ancho de la calzada sea menor o igual a la altura de montaje de las luminarias.

3.1.9.2. BILATERAL TRESBOLILLO

En esta configuración los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de en zigzag. Esta se utiliza cuando el ancho de la calzada sea de 1 a 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias, considerándose más idóneo el intervalo de 1 a 1,3 la altura de la luminaria.

3.1.9.3. BILATERAL PAREADA

Esta disposición es cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno al frente del otro y se utiliza cuando el ancho de la calzada es mayor de 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias, y se considera más adecuado utilizarlo cuando la anchura supere 1,3 veces la altura de las luminarias.

3.1.9.4. AXIAL

Este tipo de disposición no es muy recomendada ya que se necesita de cables para sujetar las luminarias, además los conductores tienden a ir por el centro de la vía.

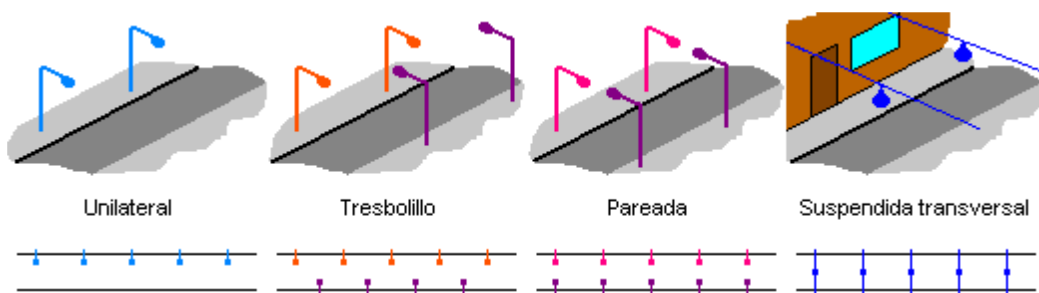


Figura 3.1: Disposición del alumbrado público.

3.1.10. FACTOR DE UTILIZACIÓN (f_u)

El factor de utilización es la relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie dada, y el nominal emitido por la lámpara instalada, es una medida del conjunto lámpara-luminaria. Este factor se obtiene de las curvas de utilización de la luminaria las cuales son facilitadas por el fabricante.

$$f_u = \frac{\phi_{utilizado}}{\phi_{lampara}}$$

Ecuación 3.1: Factor de utilización.

3.1.10.1. CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas k. La primera, denominada k_1 , representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda, denominada k_2 , representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia el andén.

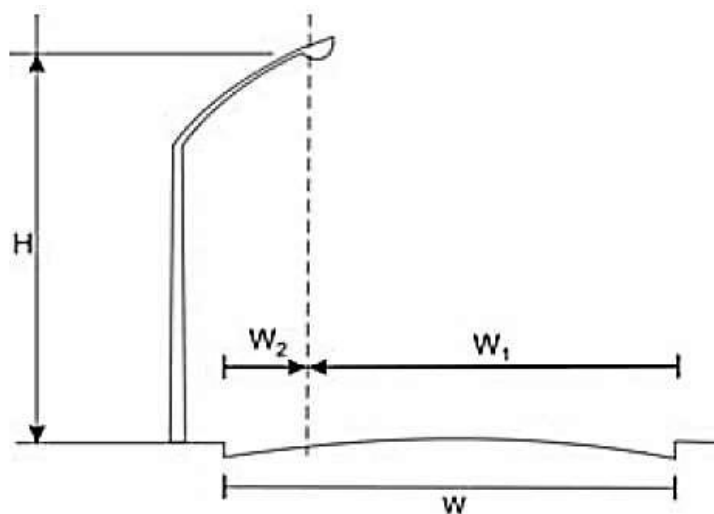


Figura 3.2: Determinación del coeficiente de utilización.

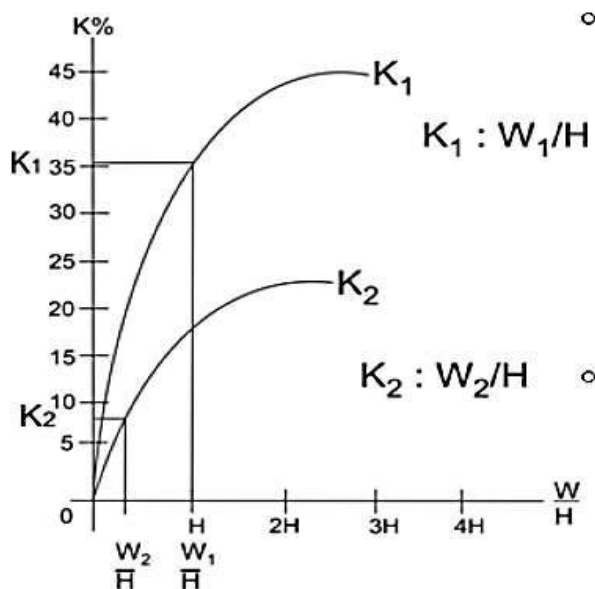


Figura 3.3: Curvas del coeficiente de utilización.

En la ordenada de la Figura 3.3, se indica el valor del k en porcentaje y en la abscisa se indica el ancho de la calzada expresada en función de la altura de montaje H . Con el fin de facilitar su uso en diferentes esquemas de montaje.

Para calcular k_1 se calcula la relación $\frac{W_1}{H}$, se ubica el valor en la abscisa de la Figura 3.4 y se sigue verticalmente hasta cortar la curva k_1 . En este punto, horizontalmente se lee el valor k_1 . Igual procedimiento se sigue para el cálculo de k_2 pero utilizando el valor W_2 y la curva k_2 .

Resultando la suma de los valores de k_1 y k_2 el coeficiente de utilización total k_T

3.1.11. FACTOR DE CONSERVACIÓN o FACTOR DE MANTENIMIENTO (f_c)

En el alumbrado público como en cualquier otro tipo de alumbrado se debe tener en cuenta la depreciación luminosa, causada por el envejecimiento de la lámpara y de la luminaria, y a la pérdida de luz, por la suciedad que se va depositando sobre ambos elementos.

Por lo que el factor de conservación puede considerarse como el producto de tres factores: depreciación del flujo luminoso, supervivencia de la lámpara y depreciación de la luminaria.

$$fm = FDL \times FSL \times FDLU$$

Ecuación 3.2: Factor de mantenimiento.

Dónde:

FDL: Factor de depreciación del flujo de la lámpara.

FSL: Factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU: Factor de depreciación de la luminaria.

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Sodio baja presión	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Halogenuros metálicos	0,82	0,78	0,76	0,76	0,73
Vapor de mercurio	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Fluorescente tubular Trifosforo	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Fluorescente tubular Halofosfato	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Fluorescente compacta	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Tabla 3.1: Factor de depreciación del flujo de la lámpara.

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,9S	0,96	0,94	0,92	0,89
Sodio baja presión	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Halogenuros metálicos	0,9S	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de mercurio	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Fluorescente tubular Trifosforo	0,99	0,99	0,99	0,9S	0,96
Fluorescente tubular Halofosfato	0,99	0,9S	0,93	0,86	0,70
Fluorescente compacta	0,9S	0,94	0,90	0,7S	0,50

Tabla 3.2: Factor de supervivencia de la lámpara.

Grado protección sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1,5 años	2 años	2,5 años	3 años
IP 2X	<i>Alto</i>	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	<i>Medio</i>	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	<i>Bajo</i>	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP 5X	<i>Alto</i>	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	<i>Medio</i>	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	<i>Bajo</i>	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP 6X	<i>Alto</i>	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	<i>Medio</i>	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	<i>Bajo</i>	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

Tabla 3.3: Factor de depreciación de la luminaria.

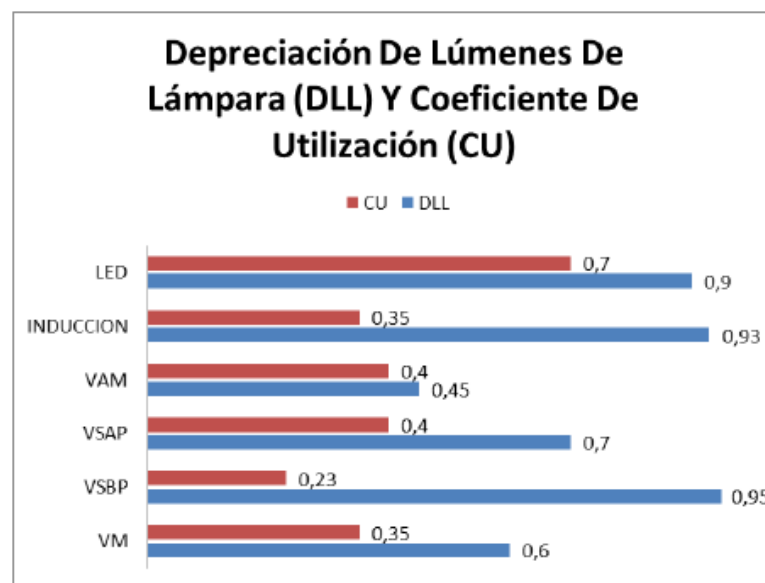


Figura 3.4: Resumen general.

3.2. TIPOS DE CALCULOS

3.2.1. CÁLCULO DEL ALUMBRADO PÚBLICO MEDIANTE EL MÉTODO DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO

Con este método lo que se calcula es el flujo luminoso para un tramo de vía utilizando la siguiente ecuación.

$$\phi_T = \frac{E_{med} \times A \times D}{f_u \times f_c}$$

Ecuación 3.3.

ϕ_T = flujo luminoso total necesario en lm

E_{med} = iluminancia media en lux

A = ancho de la calzada en metros

D = distancia entre dos puntos de luz en metros

f_w, f_c = factor de utilización y factor de conservación

La solución de esta ecuación puede considerarse como válida si su resultado es igual o inferior a la cantidad de lúmenes dado por las lámparas.

3.2.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS

El número de luminarias está dado por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{N}{D} + 1$$

Ecuación 3.4: Calculo de numero de luminarias.

Dónde:

L = longitud de la via a iluminar

h = altura del punto de luz con respecto a la calzada

R = relacion separacion/altura

$D = R \times h$ separacion entre los puntos de L

CAPÍTULO 4

EL USO DE SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN

Los programas de cómputo que existen hoy en el mercado es un fenómeno que no existía tan solo hace 20 años. Los avances de estos se han dado debido al rápido crecimiento de la industria de la iluminación donde cada vez más se requiere a profesionales equipados con todas las herramientas que miden la eficiencia de un buen diseño de iluminación.

AGi32, Dialux, Calculux, Relux, WYSIWYG, y Litestar son algunos de los programas de cómputo actualmente en el mercado. Cada uno cuenta con diferentes ventajas y desventajas. De los más usados son AGi32 y WYSIWYG por el software CAST.

AGi32 puede servir como una herramienta de diseño en todas las etapas del proceso, sobre todo para reducir el consumo de energía mediante el desarrollo de diseños exigentes. En su uso, el diseñador descubrirá constantemente maneras de reducir los niveles de luz del diseño en el que trabaja. Esta capacidad de desafiar las suposiciones y presunciones del diseñador permite crear diseños mucho mejores.

Por otro lado, WYSIWYG es un programa de gran alcance, pre-visualización y programación de herramientas para la industria de la iluminación de entretenimiento. Sin embargo, no es el software que se desearía utilizar para diseñar la iluminación de oficinas, pero no fue concebido para ese fin.

Lo principal para tomarse en cuenta es la mayor utilidad que brindan estos programas después de que se haya completado un diseño arquitectónico. Es decir, cuentan con más funciones para medir la eficiencia de un diseño lumínico que con funciones para diseñar un espacio atractivo.

La mejor práctica al usar estos programas es primero diseñar y generar dibujos del diseño de iluminación usando programas como AutoCAD. Luego, una vez

que las cualidades estéticas y los objetivos de diseño se hayan establecido por el arquitecto, los dibujos se traspasan al programa de iluminación

CAPITULO 5

METODO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

5.1. Fundamentos teóricos del AHP

5.1.1. Introducción

Vivimos en un entorno complejo donde los problemas que se plantean son cada vez más difíciles de resolver y para su resolución se necesitan cantidad de criterios y motivos o justificaciones que den peso a la decisión a tomar.

Es por esto que se necesita de un método que pueda hacer frente a este tipo de decisiones complejas. El método AHP muestra fuertes ventajas en el interés de identificar y priorizar los problemas y las consiguientes acciones, y también cuando uno o varios decisores tienen que establecer una prioridad entre diferentes alternativas en base a diferentes criterios. Es por ello que se ha seleccionado este método.

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión multicriterio son:

- Presenta un sustento matemático
- Permite desglosar y analizar un problema por partes
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos
- Permite verificar el índice de consistencia y si es necesario realizar correcciones

El Proceso de Análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty se basa en la idea de un problema complejo de criterio múltiple que se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. Se requieren evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y además su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de

decisión. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

Según Thomas L.Saaty el método AHP “trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión”.

5.1.2. Etapas del modelo AHP

El proceso que propuso Saaty para que el AHP se divide en 4 etapas fundamentales:

5.1.2.1. Modelización

En esta primera etapa del modelo se realiza la jerarquización del problema, se organizan las ideas y se definen los objetivos, los criterios que se emplearán y las diferentes alternativas que serán objeto de estudio.

Se comienza definiendo cual es el objetivo del proceso según el decisor.

A continuación, se definen las diferentes alternativas de las cuales queremos saber cuál será la mejor para cumplir nuestro objetivo.

El siguiente paso será determinar cuáles van a ser los criterios a valorar, estos deben representar al problema de la forma más completa posible y deben identificar los atributos que contribuyen a la solución.

Los criterios deben poder medirse y cuantificar, de lo contrario no podrían utilizarse para este método. Los criterios podrán ser tanto criterios medibles numéricamente como criterios medibles subjetivamente, donde se emplearán escalas de comparación que se explicarán más adelante.

En resumen, el problema se estructura en tres niveles, el primer nivel será el objetivo del problema, en el segundo nivel estarán definidos los criterios que se construyen siguiendo una estructura jerárquica descendente desde uno o varios objetivos y desglosándose en sub-objetivos que permitirán, en un paso posterior,

valorar las alternativas para cada criterio. En el tercer nivel estarán las alternativas consideradas en el problema decisión.

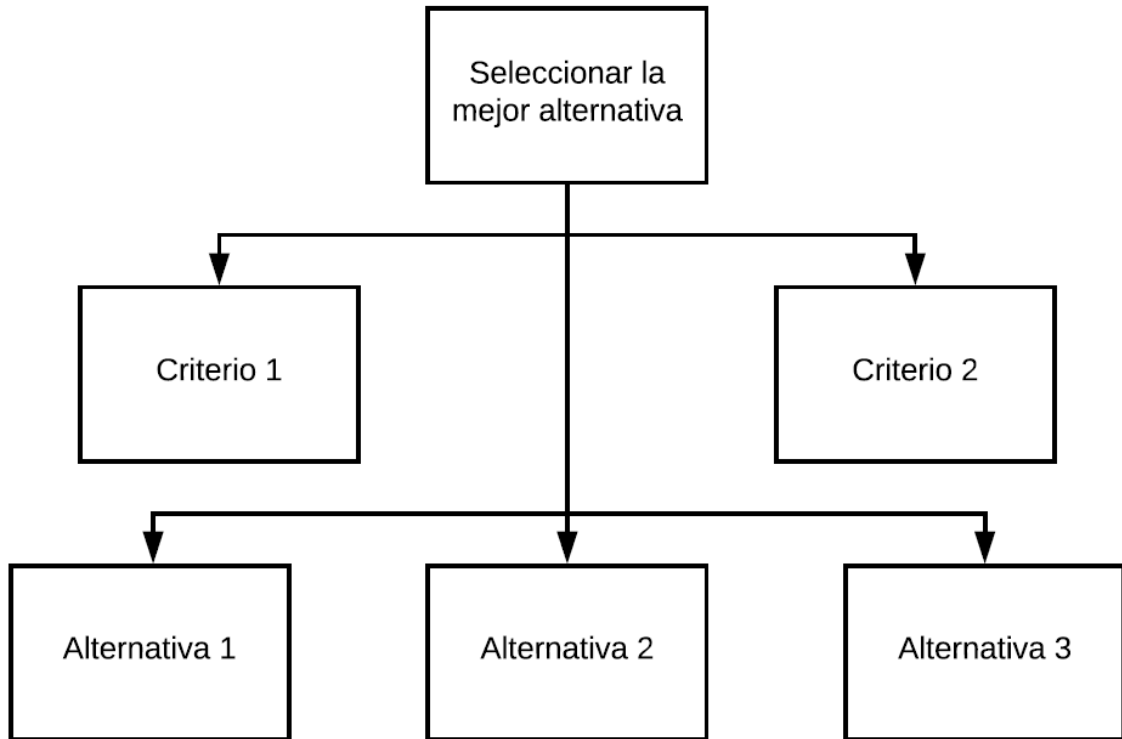


Figura 5.1: Esquema jerárquico.

5.1.2.2. Valoraciones

Conocidas las alternativas y definidos los criterios debe procederse a ordenar y ponderar el diferente interés de cada uno de los criterios en la selección de las alternativas. El objetivo de esta etapa consiste en medir la importancia que el decisor le asigna a cada uno de los criterios.

Esto se realiza mediante comparaciones pareadas, es decir, se compara cada criterio o alternativa i con cada criterio o alternativa j . Se utiliza una escala subyacente con valores del 1 al 9 para calificar las preferencias relativas de los elementos. La siguiente tabla muestra la correlación entre valoración numérica y cualitativa.

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grade
9	Importancia extrema
2,4,6 y 9	Valores intermedios a los anteriores cuando es necesario matizar

Tabla 5.1: Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980).

Con esto se pasa a construir la matriz de comparaciones pareadas, será una matriz cuadrada $A_{n \times n} = [a_{ij}]$ con $1 \leq i, j \leq n$.

Para la construcción de la matriz deben tenerse en cuenta los siguientes axiomas:

- Axioma de reciprocidad: Si A es una matriz de comparaciones pareadas entonces se cumple que si $a_{ij} = x$ entonces $a_{ji} = 1/x$ con $1/9 \leq x \leq 9$. Por la propiedad de Reciprocidad solo se necesitan $n(n-1)/2$ comparaciones
- Axioma de homogeneidad: Los elementos que se comparen entre sí ser del mismo orden de magnitud y jerarquía.
- Axioma de independencia: Cuando el decisor realiza las comparaciones, se está suponiendo que los criterios no tienen dependencia con las propiedades de las diferentes alternativas.
- Axioma de las expectativas: Para el propósito de la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa.

Por tanto, siguiendo el procedimiento y cumpliendo con los diferentes axiomas la matriz de comparaciones pareadas quedaría:

	A1	A2	A3
A1	1	a_{12}	a_{13}
A2	a_{21}	1	a_{23}
A3	a_{31}	a_{32}	1

Tabla 5.2: Matriz de comparaciones pareadas.

5.1.2.3. Priorización y síntesis

Una vez se crea la matriz de comparaciones pareadas, se calcula lo que se denomina prioridad. Esta indica la importancia que el decisor le ha asignado a cada elemento.

Las prioridades se expresan en forma de vectores. Sea una matriz A ($n \times n$) como la obtenida al realizar las comparaciones pareadas, llamamos autovalores o autovectores propios de A ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) a las soluciones de la ecuación: $\det(A - \lambda I) = 0$.

El autovalor principal de la matriz (λ_{max}) es el máximo de los autovalores obtenidos al realizar la ecuación anterior. En el caso ideal, n es el autovalor dominante de $[A]$ y $[a]$ el autovector asociado. El autovector asociado al autovalor dominante es el vector de pesos que se quiere obtener.

Cuando el vector propio obtenido sea el de la matriz de criterios le denominaremos V_c , e indica el peso o importancia relativa que cada uno de los criterios seleccionados tiene en la valoración del conjunto de alternativas sobre las cuales se va a trabajar.

Cuando el vector propio obtenido sea el de la matriz de alternativas para un criterio determinado, le denominaremos V_{ai} (vector columna), que indica el peso o importancia relativa de cada una de las alternativas para el criterio i . Se obtendrán tantos vectores propios como criterios.

Una consideración a tener en cuenta que afecta a la decisión final será la consistencia de los juicios del decisor a la hora de rellenar las matrices pareadas. Esto se debe a que el decisor realiza un juicio personal, lo que puede dar lugar a una cierta inconsistencia que habrá que evaluar para ver si se encuentra por debajo de los límites.

CAPITULO 6

EVALUACION ECONOMICA

6.1. Método de evaluación

Para la evaluación de la rentabilidad de un proyecto, se utilizará el método Beneficio/Costo, esto requiere identificar cuáles son los costos y cuáles son los beneficios y compararlos. Para ello, serán utilizadas el VPN y el TIR como herramientas financieras.

6.1.1. Valor Presente Neto (VPN)

El VPN o también conocido como VAN (Valor Actual Neto), es un método muy utilizado para saber si un proyecto es viable o no. Se mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar a la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia.

En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro, se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento o TMAR.

La TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento), es una tasa de rendimiento fijada por el inversionista que tomo en cuenta las circunstancias expuestas y, por lo tanto, es el punto de referencia para decidir sus inversiones.

La ecuación para el cálculo del VPN es:

$$VPN = -P + \frac{FNE1}{(1+i)^1} + \frac{FNE2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

FNE_n = Flujo neto de efectivo del año n, que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n.

P = Inversión inicial en el año cero.

i = Tasa de referencia a la TMAR (tasa de inflación + premio al riesgo)

- Si el $VPN > 0$: Es conveniente aceptar la inversión, ya que se estaría ganando más del rendimiento solicitado.
- Si el $VPN < 0$: se debe rechazar la inversión por que no estaría ganando el rendimiento mínimo solicitado.
- Si el $VPN = 0$: también se debe aceptar la inversión, porque ya es estaría ganando exactamente la TMAR.

6.1.2. Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

La ganancia anual que tiene cada inversionista se puede expresar como una tasa de rendimiento o de ganancia anual llamada tasa interna de rendimiento.

El valor de la TIR se encuentra cuando el VPN se vuelve cero y representa el interés más alto que un inversionista podría pagar sin perder dinero.

Al igualar el VPN a cero, la única incógnita que queda es la i , tal como se puede observar la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE1}{(1+i)^1} + \frac{FNE2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

La tasa calculada se compara con la tasa fijada por el inversionista (TMAR). Si la TIR es igual o mayor que esta, es recomendable aceptar la inversión y si es menor debe rechazarse.

6.1.3. Periodo de retorno de inversión (PRI).

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos en efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

El periodo de retorno de la inversión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PRI = [PUFAN] + \left[\frac{ABS}{VFCSP} \right]$$

Donde:

PUFAN: Periodo ultimo con flujo acumulado negativo.

ABS: Valor absoluto del ultimo acumulado negativo.

VFCSP: Valor del flujo de caja en el siguiente periodo.

6.1.4. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad indica las variables que más afectan en el resultado económico de un proyecto y las que tienen poca incidencia en el resultado final del mismo.

Es recomendable realizar el análisis de sensibilidad en variables en las que no se tenga un valor completamente definido.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 7

7.1. Descripción del trabajo

El proyecto final de grado consiste en la búsqueda y selección de una alternativa tecnológica para la reducción de consumo de energía y una mayor durabilidad de alumbrado público en la ciudad de Villarrica, durante el proceso de elaboración se realizaron visitas a la concesionaria CLYFSA, haciendo reuniones con profesionales del área técnica conversando sobre la propuesta y finalidad del proyecto, buscado un acuerdo de colaboración entre ambas partes para acceso a datos e informaciones necesarias para la elaboración del proyecto. El proyecto de sustitución abarco ciertos tramos dentro de la zona urbana, consideradas de mayor importancia.

Con las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado se seleccionaron productos cuyos proveedores facilitaron a la concesionaria equipos de alumbrado públicos para someterlas a prueba y también a ensayos en laboratorio. Una vez obtenida los datos correspondientes sobre las especificaciones técnicas y resultados de los ensayos en el laboratorio se comenzaron con el estudio correspondiente de selección de la mejor alternativa tecnológica de alumbrado público.

Para la selección de la mejor alternativa teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos se empleó un método de selección de alternativa multicriterio llamado, proceso analítico jerárquico, con sus siglas en inglés (AHP).

7.2. Justificación

Las entidades prestadoras de servicios ya sea de energía eléctrica u otro tipo de servicios apuntan siempre a la calidad en la prestación del servicio brindando un servicio eficiente, buscando la satisfacción del cliente como también de la concesionaria. Los alumbrados públicos cumplen un papel muy importante

dentro de una ciudad como también en zonas rurales pues permite el desarrollo constante de la población como también ayudar a mejorar la seguridad.

Actualmente las tecnologías en sistemas de alumbrado están en continua evolución. Todas las alternativas, mediante sus políticas de sustentabilidad y desarrollo han diseñado luminarias actualizables, presentando en el mercado soluciones duraderas y fáciles de adaptar a futuros progresos tecnológicos. Las prestaciones de los diseños fotométricos y mecánicos apuntan específicamente, a la reducción del consumo energético sin dejar de alcanzar, los niveles de iluminación requeridos, respetando las normativas vigentes.

Con la realización de este proyecto se propone a la concesionaria CLYFSA alternativas para disminuir el consumo de energía eléctrica de los alumbrados públicos optando por nuevas tecnológicas disponibles en el mercado que puedan reemplazar a los alumbrados públicos existentes ubicados en las avenidas, calles residenciales, lugares importantes dentro de la ciudad. Se buscaron que los equipos propuestos respondan de manera ventajosa en cuanto al consumo de energía eléctrica, vida útil, reproducción cromática, niveles de deslumbramiento, etc.

El principal beneficiario es el cliente por las ventajas que presenta estas tecnologías, la entidad prestadora de servicio puede conseguir un ahorro importante con la reducción del consumo de energía eléctrica por los alumbrados públicos por ser una entidad que compra energía de la ANDE. Además de todo esto son sistemas amigables con el medio ambiente por no ser contaminantes en comparación con los equipos utilizados actualmente que si son contaminantes.

7.3. Finalidad del proyecto

Con la realización de este proyecto se propone a la concesionaria CLYFSA alternativas para disminuir el consumo de energía eléctrica de los alumbrados públicos optando por nuevas tecnológicas disponibles en el mercado que puedan reemplazar a los alumbrados públicos existentes ubicados en las avenidas,

calles residenciales, lugares importantes dentro de la ciudad. Se buscará que los equipos propuestos respondan de manera ventajosa en cuanto al consumo de energía eléctrica, vida útil, reproducción cromática, niveles de deslumbramiento, etc.

7.4. Metas

Con este proyecto se pretende el reemplazo del 23.84% del sistema de alumbrado público por una alternativa tecnológica para la reducción de consumo de energía y mayor durabilidad. La propuesta se podrá implementar desde el comienzo del 2019.

7.5. Objetivos

7.5.1. Objetivo general

Proponer alternativas para la reducción de consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado público de la concesionaria Clyfsa de la ciudad de Villarrica.

7.5.2. Objetivos específicos

- Relevar datos e informaciones sobre la situación de las instalaciones de alumbrado actuales
- Revisar normas internacionales sobre tecnologías nuevas en sistema de iluminación pública
- Explorar el mercado sobre la disponibilidad de sistemas tecnológicos para sistemas de alumbrados públicos
- Realizar una adaptación y configuración de cada alternativa tal que cumplan los estándares en cuanto a normas y criterios para la iluminación
- Establecer criterios técnicos y económicos para la comparación de las alternativas tecnológicas

- Seleccionar la alternativa más eficiente en cuanto a consumo de energía y con mejor desempeño en durabilidad

7.6. Beneficiarios

El principal beneficiario son los usuarios de la CLYFSA por las ventajas que presenta esta tecnología, la Concesionaria de Energía Eléctrica prestadora de servicio conseguiría un ahorro importante con la reducción del consumo de energía eléctrica de los artefactos de alumbrado público por ser una entidad que compra energía de la ANDE. Además de todo esto son sistemas amigables con el medio ambiente por no ser contaminantes en comparación con los equipos utilizados actualmente.

7.7. Producto

El principal producto es la elaboración del proyecto de sustitución de equipos de alumbrado público en 19 tramos de caminos seleccionadas dentro de la ciudad de Villarrica del Espíritu Santo por la mejor alternativa tecnológica que resulte en una mejora tanto técnica como económica en el sistema de alumbrado público.

7.8. Localización física y cobertura espacial

El proyecto final de grado está orientado a presentar una propuesta técnico y económica dentro del área de concesión de la Compañía de Luz y Fuerza Sociedad Anónima – CLYFSA de la ciudad de Villarrica del Espíritu Santo Capital del IV Departamento del Guaira.

En el apéndice A1 se expone mapas e imágenes correspondientes.

7.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

El proyecto de fin de grado dio inicio con una revisión bibliográfica acerca las teorías básicas sobre iluminación, diseños de sistemas de iluminación externa, específicamente a cerca de iluminación vial, métodos de selección de alternativa y métodos para el estudio económico.

Para la recolección de datos se visitó primeramente al departamento técnico de la concesionaria solicitando información del estado actual del sistema de alumbrado público de la ciudad. Luego se realizó una recolección de datos en campo tomando datos y mediciones del sistema actual de alumbrado público.

Se realizó una revisión normativa sobre iluminación vial y en base a los datos actuales de la instalación se seleccionaron normas que mejor aplican a instalaciones actuales y futuras.

Con la exploración del mercado sobre las alternativas tecnológicas y cuyos proveedores facilitaron a la concesionaria equipos para prueba fueron seleccionadas las alternativas para el estudio. Las alterativas seleccionadas pasaron por ensayos en laboratorio antes de ser instalados a modo de prueba.

Se establecieron criterios técnicos y económicos según la cuales se van realizando comparaciones entre las alternativas seleccionadas en cuanto a especificaciones técnicas y datos económicos.

Se realizó una evaluación y selección de alternativa con un método multicriterio llamado proceso analítico jerárquico usando como herramienta un software libre que resuelve dicho proceso.

Una vez obtenida un resultado de la mejor alternativa se procedió a la elaboración del proyecto de reemplazo en tramos de caminos seleccionados consideradas de mayor importancia.

En el proyecto de reemplazo se utilizó un método de diseño de iluminación vial llamado el método de las luminancias y cuyo diseño se realiza en un software libre cumpliendo las normas establecidas.

Para la obtención de los datos geográficos sobre cantidades y ubicaciones de postes de AP se utilizó un software libre de georreferenciación, cuyos datos fueron proveídos por la concesionaria en un sistema de GIS.

Finalizando el proyecto de reposición se tiene los resultados necesarios para realizar la propuesta a la concesionaria, y adjuntando una sugerencia opcional para una distribución más correcta del sistema de iluminación.

Una vez culminada el proyecto en su aspecto técnico, se realizó un análisis económico que permite resumir de manera anticipada el resultado global del proyecto desde el punto de vista económico. En el proyecto se empleó el método del VPN, el flujo de caja proyectada, TIR y el PRI como modelo para realización del análisis económico.

7.10. Métodos y Técnicas utilizadas

7.10.1. Tipo de Investigación

La investigación fue del tipo documental y de campo. En el tipo documental se realizó consultas en algunas fuentes de información tales como páginas web, catálogos y libros. Y en el tipo de campo, se investigó sobre las alternativas tecnológicas existentes en nuestro mercado para distinguir las diferentes características en cuanto a especificaciones técnicas y criterios de luminotecnia.

7.10.2. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

Se utilizaron planillas electrónicas para ir teniendo una base de datos de todo el proceso de recolección de datos. Los instrumentos que se utilizaron son instrumentos de medición tal como, luxómetro, cámara fotográfica, medidores de consumo de energía.

7.11. Recursos necesarios

7.11.1. Recursos humanos

Este proyecto final de grado será elaborado por el alumno proyectista de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA carrera de Ingeniería en Electricidad, con el apoyo del Asistente de proyecto final de grado, Ingeniero tutor y personales técnicos correspondientes al área de estudio de esta investigación de la concesionaria Clyfsa.

7.11.2. Recursos materiales

Los recursos materiales que se necesitaran son:

- Computadora y calculadora (Propio)
- Bloc de notas y agenda
- Software de diseño y simulación (Propio)
- Luxómetro
- Cámara termográfica (Prestado sin costo)
- Laboratorio de ensayo (Prestado sin costo)
- Herramientas utilizadas en taller y montaje de equipos (Prestado sin costo)
- Medios de transporte

7.12. Factibilidad técnica

El presente proyecto es factible técnicamente, pues mediante el mismo se puede obtener:

- Ahorro energético y mayor durabilidad en el sistema de alumbrado público en los tramos en los cuales serán sustituidos por la alternativa tecnológica.
- Reducción de pérdidas por reactivos en el sistema de alumbrado público en los tramos en los cuales serán sustituidos por la alternativa tecnológica.
- Aumento de la eficacia luminosa en el sistema de alumbrado público en los tramos en los cuales serán sustituidos por la alternativa tecnológica.
- Reducción de porcentaje de distorsión armónica en el sistema de alumbrado público en los tramos en los cuales serán sustituidos por la alternativa tecnológica.

- Aumento del índice de rendimiento de color en el sistema de alumbrado público en los tramos en los cuales serán sustituidos por la alternativa tecnológica.

7.13. Factibilidad económica

Esta parte se efectúa la Evaluación económica de las soluciones técnicas factibles que se encontraron en el Capítulo 6 correspondiente a Ingeniería de Diseño. De corresponder, se realiza las comparaciones pertinentes entre las alternativas.

7.13.1. Beneficios

7.13.1.1. Ahorro energético

Del total de equipos instalados dentro de toda la ciudad se debe reemplazar 726 equipos en los tramos más importantes que equivale al 23.84 % del sistema de Alumbrado Público.

Con esa cantidad de alumbrados a reemplazar se tendrá un ahorro en consumo de energía eléctrica de 315,358.81 kwh/año que representa 9,96 % como se muestra en la siguiente tabla.

Consumo actual (Kwh/año)	Consumo de equipos a no ser reemplazados (Kwh/año)	Consumo de equipos nuevos tras el reemplazo (Kwh/año)	Consumo total nuevo (Kwh/año)	Ahorro en consumo de energía (Kwh/año)
3.480.000	2.650.285,71	514.365,48	3.165.651,19	315.358,81 (9,06%)

Tabla 7.1: Ahorro energético.

7.13.1.2. Disminución de potencia instalada

Con el reemplazo de los equipos de alumbrado público se podrá realizar una disminución de la potencia instalada en iluminación vial.

Se describe en la siguiente tabla la potencia instalada a ser disminuida

Cantidad	Potencia equipo anterior (W)	Potencia equipo nuevo (W)	Ahorro (W)
1	250	220	30
725	181.500	159.720	21.780

Tabla 7.2: Disminución de la potencia instalada.

7.13.1.3. Ahorro en mantenimiento

Se realizó una estimación al costo de mantenimiento que se venía realizando a los alumbrados públicos existentes en los tramos de camino seleccionados para el reemplazo.

Realizando una estimación sobre el mantenimiento de los equipos de alumbrado público teniendo en cuenta el criterio de vida útil de cada tipo se tendrá la siguiente diferencia: La vida útil de la alternativa LED Tipo 2 es de 100.000 horas y la de VS es de 22.000 horas, con un trabajo diario de 10 horas el LED Tipo 2 podrá durar unos 27,39 años y el vapor de sodio unos 6,02 años. Así se tiene un ahorro en mantenimiento según costo de equipo del 31,74 %.

El costo total de mantenimiento que pasa a concepto de ahorro se describe en la siguiente tabla:

	Mes (Gs)	Año (Gs)
Mano de obra (hhp)	4.646.250	55.755.000
Costo de materiales	5.969.688	71.636.254

Total	10.615.938	127.391.254
--------------	------------	-------------

Tabla 7.3 Ahorro en mantenimiento

7.13.2. Costos

7.13.2.1. Costo de equipos

La inversión inicial consiste en la compra de la cantidad de equipos necesarios para el reemplazo de los tramos estudiados, son especificados en la siguiente tabla.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio un. IVA Includo (Gs)	Total IVA Includo	Descuento por cantidad de compra (10%)
1	LED Tipo 2	726	2.090.000	1.517.340.000	1.365.606.000

Tabla 7.4: Costo de equipos.

7.13.2.2. Costo de accesorios

El único accesorio necesario para la instalación sería la compra del sensor fotoeléctrico (fotocélula).

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio un. IVA Includo (Gs)	Total IVA Includo (Gs)	Descuento por cantidad de compra (10%)
1	Sensor Fotoeléctrico	726	34.815	25.275.690	22.748.121

Tabla 7.5: Costo de accesorios.

7.13.2.3. Costo de instalación

El costo de instalación incluye el retiro del equipo viejo y la instalación del nuevo equipo.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio un. IVA Includo (Gs)	Total IVA Includo (Gs)
1	Instalación	726	200.000	145.200.000

Tabla 7.6: Costo de instalación.

7.13.3. Evaluación económica

7.13.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada

Teniendo los datos de los costos iniciales que son, la compra de equipos, accesorios, instalación y también un costo para imprevistos, los cuales se toman como base para la elaboración del flujo de caja proyectado de las inversiones y los ahorros que se tendrán por el reemplazo de los equipos de alumbrado público por la alternativa tecnológica seleccionada utilizando un horizonte de tiempo de 15 años, cuyos cálculos están detallados en el apéndice C.1. – Determinación del TIR, VPN y PRI, de lo cual se obtuvo el resultado de la siguiente figura.

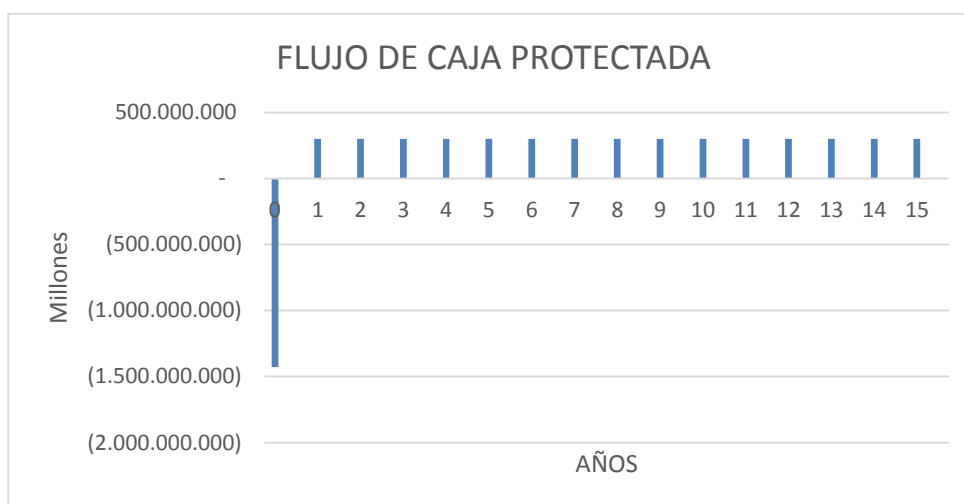


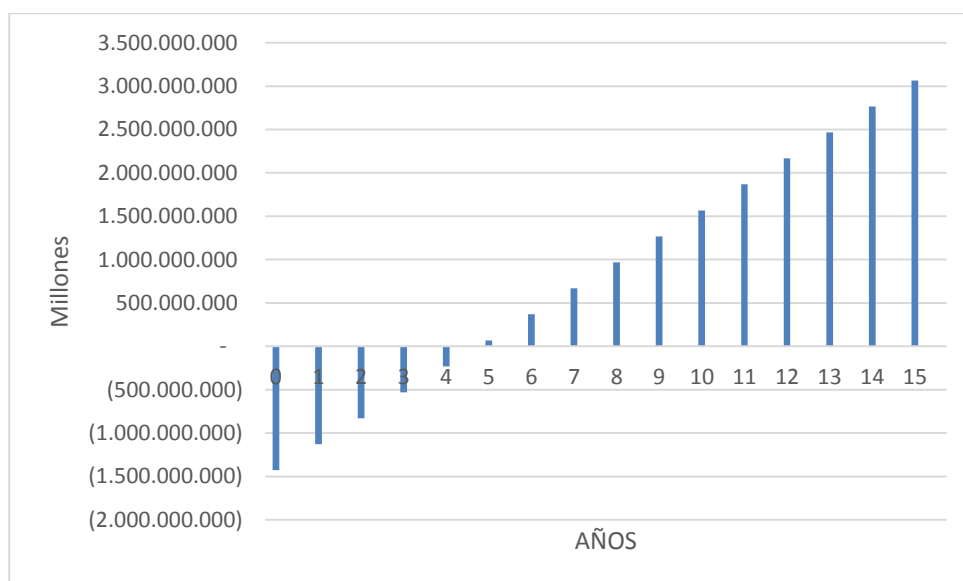
Figura 7.1: Gráfico de flujo de caja proyectada.

7.13.3.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

En base a lo obtenido en el flujo de caja proyectada se calcula la tasa interna de rendimiento, el cual se encuentra detallado en el Apéndice C.1. – Determinación del TIR, VPN y PRI, se tuvo obtenido una TIR de 15%.

7.13.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

Teniendo en cuenta también los valores del flujo de caja proyectada se calcula el valor presente neto, lo cual representa todos los gastos y ahorros que se transforman en dinero equivalente en el presente, con una tasa de inflación del 10% para un tiempo de 15 años se obtuvo el resultado de la siguiente tabla.



La figura anterior muestra que la inversión será recuperada aproximadamente a los 4 años con un VPN de: Gs. 2.041.431.153,06.

7.13.3.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

También desde el flujo de caja proyectada se calcula el periodo de recuperación de los invertido, el cual presenta el tiempo en que se recupera la inversión realizada en el año 0, el cual es necesario para que el flujo de caja acumulado del proyecto cubra el monto total de la inversión realizada, presentando el periodo a partir del cual se empieza a ganar dinero. El Payback se produce cuando el flujo de caja es igual a cero. Payback = Periodo en cual se logra VPN = 0.

Obteniéndose un PRI = 4 años, 8 meses, 4 días. Cuyos cálculos están detallados en el Apéndice C.1. – Determinación de TIR, VPN y PRI.

IV. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 8

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CIUDAD DE VILLARRICA

8.1. Reconocimiento de la instalación y ubicación

El sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica, es administrado por la Empresa: Compañía de Luz y Fuerza Sociedad Anónima (CLYFSA).

La Compañía de Luz y Fuerza S.A. - CLYFSA, fue creada en el año 1953 a iniciativa colectiva y popular. De las fuerzas económicas y sociales surgía la iniciativa de constituir una sociedad por acciones con capital guaireño, estableciéndose una Sociedad Anónima con aportes de toda la comunidad.

CLYFSA cuenta con una moderna Subestación 66 / 23 kV., con una capacidad nominal de potencia de 60 MVA la cual es monitoreada las 24 hs. por personal calificado. CLYFSA es la empresa distribuidora de energía eléctrica y alumbrado público dentro del municipio de la Ciudad de Villarrica a más de 15.000 usuarios.

El sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica, es administrado por la Empresa: Compañía de Luz y Fuerza Sociedad Anónima (CLYFSA).

Villarrica es una localidad y distrito ubicado en el centro sur de Paraguay, en la región Oriental; y capital del 4° departamento de Guairá. Es el distrito más poblado de su departamento y es una de las ciudades más importantes del país por su historia, actividad artística y académica.

8.2. Tipos de alumbrado públicos instalados actualmente en la ciudad

En toda la ciudad se utilizan actualmente tres tipos de alumbrado público de los cuales 1.720 equipos son de Vapor de sodio (VS) de 250W que equivalen al 56%, 1.200 equipos de Vapor de Mercurio (VM) de 250W que equivale al 39% y

125 equipos de Luz Mixta (LM) de 250W que equivalen al 4%. El sistema de alumbrado público se presenta en un sistema de información geográfica GIS, que se encuentra en el Apéndice B.1: Sistema de información geográfica de AP.

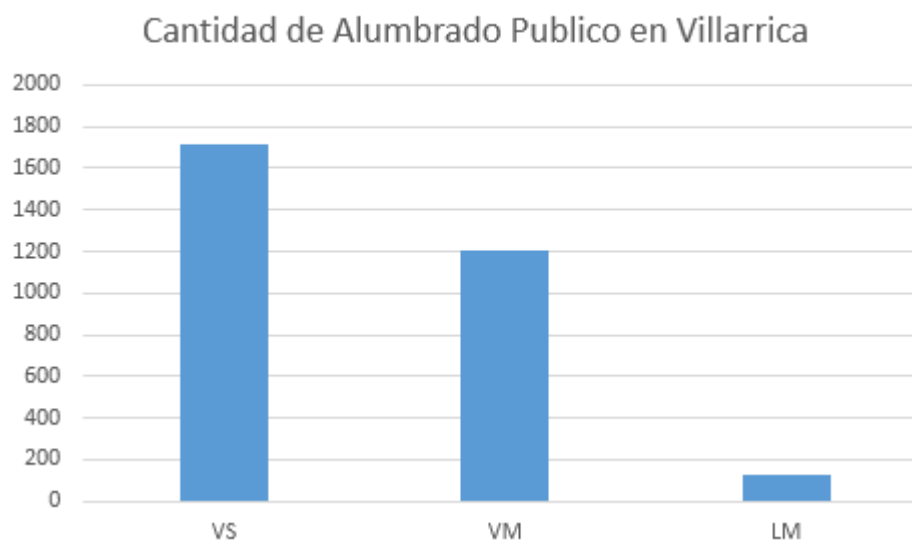


Figura 8.1. Cantidad de alumbrado público en Villarrica.

Los artefactos de alumbrado público son controlados para el encendido/apagado mediante fotocontroles o fotocelulas.

8.3. Objetivos del alumbrado público.

Los principales objetivos que se buscan cumplir al realizar una instalación de alumbrado público son:

- Brindar la iluminación necesaria para conseguir la máxima seguridad y comodidad de circulación, tanto vehicular como de peatones, procurando minimizar todo tipo de problemas visuales, principalmente el deslumbramiento y la polución lumínica.
- Contribuir al control de la delincuencia y el vandalismo.
- Estimular el desarrollo cívico, turístico y comercial.

8.4. Especificaciones técnicas de equipos de Alumbrados Actuales

En las principales arterias de la ciudad de Villarrica el tipo de artefacto más utilizado es la lámpara de vapor de sodio, se describe a continuación las especificaciones técnicas de este tipo de alumbrado.

8.4.1. Balasto Inductivo para una lámpara vapor de sodio alta presión – uso interno.

Son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara, estabilizando el circuito, de lo contrario, se daría un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

Potencia	250 W
Corriente de red	1,30 A
Factor de potencia	0.92
Capacitor para reactor BFP	30 μF
Perdidas	28 W
Distancia máxima entre reactor y lámpara	3 m
Tipo de ignitor	: IVSAP-4500

Tabla 8.1: Especificaciones técnicas de Balasto inductivo.

8.4.2. Lámpara de vapor de sodio de alta presión

Características

- Factor de supervivencia de la lámpara: 95 % tras un tiempo de funcionamiento de 16.000 h
- Vida útil media: hasta 32.000 h

- Factor de mantenimiento de la lámpara: = 80 % tras un tiempo de funcionamiento de 16.000 h (conforme a DIN 13201)
- Cumple ErP conforme a la directiva de la UE 245/2009
- Vida media de servicio: 4 años (aprox. 11h/día)
- Regulable con equipos de conexión convencionales y equipos de conexión electrónicos

Datos técnicos

Datos eléctricos	
Potencia	250 W
Corriente de lámpara	1,35 A
Tensión nominal	220 V
Tensión de encendido	3,3 kVp;5,0 kVp
Datos Fotométricos	
Eficacia lámpara	124 lm/w
Flujo luminoso	31600 lm
Índice de reproducción cromática Ra	≤ 25
Temperatura de color	2000 K
Factor mantenimiento lumen lámpara 2.000 h	0,98
Factor mantenimiento lumen lámpara 4.000 h	0,97
Factor mantenimiento lumen lámpara 6.000 h	0,96

Factor mantenimiento lumen lámpara 8.000 h	0,95
Factor mantenimiento lumen lámpara 12.000 h	0,94
Factor mantenimiento lumen lámpara 16.000 h	0,94
Factor mantenimiento lumen lámpara 20.000 h	0,94
Temperatura y condiciones de funcionamiento	
Temp máx permitida ampolla exterior	400 °C
Temp máx permitida borde del casquillo	250 °C
Datos adicionales	
Casquillo	E40
Contenido mercurio	21,0 mg
Clase de eficiencia energética	A+
Consumo de energía	281 kWh/1000h
Sistema intern. de codificación de lámp	SE-250-H/E/SL-E40-91/226

Tabla 8.2. Datos técnicos de lámpara VS.

Distribución de la luz (espectro)

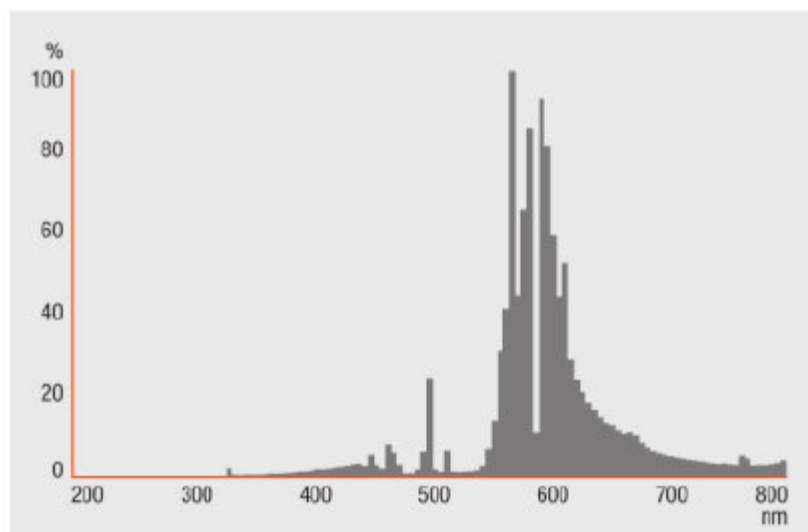


Figura 8.2. Distribución de Luz lámpara VS.

8.4.3. Luminaria

Tipo de luminaria: Alumbrado público cerrado.

Distribución de luz: Directa-Simétrica.

Reflector: Pantalla de aluminio

Materiales: Laterales de fundición de aluminio

Tratamiento superficial: pintura sintética líquida.

Dimensiones: 640x310x165

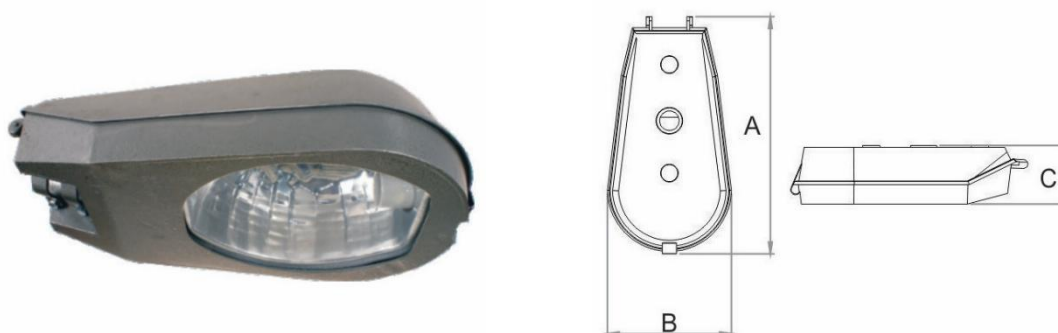


Figura 8.3. Luminaria para equipos de VS.

8.5. Altura del punto de luz

Se toma como muestra la altura de montaje de las luminarias de las principales arterias del centro de la ciudad donde la altura promedio es de 8 metros

La distancia promedio entre equipos dependiendo de cada disposición es de:

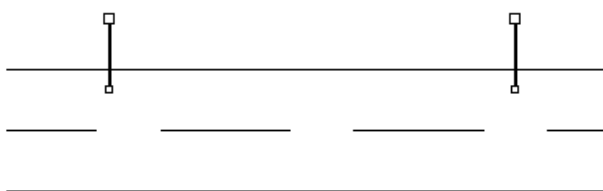
Disposiciones	Distancia (m)
Unilateral	26,40
Central doble	28,76
Central en 3 bolillo	35,93
Zigzag	36,38

Tabla 8.3. Distancia entre equipos.

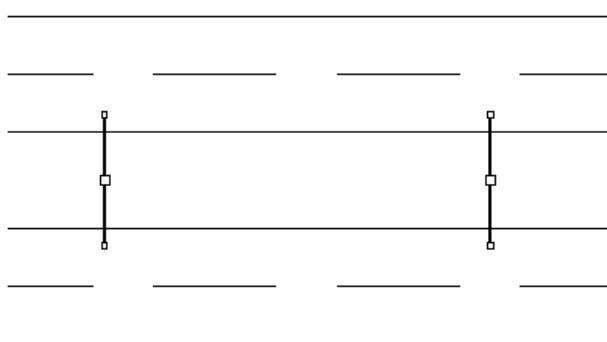
8.6. Disposiciones

Las disposiciones empleadas son: Unilaterales, central doble, central en 3 bolillo y zigzag lo cual se ve en las figuras 8.4.

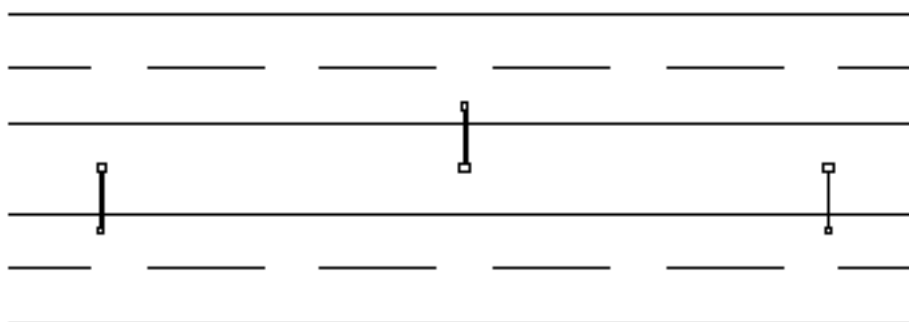
Unilaterales



Central doble



Central en 3 bolillo



Zigzag

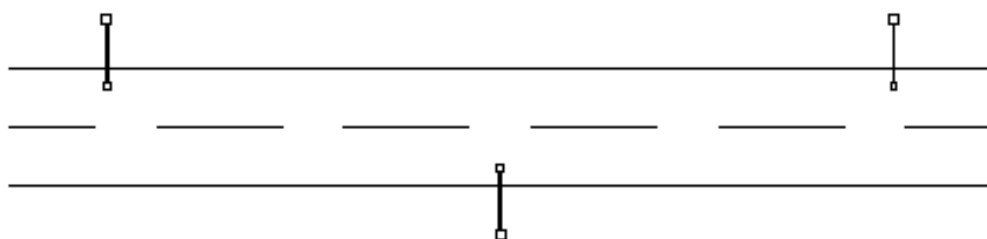


Figura 8.4. Disposición de los alumbrados.

8.7. Consumo de artefactos de iluminación según laboratorio.

AP VS de 250 W	
Potencia registrada del equipo	294 vatios
Inicio de prueba	
Fecha	23/12/16
Hora	09:25
Lectura de medidor	124,67 Kwh
Termino de prueba	
Fecha	23/12/16
Hora	16:25
Lectura de medidor	126,72 Kwh
Conclusión	
Consumo por hora	0,293 Kwh

Consumo por mes en 10 hs. de uso por día	87,86 Kwh
---	------------------

Tabla 8.4. Consumo de los alumbrados según laboratorio.

8.8. Tipos de calle

Bulevares: Un bulevar es un elemento urbano en forma de avenida ancha y arbolada, en muchas ocasiones son sitios propicios para el comercio, generalmente minorista. En los bulevares se emplean disposiciones de alumbrado central doble y central en zigzag.

Caminos principales (avenidas): Se conoce como avenida a una vía importante de comunicación dentro de una ciudad o asentamiento urbano. Generalmente una avenida tiene dos sentidos de circulación, lo que lo diferencia de la calle de sentido único. En los caminos principales se emplean disposiciones en zigzag y unilaterales.

Caminos secundarios (calles): Una calle es un espacio urbano lineal que permite la circulación de personas y, en su caso, vehículos, y que da acceso a los edificios y solares que se encuentran a ambos lados. En los caminos secundarios se emplean disposiciones unilaterales.

8.9. Mediciones de nivel de iluminación

se realizó en el sitio de estudio mediciones del nivel de iluminación en Lux, con un aparato de medición que es el luxómetro en distintos puntos dentro de casco urbano de la ciudad de Villarrica del Espíritu santo, en las arterias más transitadas. Dichas mediciones se realizaron a los equipos de alumbrado público del tipo vapor de sodio en las distintas disposiciones que se encuentran.

El procedimiento realizado consiste en tomar mediciones en 3 puntos en la calzada y tomando como plano de trabajo es el pavimento; luego, escogiendo un vano para realizar la correspondiente medición debajo de cada equipo y en la

mitad entre ambas. Se realiza un promedio teniendo un nivel de iluminación medio en Lux.

Los resultados según dispersiones se presentan en la siguiente tabla.

Disposiciones	Luxes
Unilateral	29,6
Central doble	57,2
Central en 3 bolillo	32,9
Zigzag	37,6

Tabla 6.5. Niveles de iluminación.

8.10. Informe de instalación de alumbrado público actual

La concesionaria CLYFSA compra energía de la ANDE en Alta Tensión mediante una subestación propia de la cual alimenta la mayor parte de la ciudad y en totalidad de la zona urbana céntrica de la ciudad de Villarrica.

Como ya se mencionó en total la concesionaria de energía CLYFSA tiene instalado 3.045 equipos de alumbrado público que son de vapor de sodio, vapor de mercurio y luz mixta.

La CLYSA se rige por el pliego de tarifas N°20 – mediante un recurso de amparo razón por la cual no se le aplica el pliego actual vigente N°21 y adopta el sistema de facturación a sus clientes regida por la Administración Nacional de Electricidad ANDE que es el pliego de tarifa Nro. 21 vigente a la fecha.

El pago de servicios de alumbrado público se hará conforme a lo establecido en el Artículo 119 de la Ley Nro. 966/64 y en el ítem 4.9 del presente Pliego de Tarifas u otros Decretos y/o Resoluciones reglamentarias, de conformidad con las tarifas mencionadas en el apartado correspondiente.

En el apéndice B.2: Equipos utilizados actualmente. Se presentan imágenes actuales de los mismos.

CATEGORÍA: 90		
Instalación de entrega	:Lámparas del sistema de alumbrado publico	
CATEGORÍA 90-1		
Concepto	Tarifa	Unidad
Hasta 10 Vatios/metro	427,14	G/m
CATEGORÍA 90-2		
Concepto	Tarifa	Unidad
Mayor a 10 Vatios/metro	482,88	G/m

Tabla 8.6. Pliego de tarifa para alumbrado público.

8.10.1. Consumo de energía por mes y año

Según datos proveídos por la concesionaria se estima que un alumbrado está en funcionamiento por 10 horas cada día. Según registros del año 2016 estos equipos tienen un consumo de:

	Consumo
Mes	290.000 Kwh/mes
Año	3.480.000 kwh/año

Tabla 8.7. Consumo anual y mensual de energía.

CAPITULO 9

Normas del alumbrado publico

9.1. Normas de referencia

Para efecto de este Proyecto se consideran las siguientes normas y/o documentos técnicos a modo de referencia según los aspectos a tratar:

- CIE 115 - 1995 “Recomendaciones para el Alumbrado de Calzadas de Tráfico Motorizado y Peatonal” para representar los requerimientos de los usuarios
- CIE 140 - 2000 “Road Lighting Calculations” definiendo los métodos de cálculo de los parámetros de iluminación

9.2. Clase de Alumbrado y Clasificación de las Vías para Tráfico Motorizado

Las especificaciones sobre Clase de Alumbrado están clasificadas de M1 a M5, y son seleccionadas conforme a: la función de la vía pública, densidad de tráfico, complejidad del tráfico, separación del tráfico y la existencia de facilidades para el control de éste, tales como señales de tráfico.

La tipificación está dada en la tabla que sigue:

CLASES DE ALUMBRADO PARA DIFERENTES TIPOS DE VIAS PÚBLICAS

(CIE-115 1995 art. 5.2)

DESCRIPCION DE VIAS PUBLICAS	CLASE DE ALUMBRADO
1- Carreteras de Alta Velocidad con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías.	

Densidad del tráfico y complejidad del trazado de la calzada (1):	
Alta (más de 1200 vehículos/hora)	M1
Media (entre 500 y 1200 vehículos/hora)	M2
Baja (entre 150 y menos de 500 vehículos/hora)	M3
2- Carreteras de Alta Velocidad, calzada con doble sentido de circulación.	
Control de tráfico (2) y separación (3) de diferente tipo de usuario de carretera (4):	
Pobre	M1
Bueno	M2
3- Vías Urbanas de tráfico importante, carreteras radiales y de distribución a distritos.	
Control de tráfico y separación de diferentes tipos de usuario:	
Pobre	M2
Bueno	M3
4- Carreteras secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras.	
Control de tráfico y separación de diferentes tipos de usuario:	
Pobre	M4
Bueno	M5

Tabla 9.1: Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas.

(1) La complejidad del trazado de carreteras se refiere a la infraestructura, movimiento del tráfico y alrededores visuales. Factores que deben

considerarse son: Número de carriles, pendientes; señales e indicadores; rampas de entrada y salida, vías de incorporación, rotondas, etc.

- (2) Control del tráfico se refiere a la presencia de indicadores y señales y a la existencia de regulaciones.

Los métodos de control son: Semáforos, reglas prioritarias, regulación y señales prioritarias, señales de tráfico, señales de dirección y marcas en la calzada. Cuando están ausentes o no hay control de tráfico es considerado como pobre y viceversa.

- (3) La separación puede ser por medio de líneas trazadas para tal fin o por la restricción de uno de los tipos de tráfico. Puede considerarse el menor grado de iluminación como adecuado cuando exista separación.

- (4) Los diferentes tipos de usuarios de carreteras son, por ejemplo, vehículos de turismo, camiones, vehículos lentos, autobuses, automóviles, bicicletas y peatones.

9.3. De los Niveles de Luminancia en las Vías de Tráfico Motorizado

El criterio para determinar las condiciones de iluminación para las vías públicas será el basado en la técnica de Luminancia. Este fundamenta sus valores en la experiencia de campo de muchos años en los que se ha demostrado en numerosos países que proporciona una base satisfactoria para el diseño del alumbrado de calles y carreteras y puede ser considerado como de buena práctica.

La Tabla siguiente contiene los valores de Luminancia, así como los de Uniformidades, Control de Deslumbramiento y Razón de Entorno exigidas.

LUMINANCIAS DE CALZADA PARA TRAFICO MOTORIZADO

Clase de Alumbrado	Campo de Aplicación					
	Todas las Calzadas				Calzadas sin o con pocas intersecciones	Calzadas con aceras no iluminadas para clases P1 a P4
	L (cd/m ²)		U ₀	TI%	U _I	Razón de Entorno SR
	Máxima	Mínima	Mínima	Máximo inicial	Mínima	Mínima
M1	2,0	1,1	0,4	10	0,7	0,5
M2	1,5	1,0	0,4	10	0,7	0,5
M3	1,0	0,7	0,4	10	0,7	0,5
M4	0,75	0,5	0,4	10	NR	NR
M5	0,6	0,5	0,4	10	NR	NR

Tabla 9.2: Luminancias de calzada para tráfico motorizado.

- 1) L = Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la $\frac{cd}{m^2}$
- 2) U₀ = Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía.

- 3) U_l = Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación.
- 4) $TI\%$ = El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. La pérdida de visión (TI) es expresado en tanto por ciento.
- 5) SR = Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratarse conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m.

En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la relación SR no es necesaria.

CAPITULO 10

Alternativas tecnológicas de alumbrado publico

10.1. Consideraciones generales

Dentro de mercado de la región como también a nivel nacional se encuentran disponibles varios tipos de alumbrados públicos con características diferentes, pero apuntando una alternativa tecnológica con una inserción relevante en el mercado de la iluminación que es a la tecnología LED, en lo que es la iluminación interior como exterior.

Nos centramos en esa tecnología por que actualmente la concesionara CLYFSA, tiene una tendencia de adoptar esta alternativa. La empresa recibió equipos de ésta tecnología por parte las empresas de ventas de artefactos eléctricos con el fin de hacer conocer sus productos a la empresa sugiriendo someterlos a pruebas. Estos equipos están siendo instalados en cuadras determinadas dentro de ciudad a modo de prueba de operación. La empresa aún no ha realizado ninguna selección de cual fabricante sería una alternativa para una posible adopción y este proyecto se centra en eso, en proponer a la empresa cual es la alternativa más eficiente para el posterior reemplazo de los equipos existentes según criterios técnicos y económicos. Cabe acotar que en el mercado existen otras alternativas Tipo LED muy eficientes, pero el presente trabajo está delimitado a tomar como alternativas de estudio los equipo sometidos a prueba por la concesionaria.

En el apéndice B.3: Alternativas de alumbrado en prueba. Se presentan los equipos instalados en prueba con la cual se centra este proyecto.

10.2. Clasificación de Alumbrados públicos Según tipos

Se analizan 3 alternativas de la tecnología LED, estos equipos están disponibles en el mercado y fueron ya instaladas a modo de prueba por la concesionaria.

En el proyecto a modo de estudio le daremos un nombre a cada alternativa resguardando el nombre del fabricante del equipo los cuales serán:

- LED tipo 1
- LED tipo 2
- LED tipo 3

10.3. Realización de ensayos

Una vez proveídos los equipos, el primer procedimiento es la de someterlas a pruebas de laboratorio en el cual se realiza las siguientes mediciones a los equipos Tipo LED recibidas para tener un registro:

- Potencia registrada del equipo
- Consumo
- Nivel de iluminación (Luz)
- Factor de Potencia
- Disipación térmica de radiadores (termografía)

A continuación, se exponen los datos obtenidos tras la realización de las pruebas a las alternativas conocidas en estudio.

LED tipo 1	
Potencia registrada del equipo	138 vatios
Inicio de prueba	
Fecha	25/01/17
Hora	08:00

Lectura de medidor	132,43 Kwh
Termino de prueba	
Fecha	25/01/17
Hora	17:00
Lectura de medidor	133,67 Kwh
Resultados	
Consumo registrado	1,24 Kwh
Tiempo de prueba	09:00 horas
Conclusión	
Consumo por hora	0,138 Kwh
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día	41,33 Kwh

Tabla 10.1: Resultado de ensayo LED Tipo 1.

LED tipo 2	
Potencia registrada del equipo	222 vatios
Inicio de prueba	
Fecha	19/07/18
Hora	07:00

Lectura de medidor	140,809 Kwh
Termino de prueba	
Fecha	19/07/18
Hora	17:00
Lectura de medidor	142,777 Kwh
Resultados	
Consumo registrado	1,968 Kwh
Tiempo de prueba	10:00 horas
Conclusión	
Consumo por hora	0,197 Kwh
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día	59,04 Kwh

Tabla 10.2: Resultado de ensayo LED Tipo 2.

LED tipo 3	
Potencia registrada del equipo	207 vatios
Inicio de prueba	
Fecha	10/05/17
Hora	10:16

Lectura de medidor	134,29 Kwh
Termino de prueba	
Fecha	10/05/17
Hora	16:16
Lectura de medidor	135,53 Kwh
Resultados	
Consumo registrado	1,24 Kwh
Tiempo de prueba	09:00 horas
Conclusión	
Consumo por hora	0,207 Kwh
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día	62,00 Kwh

Tabla 10.3: Resultado de ensayo LED Tipo 3.

CAPITULO 11

Definición de criterios técnicos y económicos

11.1. Criterios técnicos

11.1.1. Consideraciones generales

Cada una de las características serán analizadas entre cada lámpara LED, esto son las que están disponibles en el mercado y consecuentemente consideradas como una alternativa tecnológica con mucha eficiencia dentro del alumbrado de vías públicas.

Los criterios técnicos que se tendrá en cuenta serán en base a las características técnicas de cada alternativa, que se obtendrá de los catálogos de cada fabricante y se realizará una comparación entre ellas en cada criterio.

11.1.2. Características eléctricas

Cada equipo funciona a la misma tensión que es 220V monofásica utilizada en la red de distribución y la frecuencia comercial 50 Hz, estos dos parámetros no son incluidos en la comparación por ser única para todas las alternativas.

Se presenta a continuación parámetros variables en cada alternativa.

11.1.2.1. Potencia

Tipo	Potencia (watts)
LED tipo 1	140
LED tipo 2	220
LED tipo 3	200

Tabla 11.1: Potencia de alternativas.

11.1.2.2. Factor de potencia

Es la relación de la potencia activa P , respecto a la potencia aparente S , y nos da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

Tipo	FDP
LED tipo 1	0.96
LED tipo 2	0.97
LED tipo 3	0.95

Tabla 11.2: FDP de alternativas.

11.1.2.3. Eficacia

Tipo	Eficacia (lm/w)
LED tipo 1	82
LED tipo 2	90
LED tipo 3	110

Tabla 11.3: Eficacia de alternativas.

Cabe indicar que en el caso de las luminarias de tipo LED la eficacia sigue aumentando con el avance de la tecnología.

11.1.2.4. Consumo

Éste es uno de los puntos más importantes de la iluminación mediante LED's, ya que el flujo luminoso conseguido por vatio consumido es superior a los sistemas actuales lo que implica un menor consumo de energía y por ende un ahorro significativo de dinero.

	Consumo por mes en 10 hs. de uso por día (Kwh)
LED Tipo 1	41.33
LED Tipo 2	43.87
LED Tipo 3	62.00

Tabla 11.4: Consumo eléctrico de alternativas.

11.1.2.5. Distorsión Armónica

Distorsión indica la cantidad de armónicos de corriente que está fluyendo en las líneas de energía. Los armónicos son corrientes no deseadas en múltiplos de 5 de la frecuencia de la línea fundamental (por ejemplo, 50 ó 60 Hz). Las corrientes armónicas pueden crear tensiones adicionales y pérdidas de potencia.

Tipo	THD (%)
LED tipo 1	<5
LED tipo 2	<5
LED tipo 3	<5

Tabla 11.5: Porcentaje de distorsión armónica de alternativas.

11.1.3. Características lumínicas

11.1.3.1. Flujo Luminoso

Tipo	Flujo luminoso (lumen)
LED tipo 1	17.063
LED tipo 2	26.400
LED tipo 3	22.000

Tabla 11.6: Flujo luminoso de alternativas.

11.1.2.3. Temperatura del color

Tipo	Temperatura del color (°K)
LED tipo 1	5000
LED tipo 2	4000
LED tipo 3	6.000 - 6.500

Tabla 11.7: Temperatura de color de alternativas.

11.1.2.3. Índice de rendimiento de color

Un valor de CRI > 60% permite que la visión del ojo humano se adapte mejor a la luz de este tipo de luminarias.

Tipo	Índice de rendimiento de color (CRI)
LED tipo 1	75
LED tipo 2	75
LED tipo 3	70

Tabla 11.8: CRI de alternativas.

11.1.3. TABLA COMPARATIVA

	LED Tipo 1	LED Tipo 2	LED Tipo 3
Potencia (W)	140	220	200
FDP	0.96	0.96	0.95
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día (Kwh)	41.33	59.04	62.00
Temp. de color (K)	5000	4000	6.000-6.500
CRI	70	70	70
Eficiencia (lm/W)	82	120	110
Distorsión armónica	<5	<5	<5
Flujo luminoso (lumen)	17.063	26.400	22.000

Tabla 11.9: Tabla comparativa técnica de alternativas.

11.2. Criterios económicos

11.2.1. Costo

Corresponde la adquisición de nuevos equipos para el reemplazo de los equipos existentes en determinadas zonas

	Consto de 100 unidades de equipos (Gs)
LED tipo 1	315.265.500
LED tipo 2	209.000.000
LED tipo 3	172.043.000

Tabla 11.10: Costo de alternativas.

11.2.2. Vida Útil

Tipo	Vida útil (horas)
LED tipo 1	65.000
LED tipo 2	100.000
LED tipo 3	50.000

Tabla 11.11: Vida útil de alternativas.

11.2.3. Depreciación por año

Es el descenso de flujo luminoso emitido por una lámpara a lo largo de su vida. Se expresa en % del flujo inicial o en horas/flujo.

	Depreciación por año (Gs/año)
LED tipo 1	346.792
LED tipo 2	229.900
LED tipo 3	182.247

Tabla 11.12: Depreciación por año de alternativas.

11.2.4. Costo de instalación

En este proyecto el costo de instalación consiste en la renovación total o parcial de una red de alumbrado existente con cambios que signifiquen mejoras pequeñas en la capacidad y calidad de servicio la cual tendrá el siguiente costo.

- Retiro de alumbrado existente = 60% de costo de instalación nueva
- Instalación nueva = 0,5 hhp (hora hombre patrón)
- Horas hombre patrón = 250.000 Gs.

Costo de instalación= Retiro de alumbrado existente + Instalación nueva

	Consto de instalación (Gs)
LED tipo 1	200.000
LED tipo 2	200.000
LED tipo 3	200.000

Tabla 11.13: Costo de instalación de alternativas.

11.2.5. Mantenimiento

Los alumbrados públicos reciben durante su vida útil la influencia de las condiciones de operación y del entorno en el cual está operando, esta influencia afecta las condiciones iniciales de su funcionamiento y las características físicas o químicas existentes inicialmente, disminuyendo su vida útil, por lo que es importante llevar a cabo inspecciones y mantenimiento a todos los elementos de la instalación.

Durante el tiempo de operación, la lámpara de sodio de alta presión aumenta su tensión de arco y disminuye su corriente de operación sobre el valor inicial, hasta que alcanza valores no aptos de operación, para los cuales la lámpara deja de ser estable produciéndose apagados intempestivos, en estos casos la lámpara se considera agotada y se recomienda su reemplazo.

Las bombillas de descarga de alta intensidad, como la bombilla de vapor de sodio alta presión, deben cambiarse cuando la emisión del flujo luminoso haya descendido al setenta por ciento (70%) de su valor inicial.

En cuanto a las lámparas LED es conocida la poca o ninguna necesidad de mantenimiento.

En nuestro caso enfocándonos a la tecnología LED el mantenimiento va por la parte de reemplazo de fuentes en cado de fallas y reemplazo de módulos LED que son poco comunes. En situaciones de problemas más graves tendería al

reemplazo total de equipo por otro nuevo por la cual se tendrá en cuenta ese parámetro en tabla y calculado de la siguiente manera:

- Retiro de alumbrado en falla = 60% de costo de instalación nueva
- Instalación nueva = 0,5 hhp (hora hombre patrón)
- Horas hombre patrón = 250.000 Gs.
- Costo del equipo nuevo.

Costo de mantenimiento = Retiro de alumbrado en falla + Instalación nueva + Costo del equipo nuevo.

	Consto de mantenimiento (Gs)
LED tipo 1	3.667.920
LED tipo 2	2.499.000
LED tipo 3	2.092.473

Tabla 11.14: Costo de mantenimiento de alternativas.

11.2.6. Tabla Comparativa

	LED Tipo 1	LED Tipo 2	LED Tipo 3
Costo (Gs)	315.265.500	209.000.000	172.043.000
Vida Útil (Hs)	65.000	100.000	50.000
Depreciación por año	346.792	229.900	182.247
Costo de Instalación (Gs)	200.000	200.000	200.000
Mantenimiento (Gs)	3.667.920	2.499.000	2.092.473

Tabla 11.15: Tabla comparativa económica de alternativas.

CAPITULO 12

Evaluación y selección de alternativa

11.1. Consideraciones generales

Para la evaluación y selección de la mejor alternativa de alumbrado público se utilizará un método de selección de alternativas en base a criterios llamado Proceso Analítico Jerárquico, más conocido por sus siglas en inglés “AHP” (Analytic Hierarchy Process). Para la aplicación de este método se utilizará un software libre de nombre “Super Decisions”.

Los criterios a tener en cuenta serán los criterios técnicos y económicos definidos en el capítulo anterior con la cual el método nos dará como resultado la mejor alternativa técnico económica de alumbrado público para la ciudad de Villarrica.

Se considera no tomar más como criterio de evaluación características técnicas y económicas del tipo de alumbrado actualmente utilizado que es el de VS, llegando a un consenso con CLYFSA¹ de buscar el reemplazo de este tipo de equipo de alumbrado de cualquier manera, por lo que ellos consideran el equipo LED ser de tendencia mundial con las características relevantes que son de menor consumo y mayor vida útil.

11.2. Objetivo

El objetivo es evaluar y seleccionar la mejor alternativa donde tendremos los criterios y las alternativas organizadas de la siguiente manera en un sistema de red por niveles.

¹ Departamento de operaciones técnicas CLYFSA.

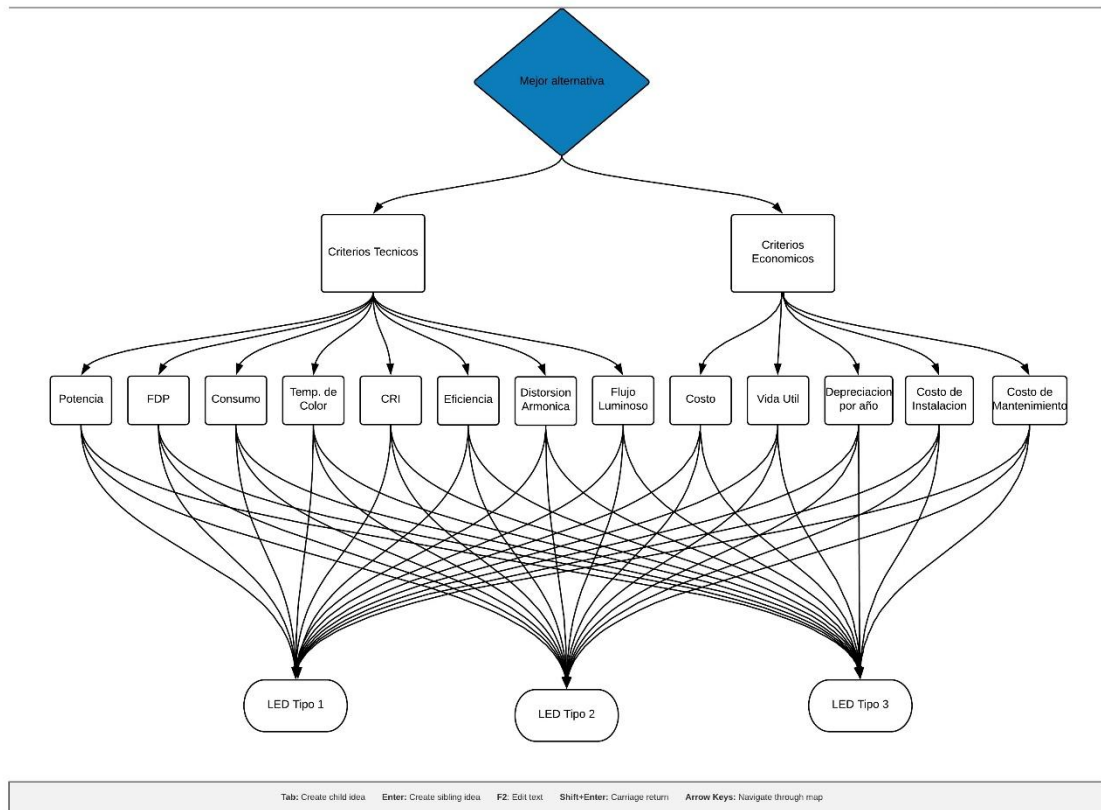


Figura 12.1: Esquema de red por niveles para selección de alternativa.

Dentro de software queda estructurada de la siguiente manera por en red por niveles.

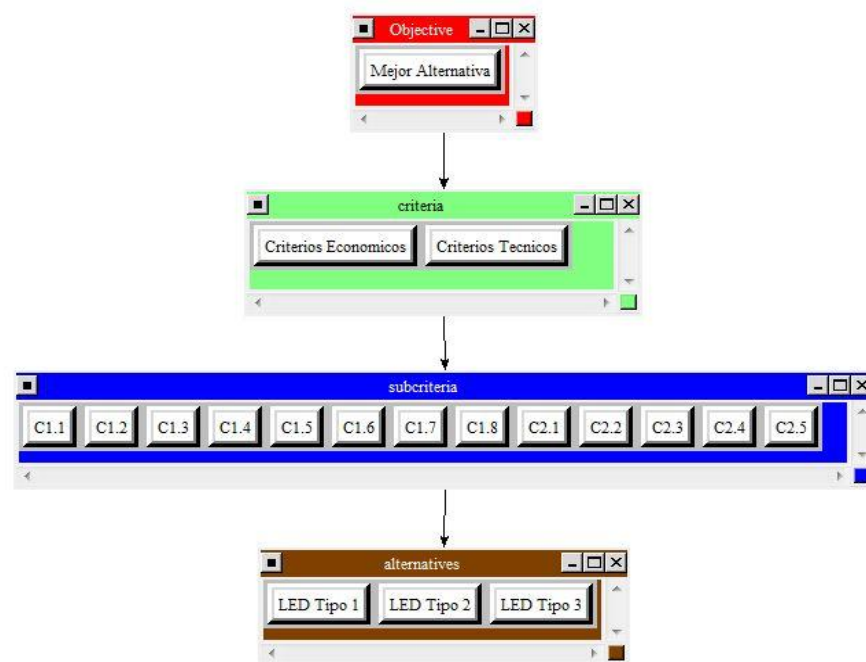


Figura 12.2: Esquema de red por niveles para selección de alternativa dentro del software.

11.3. Ponderación de Criterios

Se le da una ponderación de 0.6 a los criterios técnicos y 0.4 a los criterios económicos en el segundo nivel de la figura 12.2, luego se le da una ponderación a cada criterio técnico y económico en el tercer nivel de la figura 12.2. Luego de realizar dicha ponderación queda de la siguiente manera.

11.3.1. Ponderación de Criterios Técnicos

Descripcion			
Potencia	C1.1		0.05546
FDP	C1.2		0.05696
Consumo	C1.3		0.10359
Temp. de color	C1.4		0.05696
CRI	C1.5		0.27915
Eficiencia	C1.6		0.23056
D. Armonica	C1.7		0.12426
F. Luminoso	C1.8		0.09305

Figura 12.3: Ponderación de criterios técnicos.

11.3.2. Ponderación de Criterios Económicos

Descripción			
Costo	C2.1		0.15449
Vida útil	C2.2		0.55295
Depreciación	C2.3		0.10828
C. Instalación	C2.4		0.10214
C. Mantenimiento	C2.5		0.08214

Figura 12.4: Ponderación de criterios económicos.

11.4. Resultado

Tras sintetizar el sistema analítico tenemos como resultado la siguiente puntuación que da mayor peso a la alternativa LED Tipo 2, la cual será la mejor alternativa técnico económico para este proyecto.

11.4.1. Puntuación Técnico – Económico

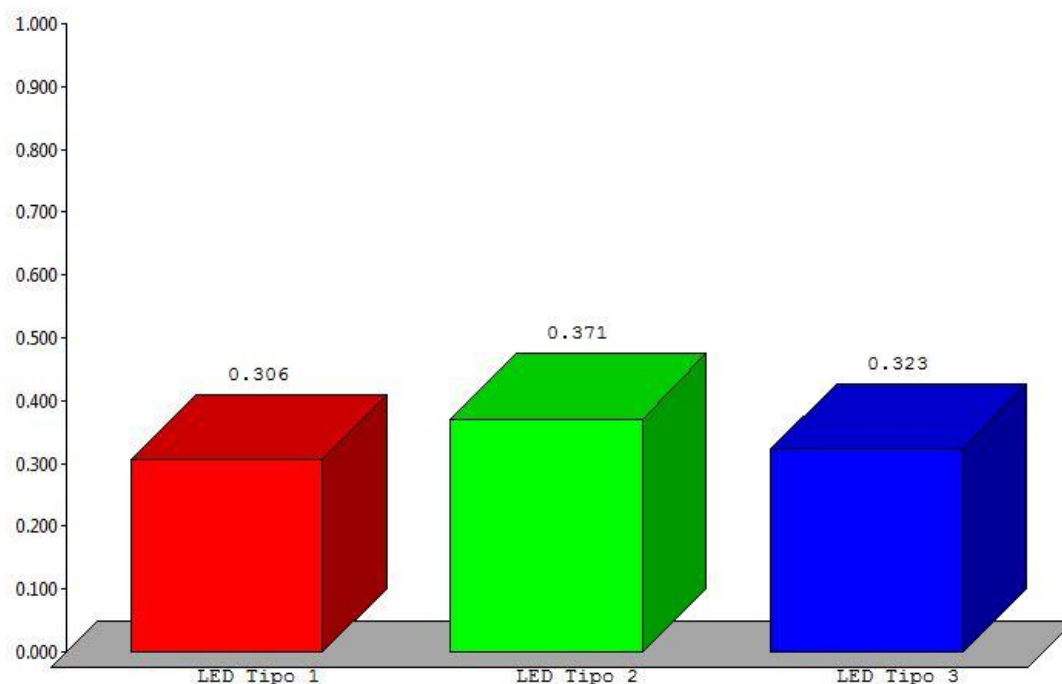


Figura 12.5: Puntuación técnico económico.

11.4.2. Puntuación Técnica

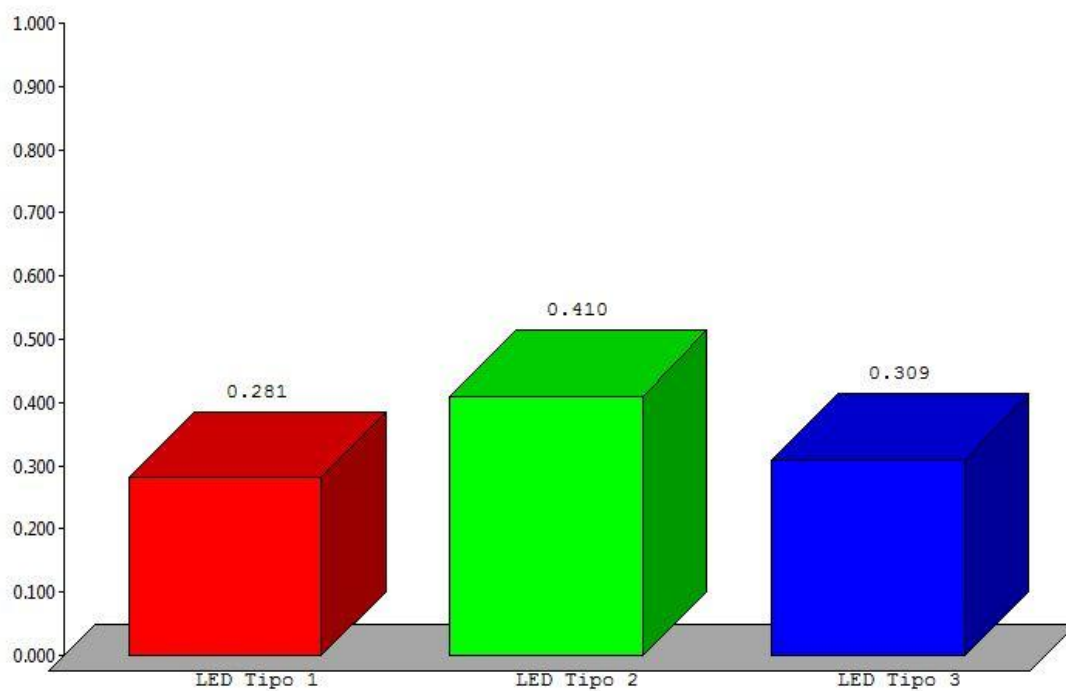


Figura 12.6: Puntuación técnica.

11.4.3. Puntuación Económica

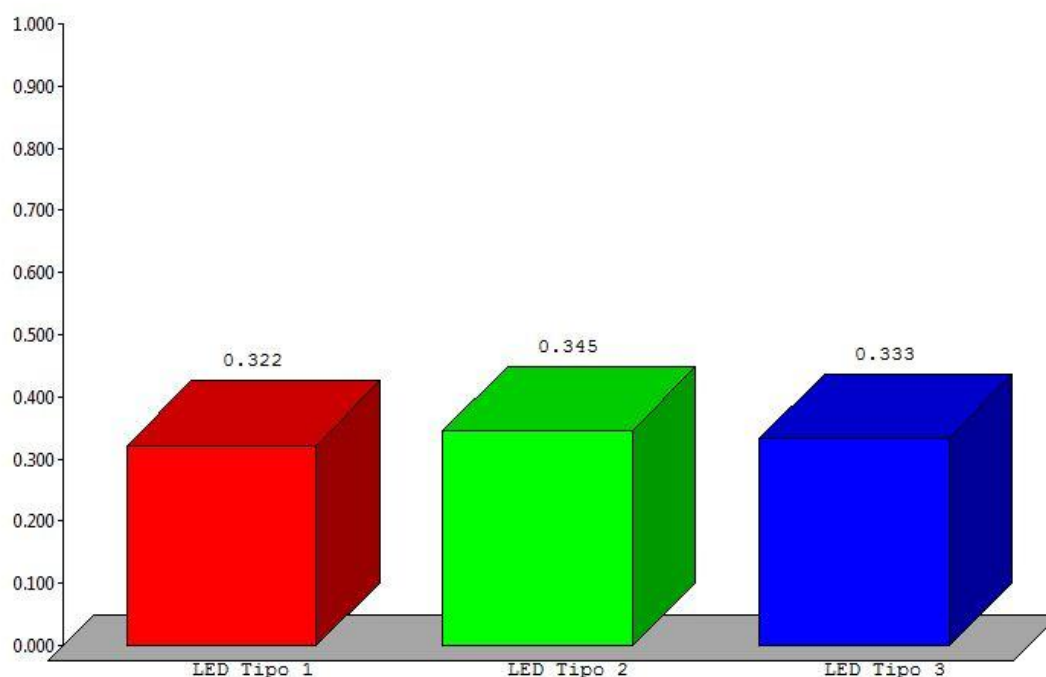


Figura 12.7: Puntuación económica.

11.5. Especificaciones técnicas de la mejor alternativa

En el siguiente cuadro se describe las especificaciones técnicas de la mejor alternativa tecnología en equipo de alumbrado público que es la alternativa LED Tipo 2.

LED Tipo 2	
Potencia (W)	220
FDP	0.96
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día (Kwh)	59.94
Temp. de color (K)	4000

CRI	70
Eficiencia (lm/W)	120
Distorsión armónica	<5
Flujo luminoso (lumen)	26.400

Tabla 12.1: Especificaciones técnicas de la mejor alternativa.

11.6. Ventajas sobre el equipo de alumbrado Vapor de sodio (VS)

Se realiza la siguiente comparación para describir las ventajas sobre el equipo de alumbrado público más utilizado en las instalaciones existentes de alumbrado público.

Especificaciones técnicas	LED Tipo 2	VS
Potencia (W)	220	240
FDP	0.96	0.40
Consumo por mes en 10 hs. de uso por día (Kwh)	59.04	87.86
Temp. de color (K)	4000	2500
CRI	70	50
Eficiencia (lm/W)	120	80
Distorsión armónica	<5	<10
Flujo luminoso (lumen)	26.400	28.0000

Tabla 12.2: Ventajas sobre el equipo de alumbrado VP.

Conclusiones

- LED Tipo 2 es de menor potencia que el VS, pero con mayor eficiencia.
- LED Tipo 2 tiene un mayor factor de potencia por tanto tiene una importante reducción de pérdidas en potencia reactiva.
- LED Tipo 2 tiene un consumo 32.8% menor que el VS.
- LED Tipo 2 tiene una apariencia de color fría por tanto más agradable que una apariencia de color cálida del VS.
- LED Tipo 2 tiene un índice de reproducción de color mayor que el VS, por tanto, permite tener una mejor descripción visual del objeto iluminado.
- LED Tipo 2 posee menor flujo luminoso que el VS, pero en relación a la potencia del equipo, la LED tipo dos con menor potencia tendría un mayor flujo luminoso que una lámpara de VS de la misma potencia.

11.7. Consumo energético

En la siguiente tabla se describe el consumo energético por cada equipo

Consumo	LED Tipo 2 (KWh)	VS (KWh)
Día (10 horas de trabajo por día)	59,04	87.86
MES	1771,2	2635,8
AÑO	21459,6	32068,9

Tabla 12.3: Consumo energético de la mejor alternativa.

CAPITULO 13

Proyecto de reposición

13.1. Consideraciones generales

El proyecto de reemplazo, reposición y/o adecuación de la distribución de alumbrados públicos se realizará de la siguiente manera:

- 1- Delimitar calles y/o arterias en las cuales será diseñado el proyecto
- 2- Realizar un diseño de iluminación con la luminaria seleccionada para cada tipo de disposición de alumbrado publico
- 3- Realizar una memoria descriptiva de cantidad de alumbrados a ser reemplazadas y en el caso que hubiere la necesidad de reubicar, agregar más alumbrados en la distribución se realizara el estudio pertinente dando como sugerencia el diseño ideal.
- 4- Se tendrá una tolerancia al momento de aplicar la sugerencia del diseño ideal por lo que los postes de AP no son exclusivos de iluminación, son postes de distribución empleados al mismo tiempo como postes de AP. La tolerancia seria colocar los equipos nuevos en postes ubicados entre vanos a AP si existieran a una distancia considerable no muy cercana y/o en postes ubicados entre vanos de AP, pero del otro lado de la cansada.

13.2. Delimitación de calles y/o arterias de la Cuidad de Villarrica.

Las calles en la cual será proyectado este proyecto final de grado fueron seleccionadas acorde a la importancia que tiene cada arteria dentro del casco urbano, comenzando con los bulevares en los alrededores, accesos principales, rutas principales y los caminos secundarios dentro del casco urbano.

A continuación, en la imagen se expone en el mapa las calles seleccionadas:

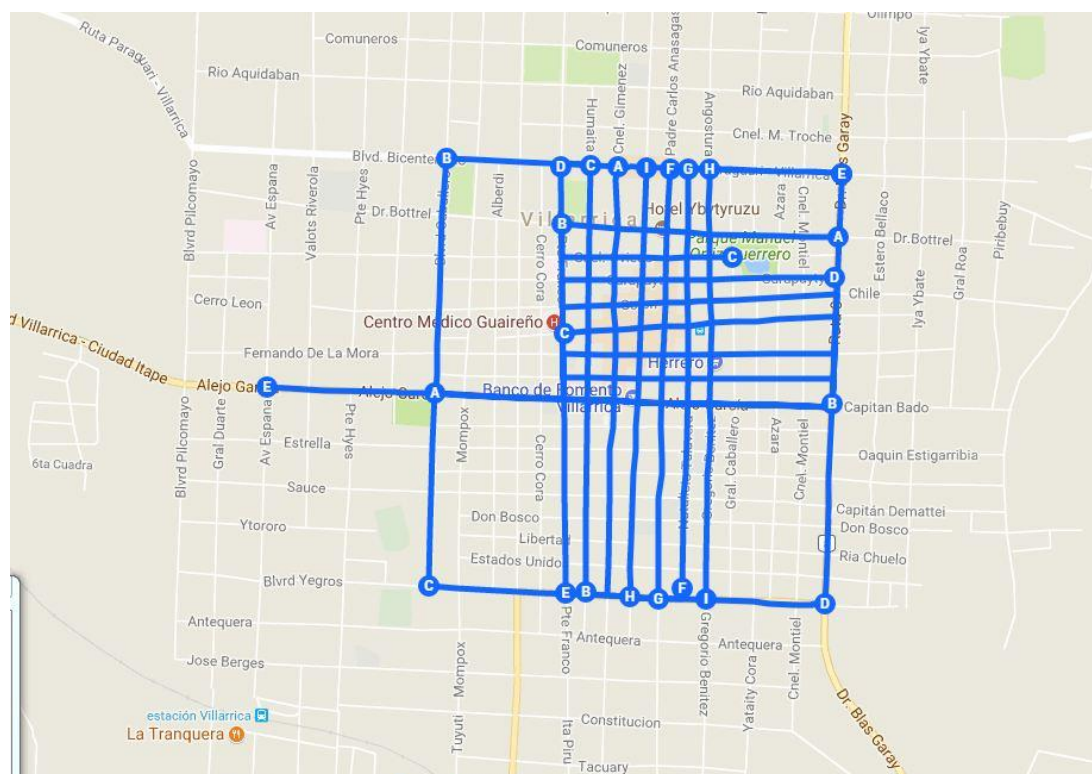


Figura 13.1: Delimitación de tramos.

Serian en total 19 tramos que se citan a continuación teniendo como referencia el nombre de las calles.

- Tramo 1: Bulevar Bicentenario, desde Ruta 8 hasta Bulevar Caballero.
- Tramo 2: DR. BOTTREL, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.
- Tramo 3: Coronel Oviedo, desde General Caballero hasta Presidente Franco.
- Tramo 4: Curupa'yty, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.
- Tramo 5: Colon, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.
- Tramo 6: Ruiz Díaz de Melgarejo, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.
- Tramo 7: Mariscal Francisco Solano López, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

- Tramo 8: Mariscal Estigarribia desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.
- Tramo 9: Alejo García, desde Ruta 8 hasta Avenida España.
- Tramo 10: Bulevar Yegros, desde Ruta 8 hasta Bulevar Caballero.
- Tramo 11: Bulevar Caballero, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 12: Presidente Franco, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 13: Humaita, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 14: Coronel Félix Bogado, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 15: Gral. José E. Díaz desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 16: Carlos Antonio López, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 17: Natalicio Talavera, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 18: Gregorio Benítez, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.
- Tramo 19: Ruta 8 Dr. Blas Garay, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

13.3. Diseño según disposición

La mejor alternativa tras el resultado de la toma de decisión es el LED Tipo 2 y con las características fotométricas de mismo será realizado un diseño para cada tipo de disposición usando como herramienta un software para diseño de iluminación interior como exterior del nombre DIALux, que es un software libre.

Sera un diseño ideal totalmente correcto según normas, aplicable a cada tramo según su disposición. Dicho diseño tendrá un mínimo y un máximo de distancia entre postes la cual determinará si en cierto tramo se necesitaría agregar más equipos de los ya existentes, que dicho previamente serán reemplazados por la alternativa seleccionada.

La técnica aplicada para el diseño será teniendo en cuenta criterios de método de la Luminancia (L). y la norma CIE-115 1995 art. 5.2.

13.3.1. Unilaterales

Se realiza el diseño tomando datos reales de la calzada, porte y brazo de montaje, a continuación, se presentan los datos y resultados obtenidos.

- **Datos de disposición.**

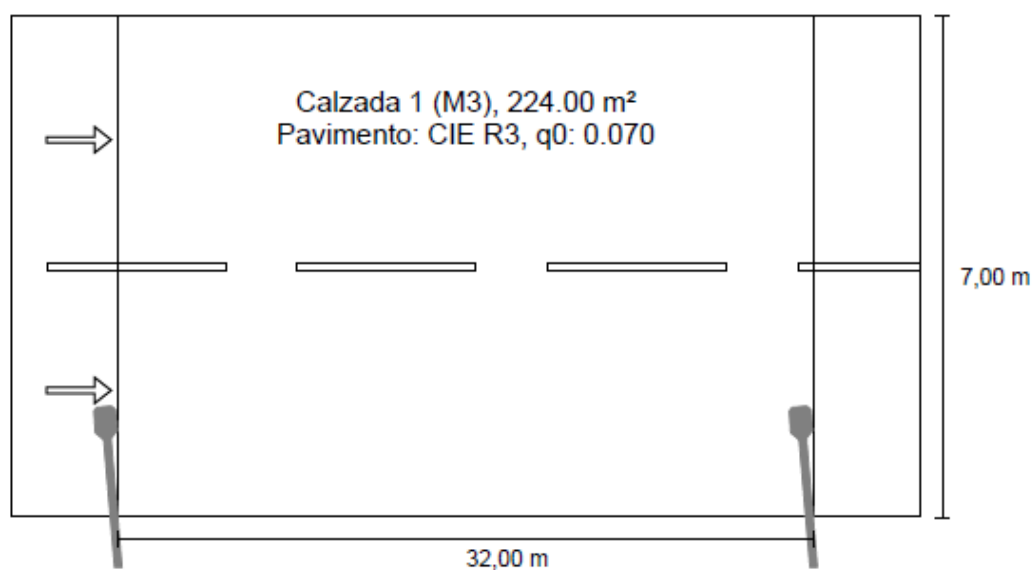


Figura 13.2: Unilateral calzada 1.

Disposición de las luminarias

Tipo de disposición 

Distancia entre mástiles Optimizar

Altura del punto de luz

Inclinación del brazo

Saliente del punto de luz

Rotación de mástil

Luminarias por mástil

Distancia mástil-calzada

Longitud del brazo

Desplazamiento longitudinal

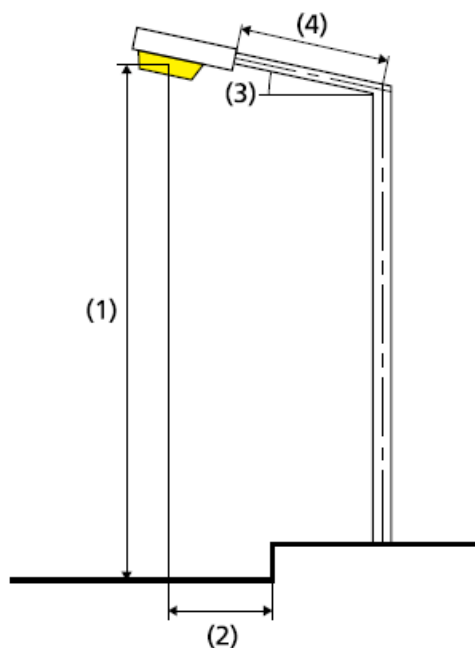


Figura 13.3: Datos de disposición de las luminarias.

- **Resultados aplicando la norma CIE-115 1995**

Calzada 1 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.64	✓ 0.66	✓ 0.70	✓ 9	✓ 0.53

Tabla 13.1: Resultados para disposición unilateral.

En el apéndice B.4.1 Se presenta los niveles de iluminación conseguidos.

En comparación al nivel medio de iluminación medido para cada disposición de alumbrado público actualmente instalado (VS) que se encuentra en la tabla 8.5, se tiene el siguiente resultado para esta disposición

VS		LED Tipo 2
24,6 Lux	<	37,5 lux

Tabla 13.2 Comparación de nivel de iluminación en Lux.

13.3.2. Central doble

Se realiza el diseño tomando datos reales de la calzada, porte y brazo de montaje, a continuación, se presentan los datos y resultados obtenidos.

- **Datos de disposición.**

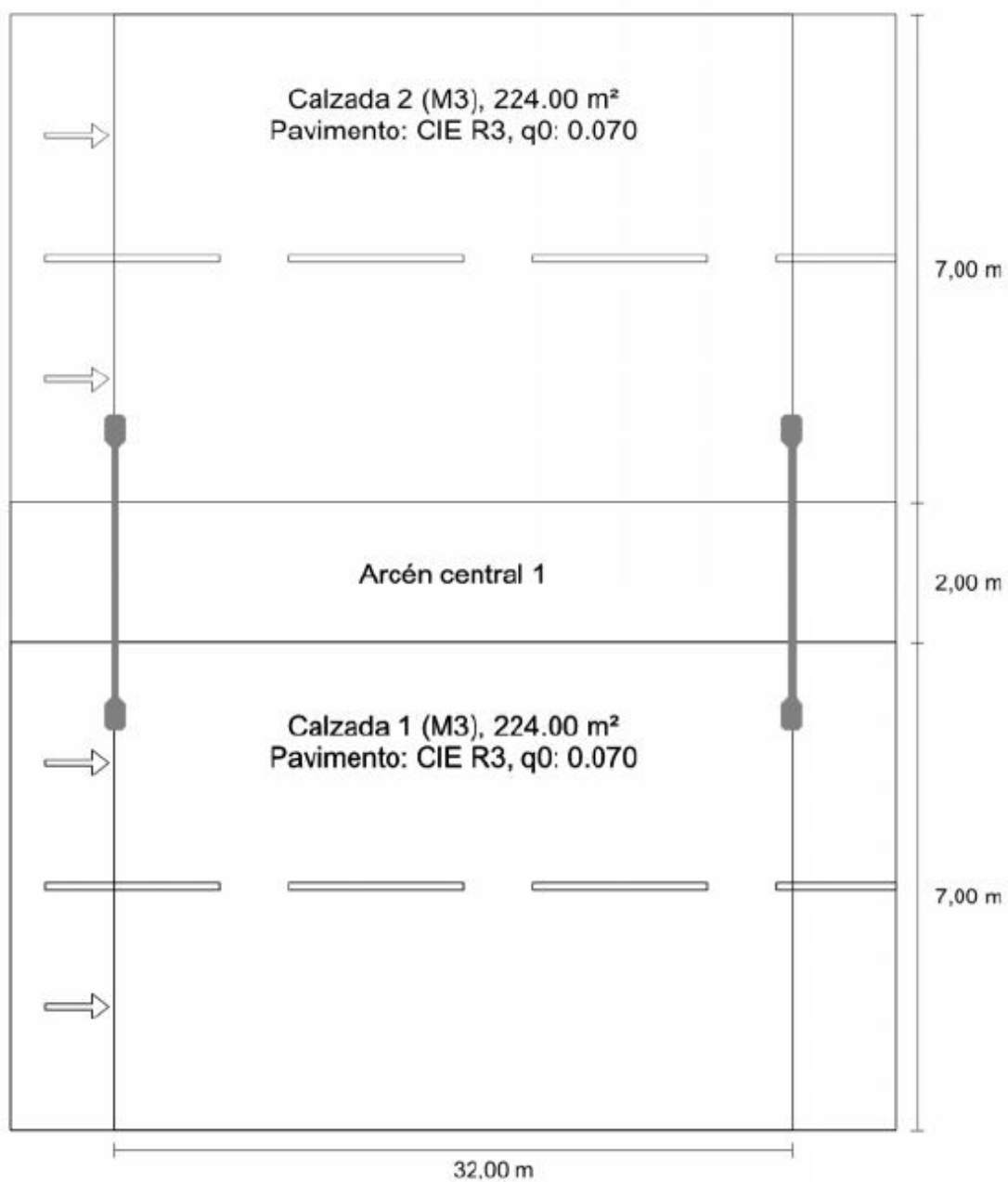


Figura 13.4: Central doble calzada 1 y 2.

Disposición de las luminarias

Tipo de disposición	     
Distancia entre mástiles	32.000 m <input type="checkbox"/> Optimizar
Altura del punto de luz	9.600 m <input type="checkbox"/>
Inclinación del brazo	5.0 ° <input type="checkbox"/>
Saliente del punto de luz	1.000 m <input type="checkbox"/>
Rotación de mástil	0.0 °
Luminarias por mástil	2
Distancia mástil-calzada	1.000 m
Longitud del brazo	2.000 m
Desplazamiento longitudinal	0.000 m

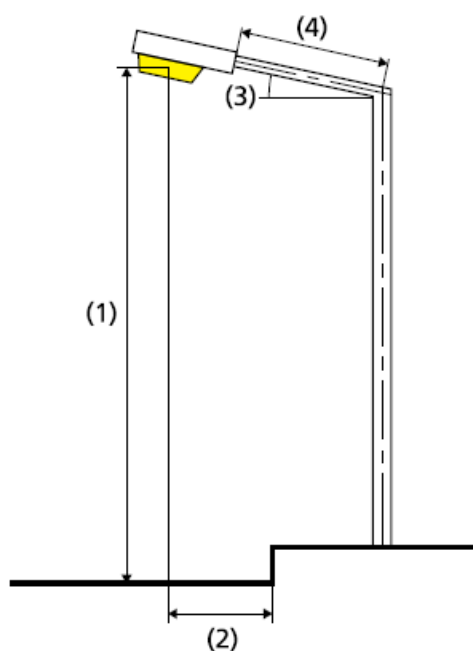


Figura 13.5: Datos de disposición de las luminarias.

- **Resultados aplicando la norma CIE-115 1995**

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.74	✓ 0.63	✓ 0.70	✓ 10	✓ 0.76

Calzada 1 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.74	✓ 0.63	✓ 0.70	✓ 10	✓ 0.76

Tabla 13.3: Resultados para disposición central doble.

En el apéndice B.4.2 Se presenta los niveles de iluminación conseguidos.

En comparación al nivel medio de iluminación medido para cada disposición de alumbrado público actualmente instalado (VS) que se encuentra en la tabla 8.5, se tiene el siguiente resultado para esta disposición

VS		LED Tipo 2
57,2 Lux	>	43,3 lux

Tabla 13.4 Comparación de nivel de iluminación en Lux.

13.3.3. Central en 3 bolillo

Se realiza el diseño tomando datos reales de la calzada, porte y brazo de montaje, a continuación, se presentan los datos y resultados obtenidos.

- **Datos de disposición.**

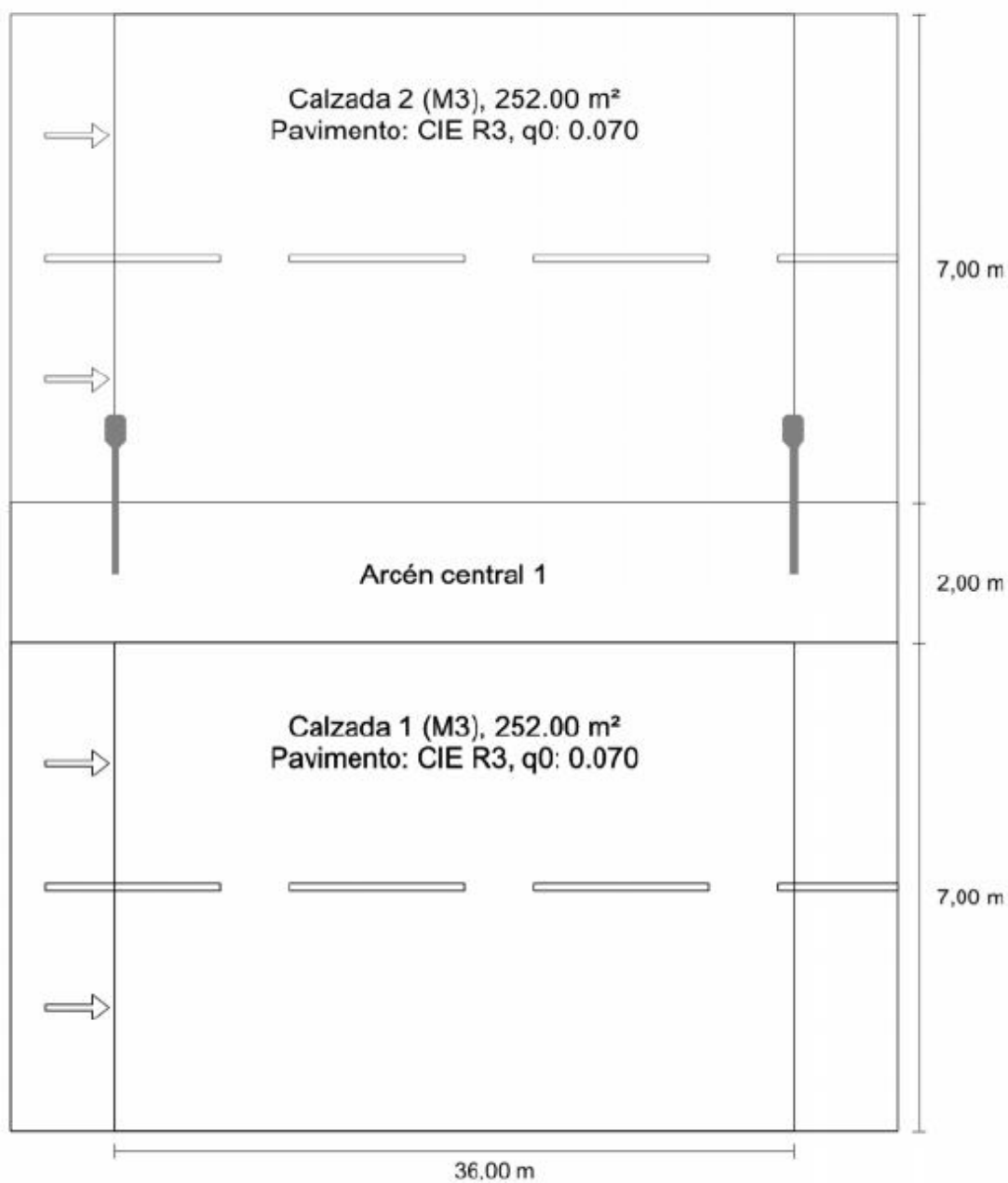


Figura 13.6: Central en 3 bolillo calzada 1 y 2.

Disposición de las luminarias

Tipo de disposición	
Distancia entre mástiles	36.000 m <input type="checkbox"/> Optimizar
Altura del punto de luz	9.600 m <input type="checkbox"/>
Inclinación del brazo	5.0 ° <input type="checkbox"/>
Saliente del punto de luz	1.000 m <input type="checkbox"/>
Rotación de mástil	0.0 °
Luminarias por mástil	1
Distancia mástil-calzada	1.000 m
Longitud del brazo	2.000 m
Desplazamiento longitudinal	0.000 m

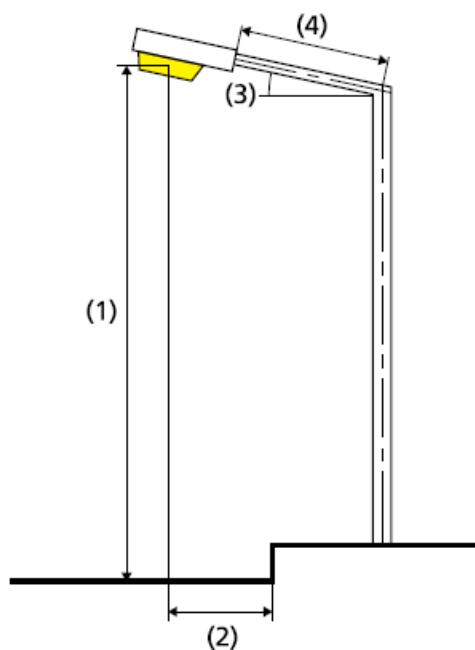


Figura 13.7: Datos de disposición de las luminarias.

- **Resultados aplicando la norma CIE-115 1995**

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	U _o ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.44	✓ 0.59	✓ 0.70	✓ 10	✓ 0.76

Calzada 1 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	U _o ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 2.45	✓ 0.60	✓ 0.70	✓ 10	✓ 0.76

Tabla 13.5: Resultados para disposición central en 3 bolillo.

En el apéndice B.4.3 Se presenta los niveles de iluminación conseguidos.

En comparación al nivel medio de iluminación medido para cada disposición de alumbrado público actualmente instalado (VS) que se encuentra en la tabla 8.5, se tiene el siguiente resultado para esta disposición

VS		LED Tipo 2
32,9 Lux	<	38,5 lux

Tabla 13.6 Comparación de nivel de iluminación en Lux.

13.3.4. Zigzag

Se realiza el diseño tomando datos reales de la calzada, porte y brazo de montaje, a continuación, se presentan los datos y resultados obtenidos.

- **Datos de disposición.**

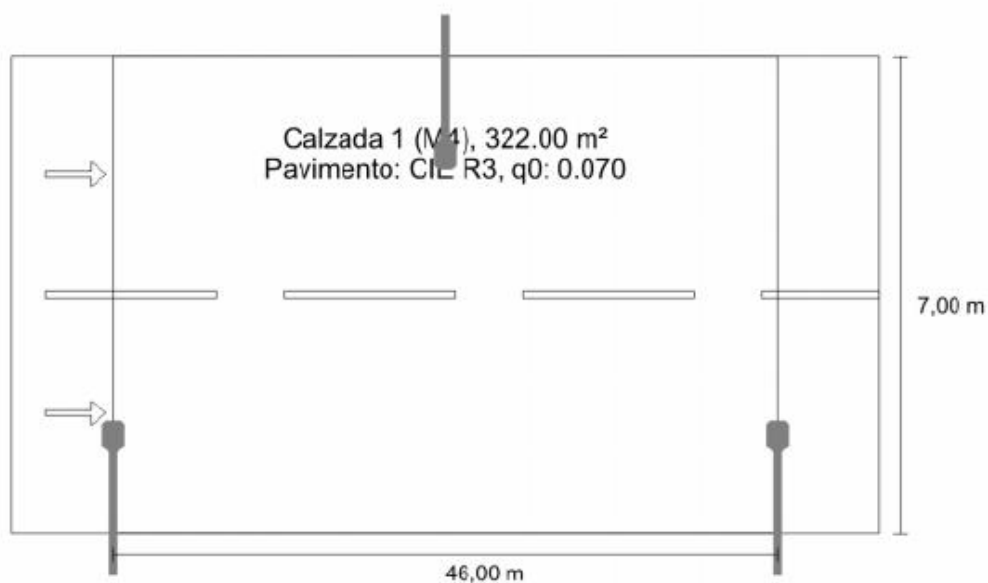


Figura 13.8: Zig Zag calzada 1.

Disposición de las luminarias	
Tipo de disposición	
Distancia entre mástiles	46.000 m <input type="checkbox"/> Optimizar
Altura del punto de luz	9.600 m <input type="checkbox"/>
Inclinación del brazo	5.0 ° <input type="checkbox"/>
Saliente del punto de luz	1.400 m <input type="checkbox"/>
Rotación de mástil	0.0 ° <input type="checkbox"/>
Luminarias por mástil	1
Distancia mástil-calzada	0.600 m <input type="radio"/>
Longitud del brazo	2.000 m <input checked="" type="radio"/>
Desplazamiento longitudinal	0.000 m

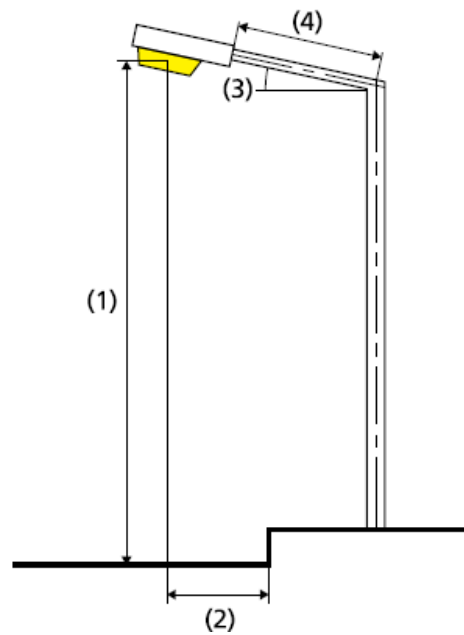


Figura 13.9: Datos de disposición de las luminarias.

- **Resultados aplicando la norma CIE-115 1995**

Calzada 1 (M3)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.70	U _o ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	TI [%] ≤ 10	EIR ≥ 0.50
✓ 3.50	✓ 0.66	✓ 0.70	-	✓ 0.65

Tabla 13.7: Resultados para disposición central en 3 bolillo.

En el apéndice B.4.4 Se presenta los niveles de iluminación conseguidos.

En comparación al nivel medio de iluminación medido para cada disposición de alumbrado público actualmente instalado (VS) que se encuentra en la tabla 8.5, se tiene el siguiente resultado para esta disposición

VS		LED Tipo 2
37,6 Lux	<	52,3 lux

Tabla 13.8 Comparación de nivel de iluminación en Lux.

13.4. Memoria descriptiva de Reemplazo, reposición y adecuación

13.4.1. Tramo 1: Bulevar Bicentenario, desde Ruta 8 hasta Bulevar Caballero

El tramo 1 es una doble avenida con dos calzadas de dos carriles cada una, tiene una disposición de alumbrados central doble

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 48
 - Distancia total del tramo = 1583.4 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 33.68 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 6
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 51
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.66
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 96
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 6
 - Cantidad de equipos necesarios = 102

13.4.2. Tramo 2: DR. BOTTREL, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 2 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 26
 - Distancia total del tramo = 1108.9 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 44.35 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 20
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 36
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.68 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 52
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 20
 - Cantidad de equipos necesarios = 72

13.4.3. Tramo 3: Coronel Oviedo, desde General Caballero hasta Presidente Franco.

El tramo 3 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 15
 - Distancia total del tramo = 672.2 m

- Distancia promedio entre postes de AP = 44.81 m
- Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 6
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 21
 - Distancia promedio con nueva distribución = 32 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 15
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 6
 - Cantidad de equipos necesarios = 21

13.4.4. Tramo 4: Curupa'yty, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 4 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 23
 - Distancia total del tramo = 1086.8 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 47.25 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias

- Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 11
- Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 34
- Distancia promedio con nueva distribución = 31.96 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 23
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 11
 - Cantidad de equipos necesarios = 34

13.4.5. Tramo 5: Colon, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 5 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 25
 - Distancia total del tramo = 1170.5 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 46.82 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 12
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 37

- Distancia promedio con nueva distribución = 31.63 m.

- Soluciones

- Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
- Cantidad de equipos a ser reemplazados = 25
- Cantidad de equipos a ser instalados = 12
- Cantidad de equipos necesarios = 37

13.4.6. Tramo 6: Ruiz Díaz de Melgarejo, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 6 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos

- Cantidad de postes utilizado para AP = 22
- Distancia total del tramo = 1079.3 m
- Distancia promedio entre postes de AP = 49.05 m
- Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m

- Sugerencias

- Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 12
- Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 34
- Distancia promedio con nueva distribución = 31.74 m.

- Soluciones

- Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$

- Cantidad de equipos a ser reemplazados = 22
- Cantidad de equipos a ser instalados = 12
- Cantidad de equipos necesarios = 34

13.4.7. Tramo 7: Mariscal Francisco Solano López, desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 7 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 23
 - Distancia total del tramo = 1063.3 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 46.23 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 11
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 34
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.27 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 23
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 11
 - Cantidad de equipos necesarios = 34

13.4.8. Tramo 8: Mariscal Estigarribia desde Ruta 8 hasta Presidente Franco.

El tramo 8 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 20
 - Distancia total del tramo = 1057 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 52.85 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 13
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 33
 - Distancia promedio con nueva distribución = 32.00 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 20
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 13
 - Cantidad de equipos necesarios = 33

13.4.9. Tramo 9: Alejo García, desde Ruta 8 hasta Avenida España.

El tramo 9 es un camino principal de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 44
 - Distancia total del tramo = 2259 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 51.34 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 27
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 33
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.81 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 44
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 27
 - Cantidad de equipos necesarios = 71

13.4.10. Tramo 10: Bulevar Yegros, desde Ruta 8 hasta Bulevar Caballero.

El tramo 10 es una doble avenida con dos calzadas de dos carriles cada una, tiene una disposición de alumbrados central en 3 bolillo.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 43
 - Distancia total del tramo = 1572 m

- Distancia promedio entre postes de AP = 36.55 m
- Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 18 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 45
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 88
 - Distancia promedio con nueva distribución = 17.86
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 43
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 45
 - Cantidad de equipos necesarios = 88

13.4.11. Tramo 11: Bulevar Caballero, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario

El tramo 11 es una doble avenida con dos calzadas de dos carriles cada una, tiene una disposición de alumbrados central doble.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 47
 - Distancia total del tramo = 2280 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 47.5 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m

- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 50
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 72
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.66
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 94
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 50
 - Cantidad de equipos necesarios = 144

13.4.12. Tramo 12: Presidente Franco, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 12 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 19
 - Distancia total del tramo = 1709 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 89.94 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias

- Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 35
- Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
- Distancia promedio con nueva distribución = 31.64 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 19
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 35
 - Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.13. Tramo 13: Humaita, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 13 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 27
 - Distancia total del tramo = 1695 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 62.77 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 26

- Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 53
- Distancia promedio con nueva distribución = 31.98 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 27
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 26
 - Cantidad de equipos necesarios = 53

13.4.14. Tramo 14: Coronel Félix Bogado, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 14 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 41
 - Distancia total del tramo = 1702 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 41.51 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 13
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.41 m.
- Soluciones

- Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
- Cantidad de equipos a ser reemplazados = 41
- Cantidad de equipos a ser instalados = 13
- Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.15. Tramo 15: Gral. José E. Díaz desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 15 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 41
 - Distancia total del tramo = 1710 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 41.70 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 13
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.66 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 41
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 13

- Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.16. Tramo 16: Carlos Antonio López, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 16 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 29
 - Distancia total del tramo = 1705 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 58.79 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 25
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.57 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 29
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 25
 - Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.17. Tramo 17: Natalicio Talavera, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 17 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 33
 - Distancia total del tramo = 1705 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 51.66 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 21
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.57 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 33
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 21
 - Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.18. Tramo 18: Gregorio Benítez, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 18 es un camino secundario de 1 calzada de dos carriles, tiene una disposición de alumbrados unilateral.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 32
 - Distancia total del tramo = 1704 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 53.25 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 22
 - Con esa cantidad de equipos se tiene postes de AP = 54
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.55 m.
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$
 - Cantidad de equipos a ser reemplazados = 32
 - Cantidad de equipos a ser instalados = 22
 - Cantidad de equipos necesarios = 54

13.4.19. Tramo 19: Ruta 8 Dr. Blas Garay, desde Bulevar Yegros hasta Bulevar Bicentenario.

El tramo 19 es una ruta nacional de doble avenida con dos calzadas de dos carriles cada una, tiene una disposición de alumbrados unilateral en la mayor parte partes y bilateral en ciertas partes.

- Datos
 - Cantidad de postes utilizado para AP = 45 lateral derecho
= 2 lateral izquierdo
 - Distancia total del tramo = 1766 m
 - Distancia promedio entre postes de AP = 39.24 m
 - Distancia promedio ideal entre postes de AP según simulación = 32 m
- Sugerencias
 - Por la anchura total de la calzada la disposición correcta sería una disposición bilateral pareada, como ya se tiene una disposición unilateral derecha de AP la sugerencia es agregar otra disposición unilateral izquierda de AP así se tendrá la disposición deseada.
 - Para una distribución ideal de los equipos debe ser instalado equipos nuevos en zonas de una distancia mayor entre postes de AP en el lateral derecho dentro del tramo que será una cantidad de equipos = 11
 - Con esa cantidad de equipos en el lateral derecho se tiene postes de AP = 56
 - Distancia promedio con nueva distribución = 31.66
- Soluciones
 - Cumple $D_{promedio\ instalada} < D_{promedio\ ideal}$

- Cantidad de equipos a ser reemplazados = 47
- Cantidad de equipos a ser instalados = 65
- Cantidad de equipos necesarios = 112

13.5. Datos finales de Reemplazo, reposición y adecuación

En la siguiente tabla se presenta las cantidades de equipos a ser reemplazados e instalados.

Tramos	Distancia (m)	Cantidad de Postes	Distancia entre Postes	Reemplazar	Instalar
Tramo 1	1.583,4	48	33,68	96	6
Tramo 2	1.108,9	26	44,35	52	20
Tramo 3	672,2	15	44,81	15	6
Tramo 4	1.086,8	23	47,25	23	11
Tramo 5	1.170,5	25	46,82	25	12
Tramo 6	1.079,3	22	49,05	22	12
Tramo 7	1.063,3	23	46,23	23	11
Tramo 8	1.057	20	52,85	20	13
Tramo 9	2.259	44	51,34	44	27
Tramo 10	1572	43	36,55	43	45
Tramo 11	2.280	47	47,5	94	50

Tramo 12	1.709	19	89,94	19	35
Tramo 13	1.695	27	62,77	27	26
Tramo 14	1.702	41	41,51	41	13
Tramo 15	1.710	41	41,70	41	13
Tramo 16	1.705	29	58,79	29	25
Tramo 17	1.705	33	51,66	33	21
Tramo 18	1.704	32	53,25	32	22
Tramo 19	1.766	47	39,24	47	65
Total				726	420

Tabla 13.9 Datos finales para reemplazo y/o reposición y adecuación.

13.6. Informe final de proyecto de reemplazo

El proyecto de reemplazo, reposición y adecuación de los tramos seleccionados se dividirá finalmente en dos enfoques, que sería el reemplazo solamente de los equipos ya existentes y dar como sugerencia una reposición y adecuación a la concesionaria para mejorar los niveles de iluminación, uniformidad, etc. Que fueron diseñados según las normas establecidas en este proyecto final de grado.

Los resultados finales obtenidas en la ingeniería de diseño del proyecto final de grado que son, de la evaluación y selección de alternativa, la factibilidad técnica como también la ingeniería económica, estará delimitada en el reemplazo de los equipos de alumbrado público existentes sin variar la cantidad.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- En la evaluación y selección de la alternativa según criterios técnicos y económicos se obtuvo como resultado el LED Tipo 2.
- En el proyecto de reemplazo se pretende reemplazar 19 tramos considerados más importantes dentro de la ciudad lo cual equivale al 23.84 % del sistema de alumbrado público.
- LED Tipo 2 es de menor potencia que el VS, pero con mayor eficiencia.
- LED Tipo 2 tiene un menor consumo de potencia reactiva por tanto presenta un mayor factor de potencia.
- LED Tipo 2 tiene un consumo 32.8% menor que el VS.
- LED Tipo 2 tiene una apariencia de color fría por tanto más agradable que una apariencia de color cálida del VS.
- LED Tipo 2 tiene un índice de reproducción de color mayor que el VS, por tanto, permite tener una mejor descripción visual del objeto iluminado.
- LED Tipo 2 posee menor flujo luminoso que el VS, pero en relación a la potencia del equipo, la LED tipo dos con menor potencia tendría un mayor flujo luminoso que una lámpara de VS de la misma potencia.
- LED tipo 2 tiene una vida útil de 4,45 veces más que el VS
- En la evaluación económica se tiene un TIR de 25%, un VPN de Gs. 4.649.247.127,54 y un periodo de recuperación de inversión de 4 años, 9 meses, 3 días.

9. CONCLUSIONES

- Se encontró que en el mercado nacional esta incrementado de manera significativa el sistema tecnológico para sistemas de alumbrado público que es la tecnología LED, tanto en iluminación vial como en todos los sistemas de iluminación en general, conviniéndose el uso de los LED como tendencia mundial.
- Optando por 3 alternativas de la tecnología LED, se concluye que la mejor alternativa para la reducción de consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado público de la concesionaria Clyfsa de la ciudad de Villarrica es la LED Tipo 2.
- Con el reemplazo del 23.84 % de sistema de alumbrado público por la alternativa LED Tipo 2, se logrará una reducción del consumo de energía eléctrica de un 9.03 % en todo el sistema de alumbrado público.
- Con un TIR de 25 %, VAN de Gs. 4.649.247.127,54, tomando una tasa de descuento de 10 % para un flujo de caja proyecta para 15 años, queda demostrado la factibilidad económica del proyecto de reemplazo por la LED Tipo 2.

10. RECOMENDACIONES

Según el estudio realizado en este proyecto final de grado se dan las siguientes recomendaciones:

- La tecnología LED en iluminación es una tendencia mundial, actualmente las ventas incrementan de manera significativa dentro del mercado con costes más atractivos en comparación al pasado reciente, por consiguiente, se recomienda: Establecer normas reguladoras para el uso adecuado de esta tecnología y un sistema de control de calidad de las Lámparas tipo LED comercializadas dentro de país.
- Buscar apoyo y solicitar créditos a instituciones y secretarías del estado por ser obras de eficiencia energética y ser una tecnología que evita una importante contaminación ambiental.
- El sistema de alumbrado público actual dentro de la ciudad provoca cierta inconformidad en su calidad, en las actividades cotidianas de los ciudadanos, por tanto, con la propuesta de implementar la tecnología LED en alumbrado público con el reemplazo de los equipos de alumbrado público actualmente utilizadas se da como sugerencia en el proyecto de reemplazo una adecuación para mejorar los niveles de iluminación determinada con la cantidad de equipos a ser instaladas a más que las que serán reemplazadas; pudiendo lograrse con esto un sistema de iluminación de alumbrado público óptimo.
- Realizar proyectos pilotos de iluminación LED en universidades como también en empresas del sector público y privado para tener una visión real de la operación de esta tecnología aplicada en iluminación vial.

11. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Localización y cobertura espacial del proyecto.

Figura A.1: Mapa de la ciudad de Villarrica.

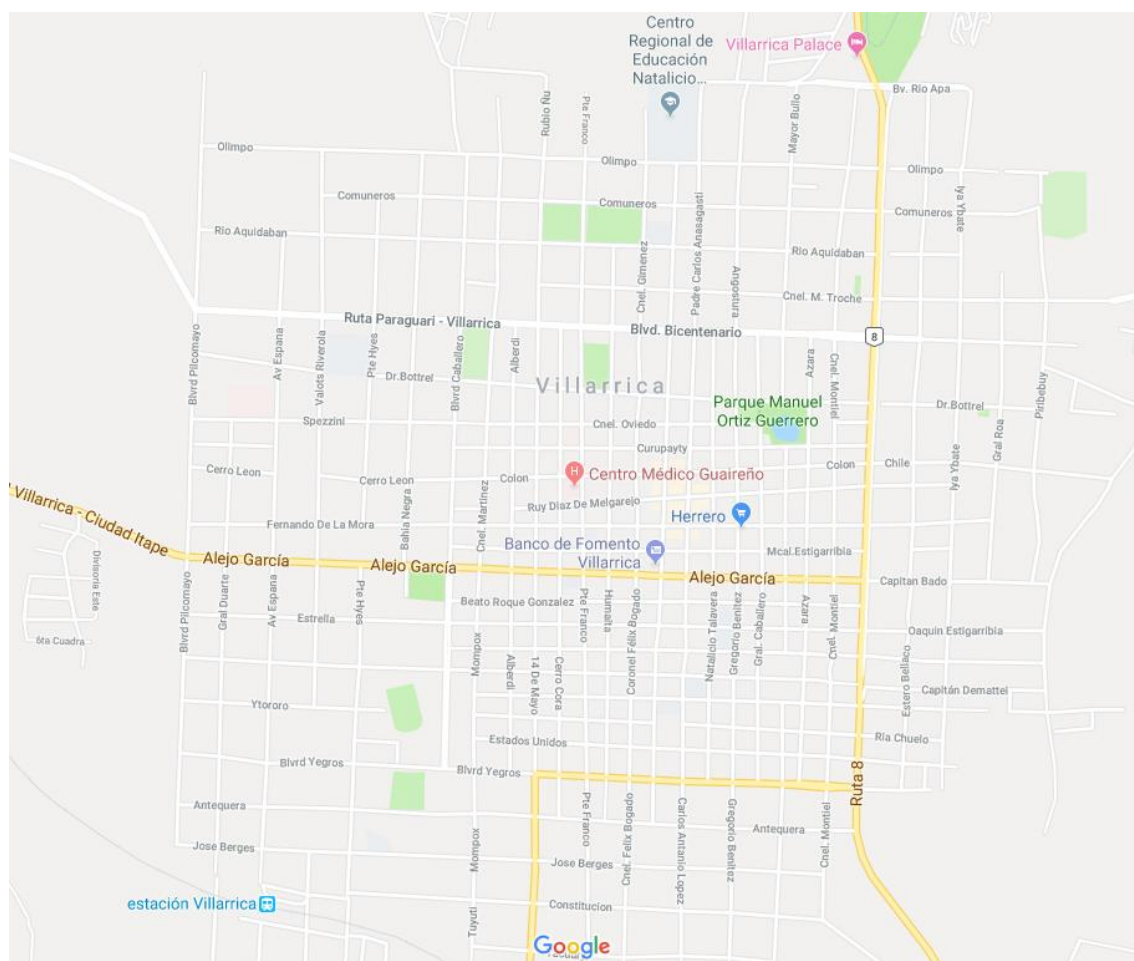
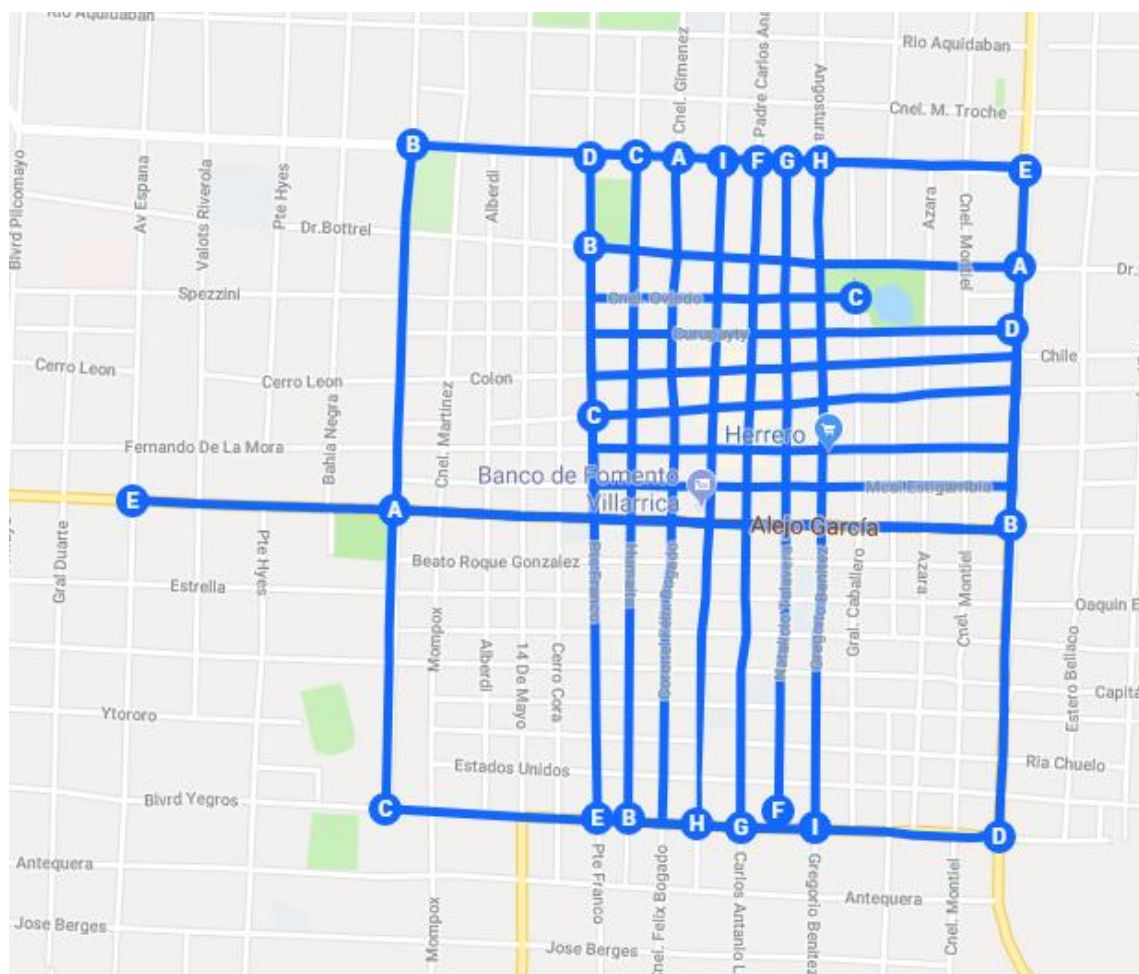


Figura A.2: Tramos seleccionados para el proyecto.



Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Sistema de información geográfica de AP.

Figura B.1: Vista general del sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica perteneciente a la concesionaria CLYFSA.

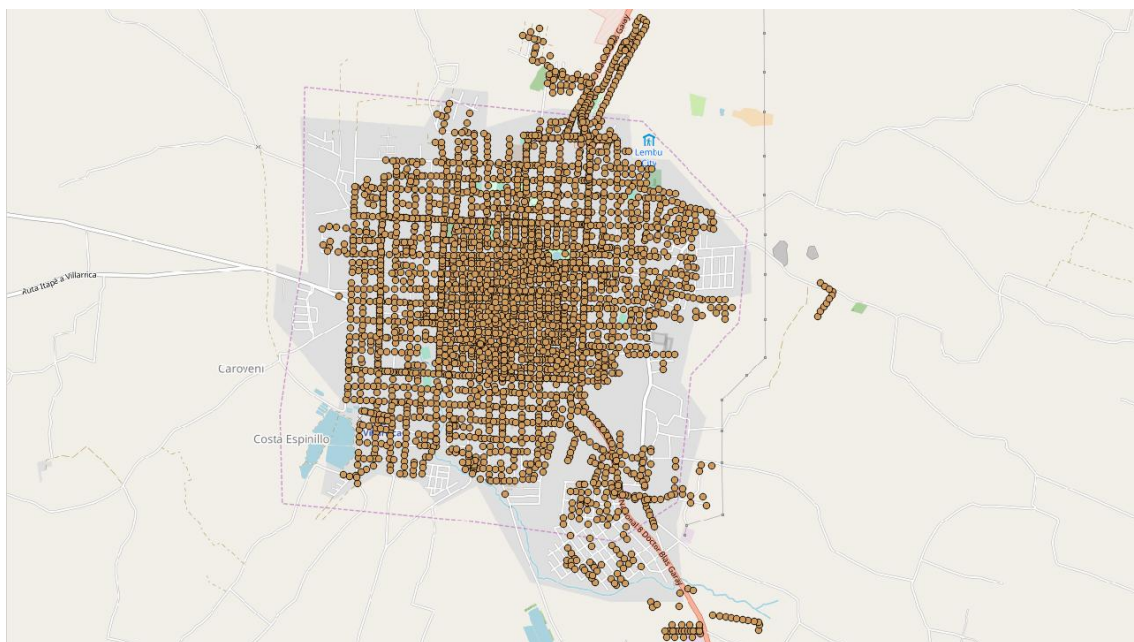


Figura B.2: Vista centrada en el microcentro de la ciudad del sistema de alumbrado público de la ciudad de Villarrica perteneciente a la concesionaria CLYFSA.

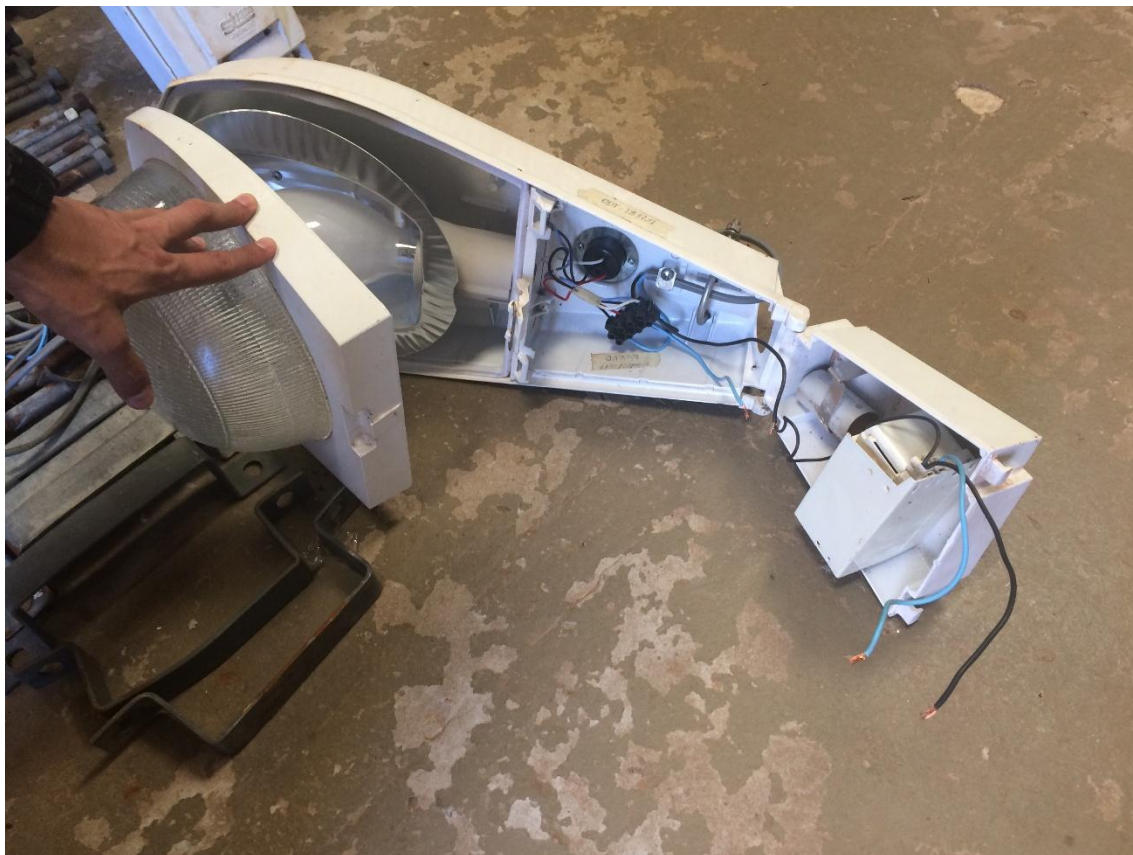


Apéndice B.2: Equipos utilizados actualmente.

Imagen B.3: Equipo de VS instalados actualmente.



Imagen B.4: Imagen en taller del equipo de VS.



Apéndice B.3: Alternativas de alumbrado en prueba

Imagen B.5: LED Tipo 1 en prueba.

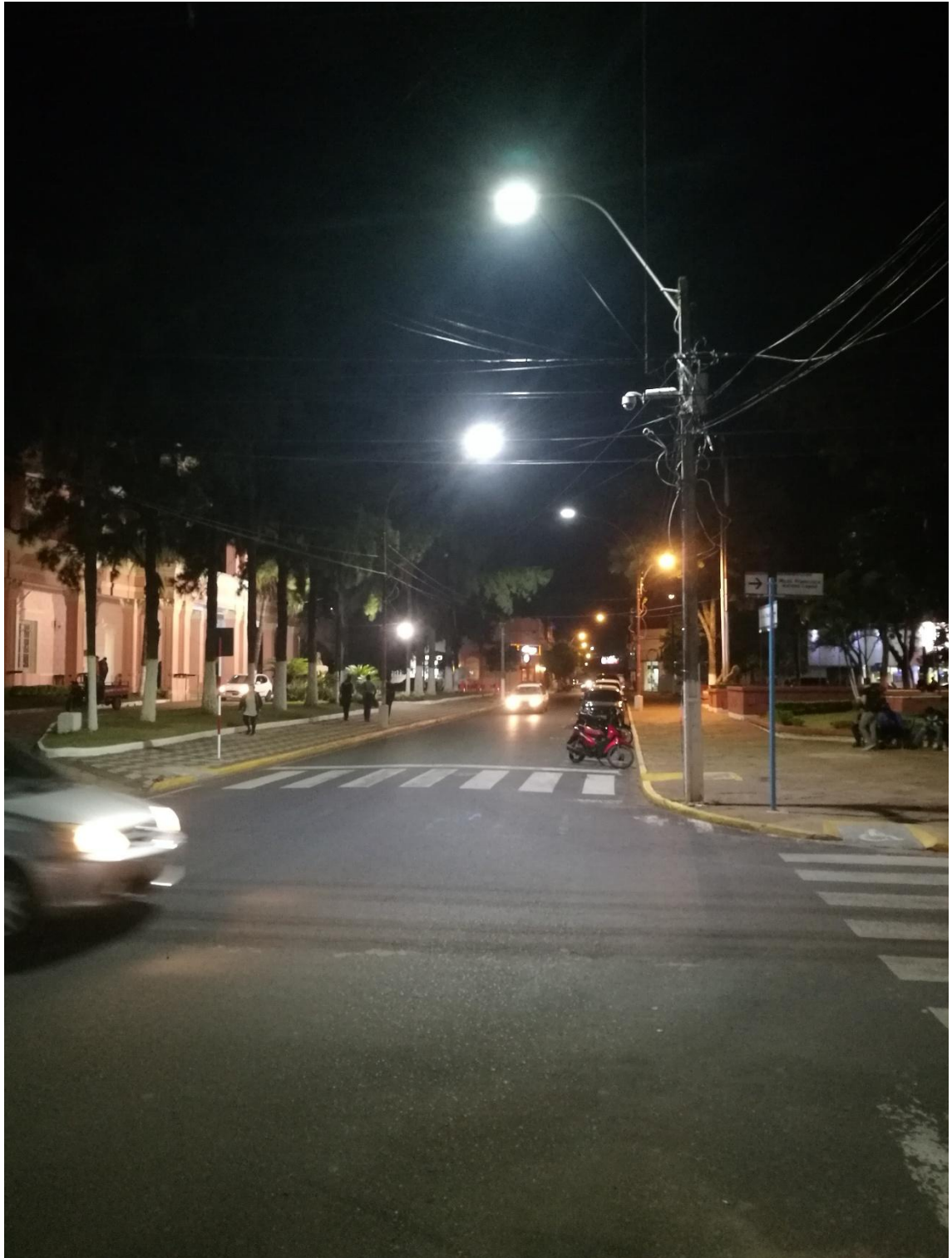


Imagen B.6: LED Tipo 2 en prueba.



Imagen B.7: LED Tipo 3 en prueba.



Apéndice B.4: Niveles de iluminación tras simulaciones.

B.4.1. Disposición unilateral

Imagen B.8: Intensidad lumínica horizontal.

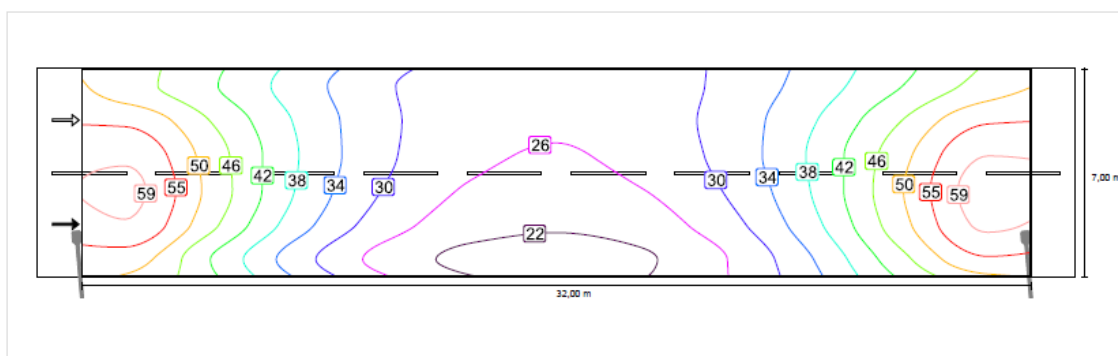
Calzada 1 (M3)

Intensidad lumínica horizontal [lx]

6.417	48.3	42.8	36.3	30.7	27.3	26.5	27.8	31.2	36.2	42.2	48.2
5.250	53.7	46.2	37.7	31.1	27.3	26.4	27.9	31.8	38.1	46.4	54.0
4.083	57.8	48.5	38.4	30.9	26.8	25.7	27.3	31.6	39.2	49.1	58.6
2.917	59.6	49.1	37.9	29.9	25.7	24.5	26.0	30.6	38.8	50.2	60.6
1.750	58.3	47.4	35.9	28.0	23.8	22.6	24.0	28.8	37.3	49.1	59.3
0.583	52.4	42.2	31.9	24.6	20.9	19.9	21.4	26.1	34.3	45.1	54.0
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
37.5	19.9	60.6	0.532	0.328



Escala: 1 : 200

Imagen B.9: Luminancia.

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

6.417	1.80	1.82	1.81	1.88	1.87	1.87	1.95	1.87	1.77	1.75	1.80
5.250	2.09	2.17	2.15	2.23	2.24	2.28	2.28	2.16	2.13	2.03	2.10
4.083	2.51	2.69	2.68	2.72	2.73	2.76	2.65	2.45	2.43	2.36	2.42
2.917	2.92	3.23	3.35	3.45	3.44	3.28	3.08	2.88	2.69	2.59	2.74
1.750	3.17	3.58	3.76	3.83	3.80	3.57	3.29	3.03	2.79	2.67	2.87
0.583	2.65	2.96	3.17	3.30	3.32	3.14	2.94	2.71	2.50	2.36	2.47
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.64	1.75	3.83	0.664	0.457

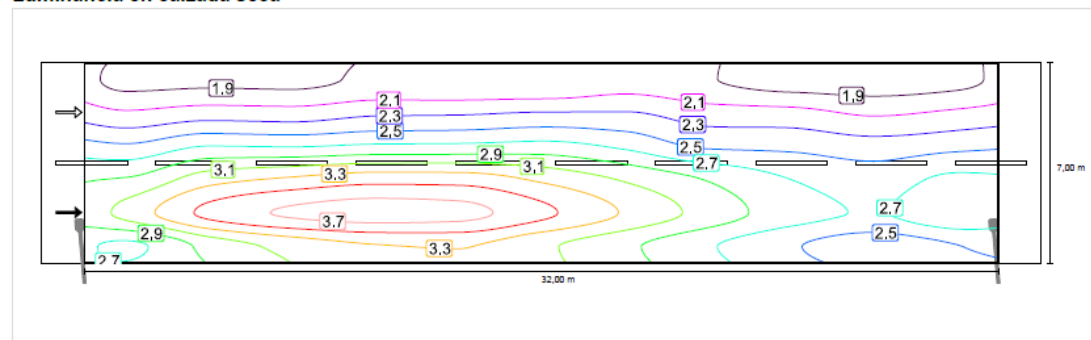
Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

6.417	2.68	2.71	2.70	2.81	2.80	2.80	2.92	2.79	2.64	2.61	2.69
5.250	3.12	3.23	3.21	3.33	3.35	3.41	3.41	3.22	3.18	3.04	3.14
4.083	3.75	4.02	3.99	4.07	4.08	4.13	3.95	3.66	3.63	3.52	3.62
2.917	4.35	4.82	5.01	5.14	5.13	4.89	4.60	4.31	4.01	3.86	4.08
1.750	4.73	5.34	5.61	5.72	5.67	5.33	4.91	4.52	4.16	3.99	4.28
0.583	3.95	4.42	4.74	4.92	4.96	4.69	4.39	4.05	3.74	3.52	3.69
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

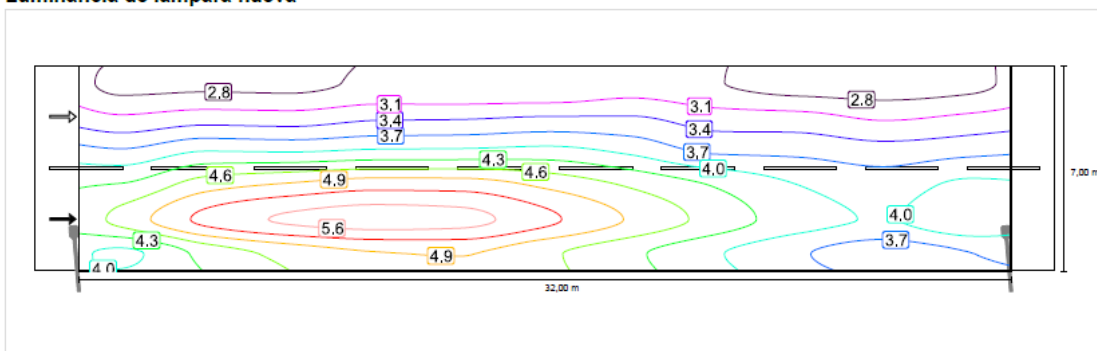
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
3.93	2.61	5.72	0.664	0.457

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

Luminancia de lámpara nueva



Escala: 1 : 200

B.4.2. Disposición central doble.

Imagen B.10: Intensidad lumínica horizontal Calzada 2.

Intensidad lumínica horizontal [lx]

15.417	49.4	43.5	37.5	32.2	28.7	27.5	28.7	32.2	37.5	43.5	49.4
14.250	55.3	47.9	39.6	33.0	29.0	27.7	29.0	33.0	39.6	47.9	55.3
13.083	61.1	51.4	41.2	33.5	29.4	28.1	29.4	33.5	41.2	51.4	61.1
11.917	65.9	53.9	42.4	34.5	30.2	29.0	30.2	34.5	42.4	53.9	65.9
10.750	69.2	57.1	45.3	36.6	31.8	30.2	31.8	36.6	45.3	57.1	69.2
9.583	76.2	63.6	49.9	39.4	33.6	31.8	33.6	39.4	49.9	63.6	76.2
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
43.3	27.5	76.2	0.634	0.361

Intensidad lumínica horizontal

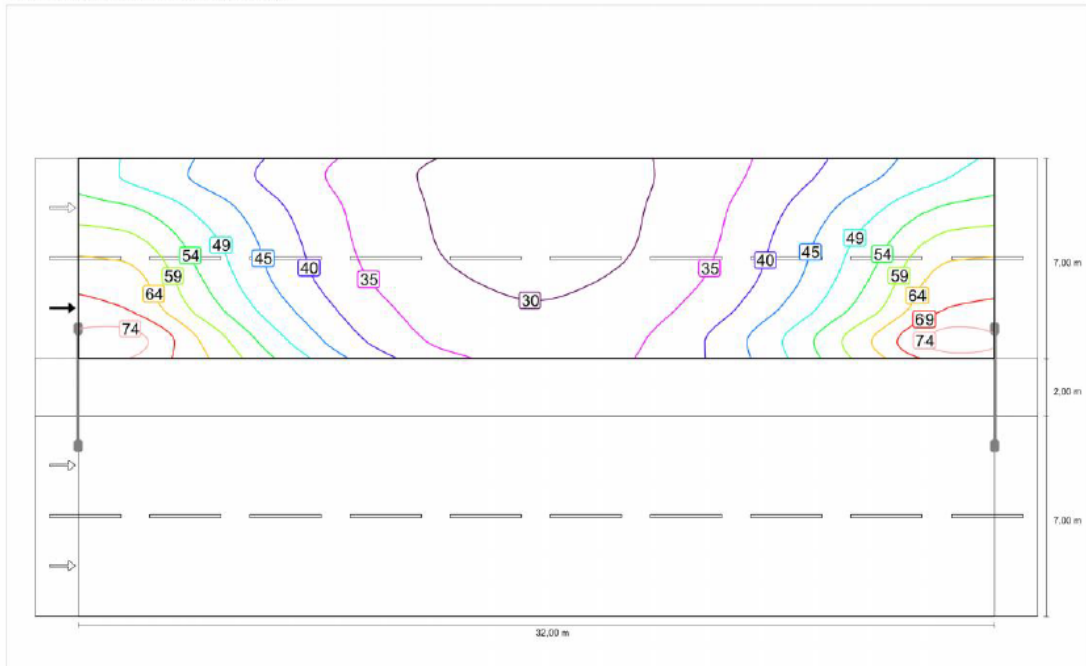


Imagen B.11: Intensidad lumínica horizontal Calzada 1.

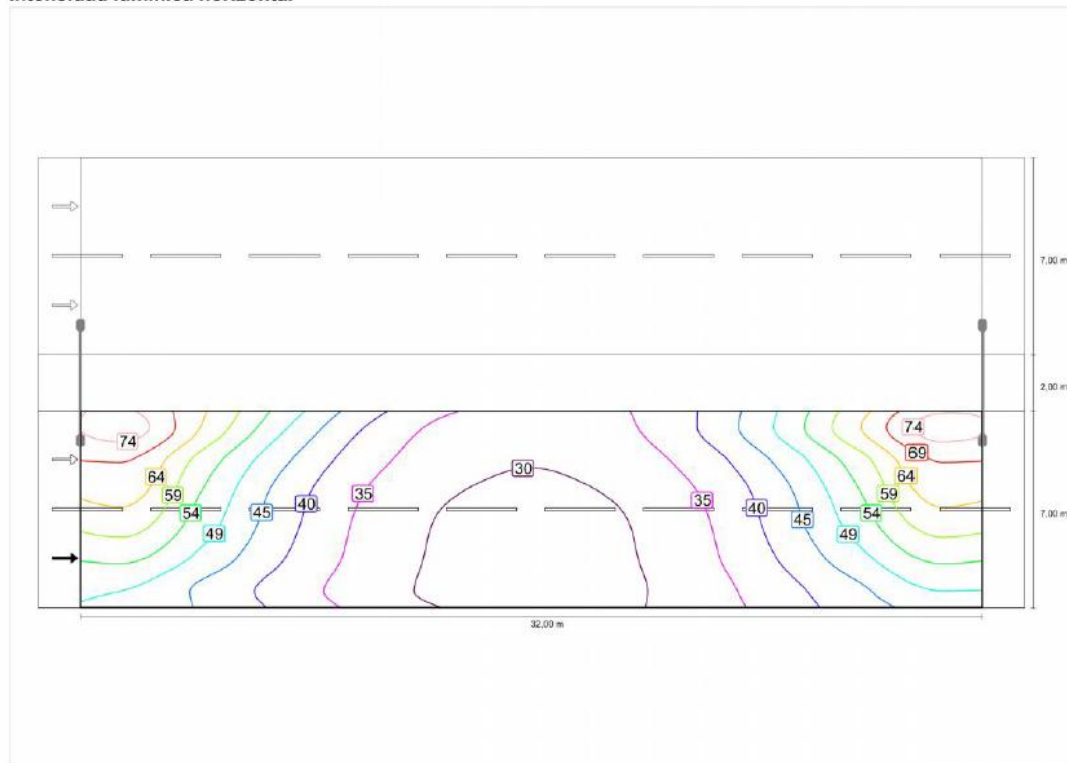
Intensidad lumínica horizontal [lx]

6.417	76.2	63.6	49.9	39.4	33.6	31.8	33.6	39.4	49.9	63.6	76.2
5.250	69.2	57.1	45.3	36.6	31.8	30.2	31.8	36.6	45.3	57.1	69.2
4.083	65.9	53.9	42.4	34.5	30.2	29.0	30.2	34.5	42.4	53.9	65.9
2.917	61.1	51.4	41.2	33.5	29.4	28.1	29.4	33.5	41.2	51.4	61.1
1.750	55.3	47.9	39.6	33.0	29.0	27.7	29.0	33.0	39.6	47.9	55.3
0.583	49.4	43.5	37.5	32.2	28.7	27.5	28.7	32.2	37.5	43.5	49.4
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
43.3	27.5	76.2	0.634	0.361

Intensidad lumínica horizontal



Escala: 1 : 200

Imagen B.12: Luminancia Calzada 2.

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

15.417	1.77	1.77	1.79	1.86	1.86	1.84	1.94	1.86	1.77	1.75	1.79
14.250	2.04	2.08	2.08	2.17	2.19	2.20	2.24	2.14	2.13	2.01	2.04
13.083	2.40	2.48	2.50	2.55	2.66	2.71	2.62	2.45	2.44	2.33	2.35
11.917	2.75	2.90	3.09	3.30	3.38	3.33	3.17	2.93	2.74	2.57	2.65
10.750	3.06	3.34	3.66	3.93	4.06	3.93	3.73	3.42	3.12	2.84	2.86
9.583	3.11	3.35	3.64	3.95	4.14	4.16	3.97	3.67	3.39	3.06	2.99
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.74	1.75	4.16	0.640	0.422

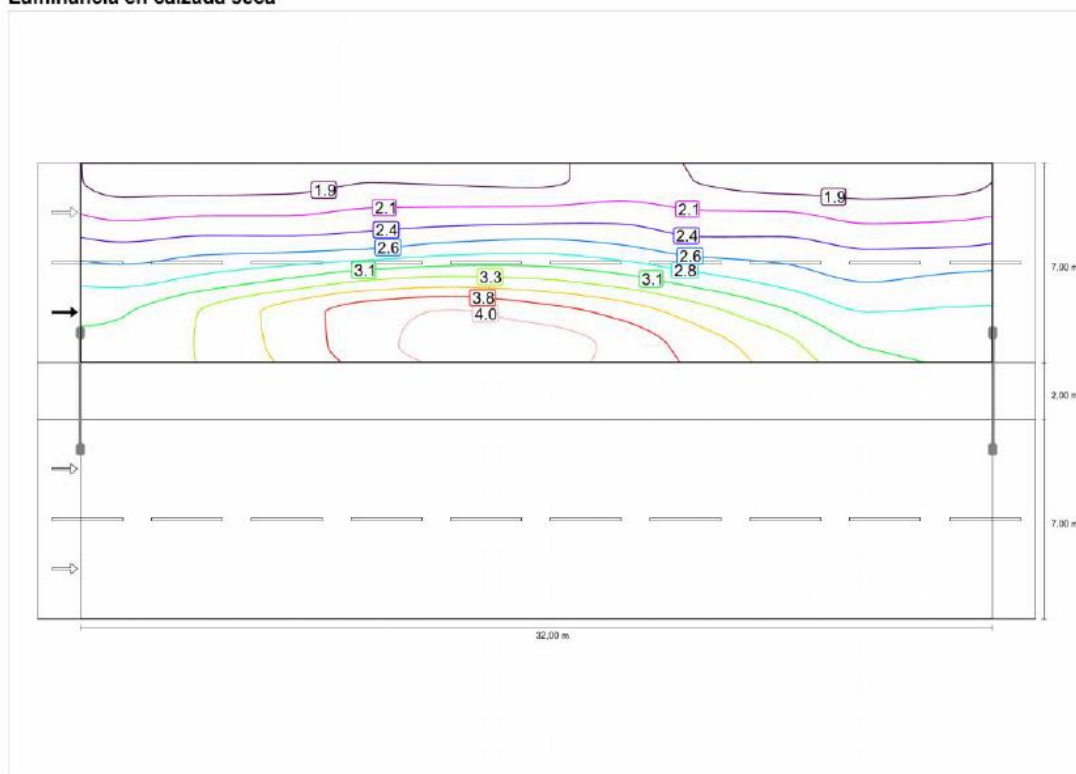
Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

15.417	2.65	2.65	2.68	2.78	2.77	2.74	2.89	2.78	2.64	2.62	2.67
14.250	3.04	3.11	3.11	3.23	3.27	3.29	3.35	3.19	3.18	3.01	3.05
13.083	3.58	3.71	3.73	3.81	3.98	4.05	3.91	3.66	3.64	3.48	3.50
11.917	4.10	4.34	4.61	4.92	5.04	4.97	4.74	4.38	4.09	3.84	3.95
10.750	4.57	4.99	5.46	5.87	6.05	5.87	5.56	5.11	4.65	4.24	4.28
9.583	4.65	5.00	5.43	5.90	6.18	6.20	5.93	5.48	5.06	4.57	4.46
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
4.09	2.62	6.20	0.640	0.422

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

Luminancia de lámpara nueva

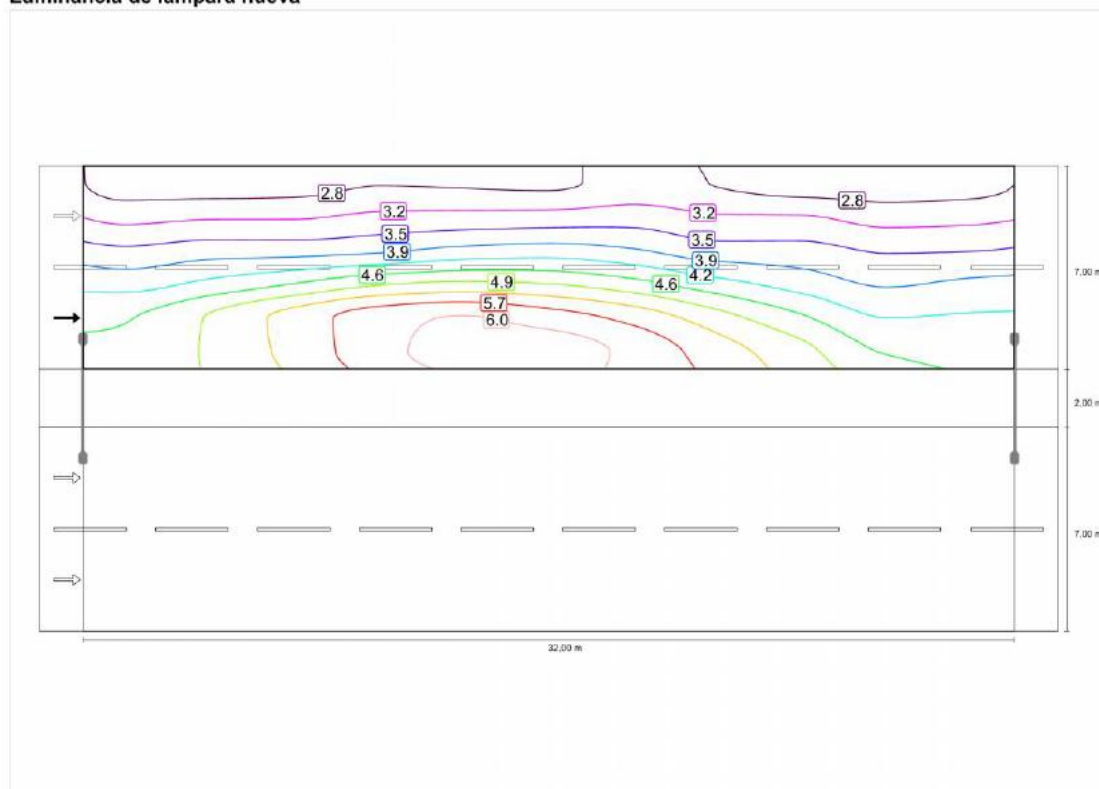


Imagen B.13: Luminancia Calzada 1.

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

6.417	2.93	3.11	3.39	3.77	4.04	4.09	3.97	3.65	3.38	3.05	2.92
5.250	3.09	3.41	3.77	4.04	4.20	4.10	3.84	3.51	3.16	2.86	2.90
4.083	3.19	3.50	3.69	3.85	3.86	3.71	3.45	3.15	2.89	2.71	2.86
2.917	2.75	2.97	3.10	3.16	3.13	3.04	2.89	2.62	2.57	2.47	2.51
1.750	2.31	2.43	2.39	2.48	2.51	2.46	2.44	2.28	2.25	2.12	2.20
0.583	1.93	1.99	2.01	2.05	2.08	2.00	2.10	1.97	1.88	1.83	1.86
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.92	1.83	4.20	0.626	0.436

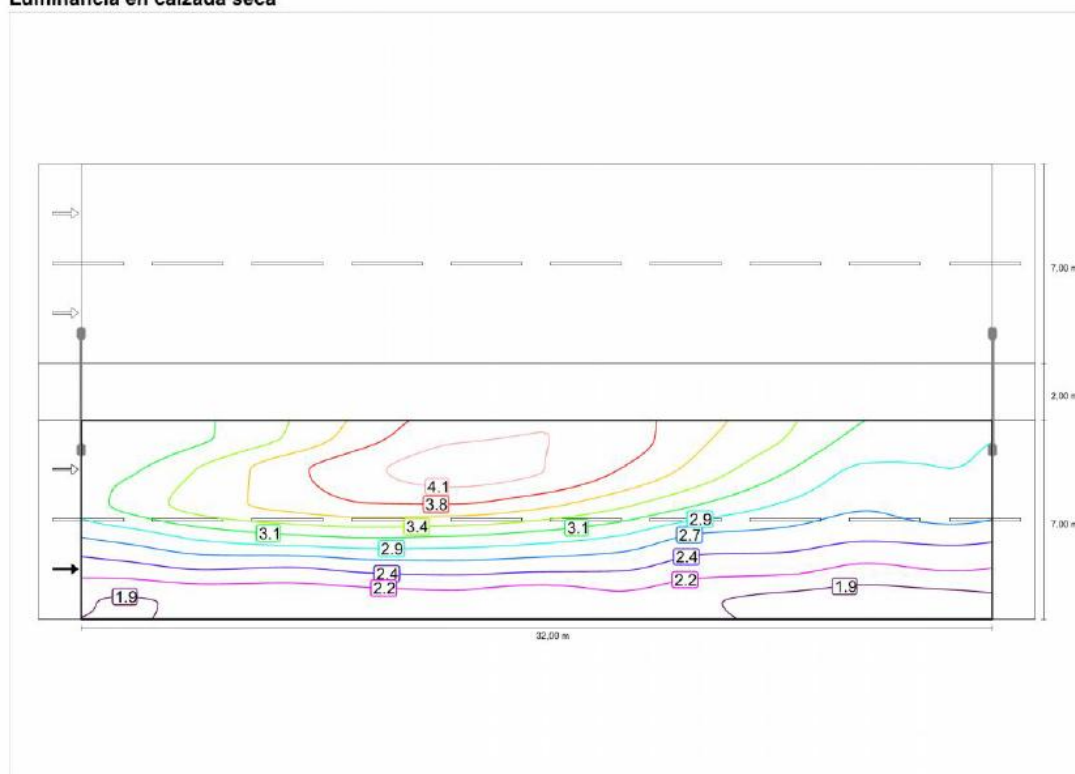
Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

6.417	4.38	4.64	5.06	5.63	6.04	6.10	5.92	5.45	5.04	4.56	4.37
5.250	4.61	5.09	5.62	6.03	6.27	6.12	5.74	5.23	4.71	4.26	4.32
4.083	4.76	5.23	5.51	5.74	5.76	5.54	5.15	4.70	4.31	4.04	4.27
2.917	4.11	4.44	4.62	4.72	4.67	4.53	4.31	3.91	3.84	3.68	3.75
1.750	3.45	3.62	3.56	3.70	3.75	3.68	3.64	3.40	3.36	3.17	3.28
0.583	2.87	2.98	3.01	3.07	3.11	2.98	3.14	2.95	2.81	2.73	2.78
m	1.455	4.364	7.273	10.182	13.091	16.000	18.909	21.818	24.727	27.636	30.545

Trama: 11 x 6 Puntos

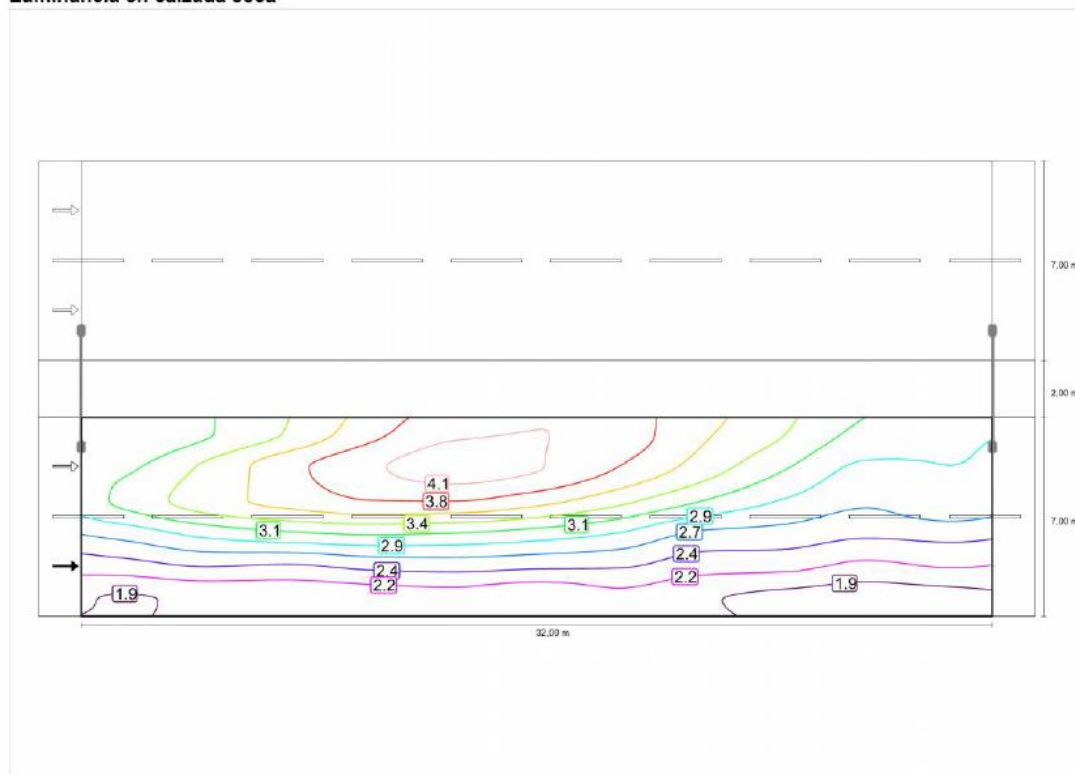
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
4.36	2.73	6.27	0.626	0.436

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

B.4.3. Disposición central en 3 bolillo.

Imagen B.14: Intensidad lumínica horizontal Calzada 2.

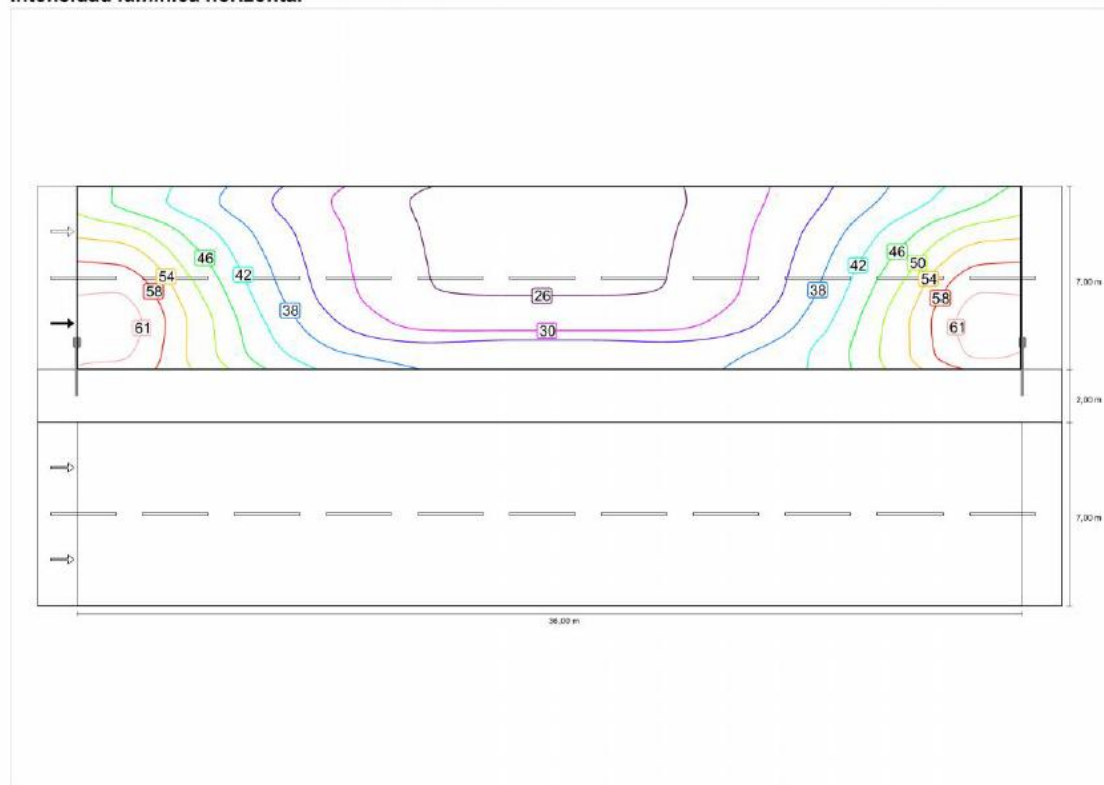
Intensidad lumínica horizontal [lx]

15.417	45.5	39.9	34.1	29.1	25.7	24.4	24.4	25.7	29.1	34.1	39.9	45.5
14.250	51.7	44.1	35.9	29.8	26.0	24.4	24.4	26.0	29.8	35.9	44.1	51.7
13.083	57.2	47.6	37.5	30.1	26.2	25.0	25.0	26.2	30.1	37.5	47.6	57.2
11.917	61.4	50.6	38.9	30.7	26.4	26.2	26.2	26.4	30.7	38.9	50.6	61.4
10.750	63.4	52.5	41.0	33.2	28.9	28.5	28.5	28.9	33.2	41.0	52.5	63.4
9.583	62.1	52.6	43.1	38.0	36.7	37.7	37.7	36.7	38.0	43.1	52.6	62.1
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
38.5	24.4	63.4	0.633	0.385

Intensidad lumínica horizontal



Escala: 1 : 200

Imagen B.15: Intensidad lumínica horizontal Calzada 1.

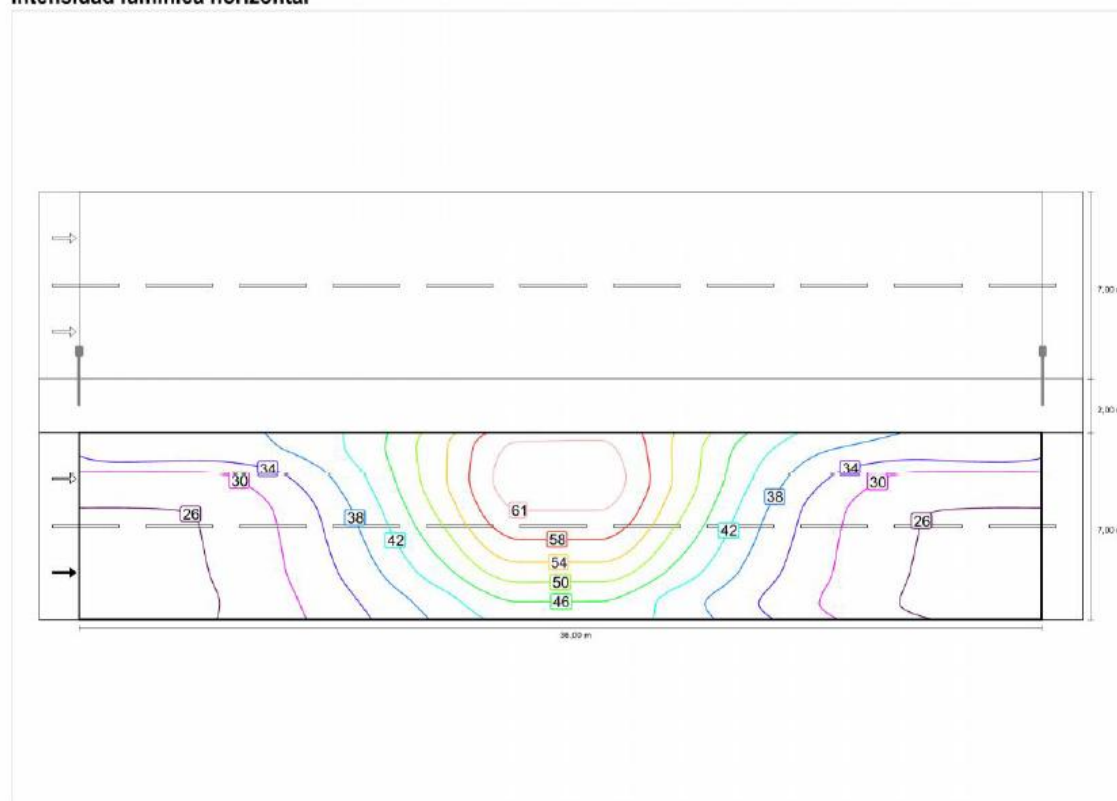
Intensidad lumínica horizontal [lx]

6.417	37.7	36.7	38.0	43.1	52.6	62.1	62.1	52.6	43.1	38.0	36.7	37.7
5.250	28.5	28.9	33.2	41.0	52.5	63.4	63.4	52.5	41.0	33.2	28.9	28.5
4.083	26.2	26.4	30.7	38.9	50.6	61.4	61.4	50.6	38.9	30.7	26.4	26.2
2.917	25.0	26.2	30.1	37.5	47.6	57.2	57.2	47.6	37.5	30.1	26.2	25.0
1.750	24.4	26.0	29.8	35.9	44.1	51.7	51.7	44.1	35.9	29.8	26.0	24.4
0.583	24.4	25.7	29.1	34.1	39.9	45.5	45.5	39.9	34.1	29.1	25.7	24.4
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	E _{max} [lx]	g1	g2
38.5	24.4	63.4	0.633	0.385

Intensidad lumínica horizontal



Escala: 1 : 200

Imagen B.16: Luminancia Calzada 2.

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

15.417	1.49	1.45	1.43	1.59	1.71	1.74	1.76	1.84	1.74	1.62	1.57	1.52
14.250	1.69	1.67	1.65	1.83	1.99	2.04	2.10	2.15	2.00	1.96	1.81	1.76
13.083	1.96	1.96	1.98	2.21	2.37	2.48	2.58	2.52	2.30	2.26	2.13	2.00
11.917	2.24	2.29	2.37	2.71	3.02	3.15	3.13	2.95	2.74	2.55	2.42	2.29
10.750	2.56	2.71	2.88	3.25	3.54	3.67	3.56	3.35	3.12	2.89	2.73	2.58
9.583	2.82	2.89	2.95	3.27	3.53	3.62	3.59	3.47	3.25	3.08	2.95	2.85
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.44	1.43	3.67	0.588	0.391

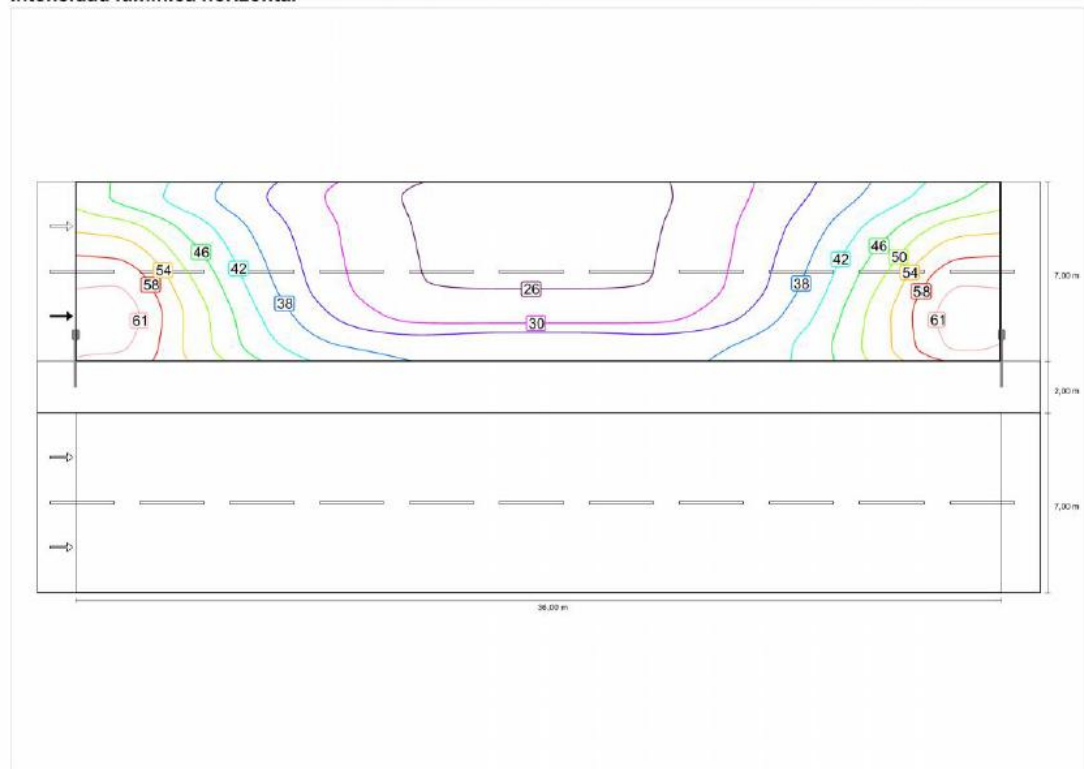
Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

15.417	2.22	2.17	2.14	2.37	2.54	2.60	2.62	2.75	2.59	2.42	2.34	2.27
14.250	2.52	2.49	2.46	2.74	2.97	3.04	3.13	3.20	2.99	2.92	2.71	2.62
13.083	2.92	2.92	2.96	3.29	3.54	3.71	3.85	3.75	3.44	3.37	3.18	2.98
11.917	3.34	3.42	3.53	4.05	4.50	4.70	4.68	4.41	4.08	3.81	3.61	3.42
10.750	3.82	4.04	4.29	4.85	5.29	5.47	5.32	5.00	4.66	4.32	4.07	3.85
9.583	4.21	4.31	4.41	4.87	5.27	5.41	5.36	5.17	4.85	4.59	4.41	4.25
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

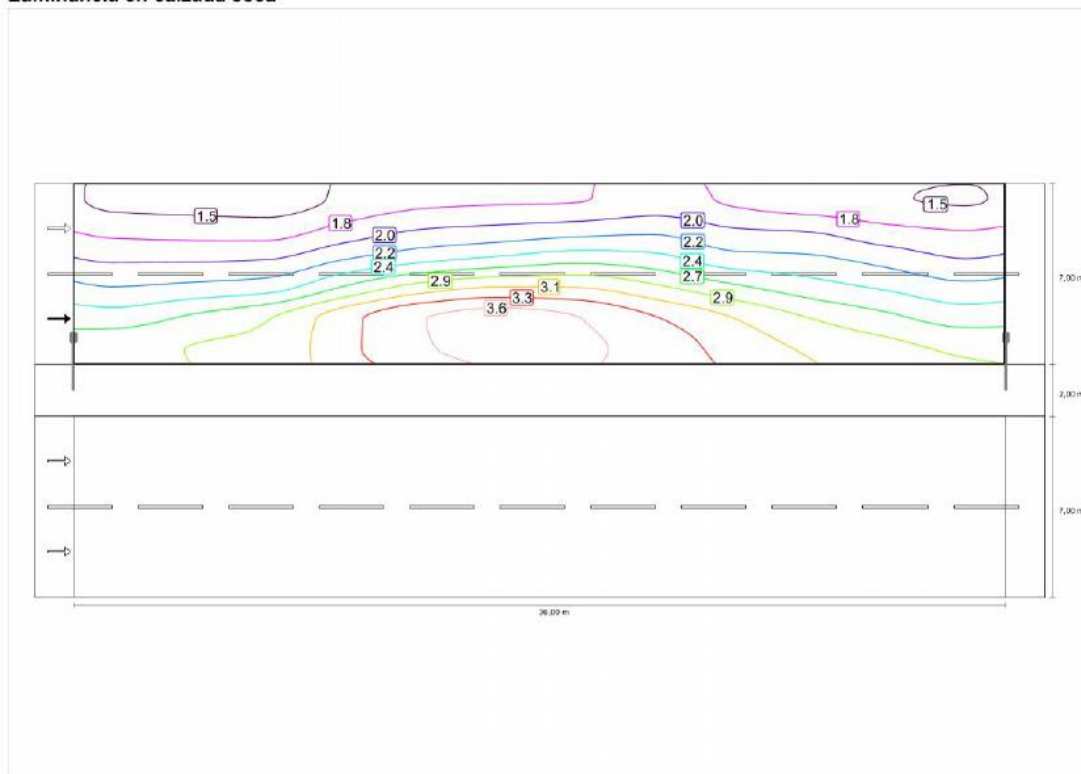
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
3.64	2.14	5.47	0.588	0.391

Intensidad luminica horizontal



Escala: 1 : 200

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

Imagen B.17: Luminancia Calzada 1

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

6.417	3.32	3.37	3.26	3.17	3.11	2.98	2.85	2.82	2.77	3.03	3.29	3.43
5.250	3.66	3.46	3.23	3.00	2.80	2.65	2.64	2.78	2.94	3.33	3.61	3.75
4.083	3.54	3.26	2.95	2.70	2.53	2.41	2.46	2.65	2.83	3.20	3.46	3.55
2.917	2.94	2.78	2.46	2.37	2.23	2.09	2.14	2.23	2.36	2.71	2.91	2.91
1.750	2.36	2.34	2.13	2.05	1.89	1.82	1.85	1.92	1.96	2.14	2.27	2.35
0.583	1.91	1.98	1.83	1.71	1.62	1.56	1.57	1.60	1.64	1.82	1.91	1.96
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.60	1.56	3.75	0.602	0.417

Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

6.417	4.96	5.04	4.87	4.73	4.64	4.45	4.26	4.20	4.14	4.52	4.91	5.12
5.250	5.46	5.17	4.81	4.47	4.17	3.95	3.93	4.14	4.39	4.97	5.39	5.59
4.083	5.29	4.87	4.41	4.02	3.78	3.60	3.67	3.95	4.23	4.78	5.17	5.30
2.917	4.38	4.15	3.67	3.53	3.33	3.13	3.19	3.32	3.53	4.04	4.34	4.34
1.750	3.52	3.50	3.18	3.07	2.82	2.72	2.76	2.86	2.93	3.19	3.39	3.51
0.583	2.85	2.96	2.73	2.55	2.41	2.33	2.35	2.38	2.45	2.72	2.85	2.92
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500	31.500	34.500

Trama: 12 x 6 Puntos

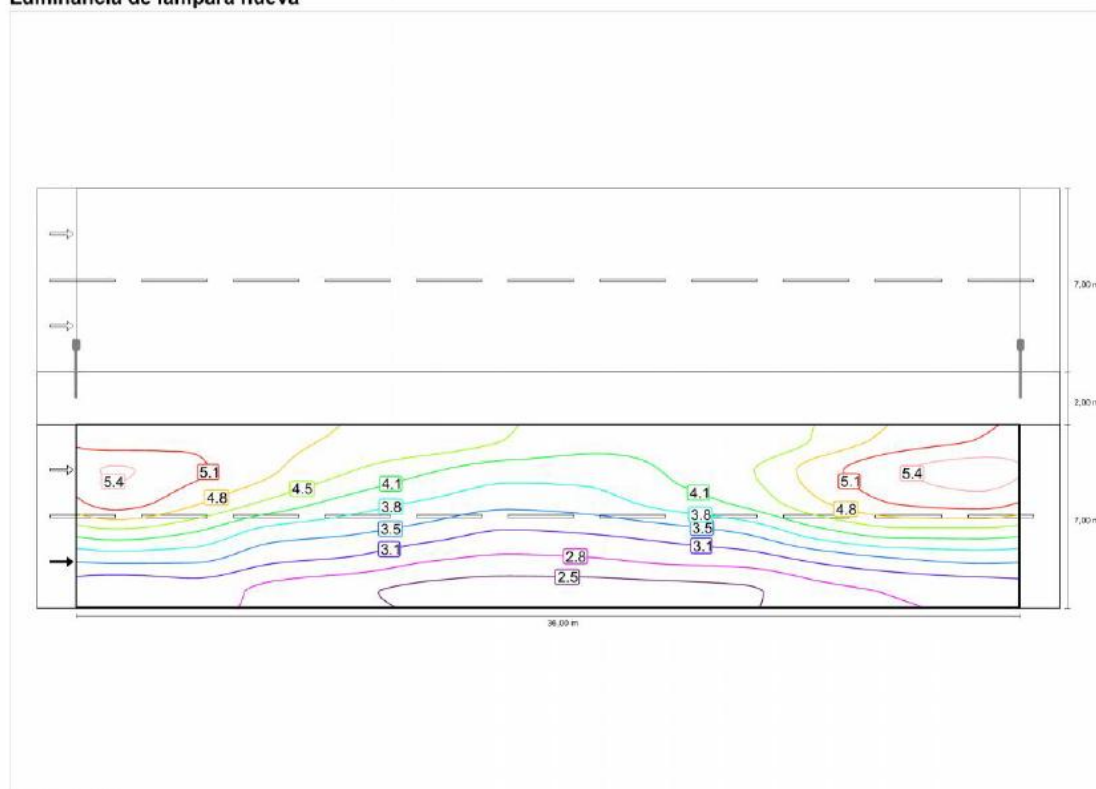
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
3.88	2.33	5.59	0.602	0.417

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 200

Luminancia de lámpara nueva



Escala: 1 : 200

Apéndice B.4.4. Disposición central en Zig Zag.

Imagen B.18: Intensidad lumínica horizontal.

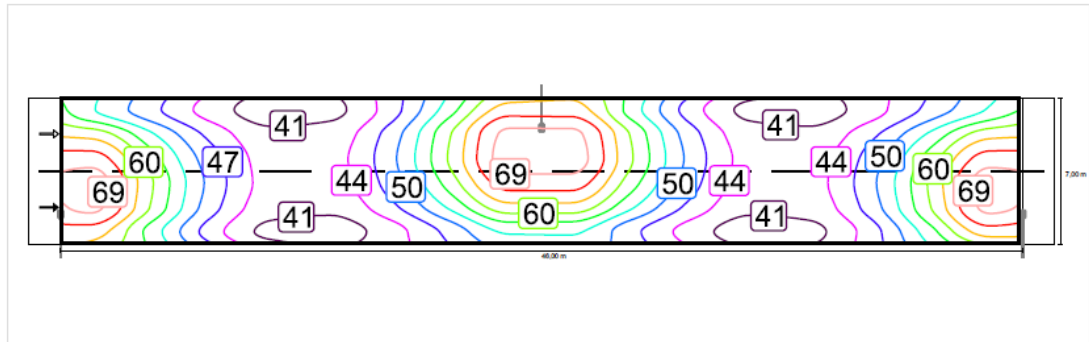
Intensidad lumínica horizontal [lx]

6.417	53.9	48.4	43.0	39.8	40.5	45.9	55.4	64.1	64.1	55.4	45.9	40.5	39.8	43.0	48.4	53.9
5.250	61.4	54.0	46.5	42.1	42.6	48.7	59.5	69.5	69.5	59.5	48.7	42.6	42.1	46.5	54.0	61.4
4.083	67.2	58.0	48.7	43.3	43.5	49.6	60.1	70.3	70.3	60.1	49.6	43.5	43.3	48.7	58.0	67.2
2.917	70.3	60.1	49.6	43.5	43.3	48.7	58.0	67.2	67.2	58.0	48.7	43.3	43.5	49.6	60.1	70.3
1.750	69.5	59.5	48.7	42.6	42.1	46.5	54.0	61.4	61.4	54.0	46.5	42.1	42.6	48.7	59.5	69.5
0.583	64.1	55.4	45.9	40.5	39.8	43.0	48.4	53.9	53.9	48.4	43.0	39.8	40.5	45.9	55.4	64.1
m	1.438	4.313	7.188	10.063	12.938	15.813	18.688	21.563	24.438	27.313	30.188	33.063	35.938	38.813	41.688	44.563

Trama: 16 x 6 Puntos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
52.3	39.8	70.3	0.760	0.566

Intensidad lumínica horizontal



Escala: 1 : 500

Imagen B.19: Luminancia.

Luminancia en calzada seca [cd/m²]

6.417	3.09	3.19	3.13	3.09	3.05	3.00	2.98	2.94	2.86	2.66	2.41	2.38	2.38	2.52	2.77	3.10
5.250	4.22	4.22	3.93	3.70	3.55	3.42	3.42	3.43	3.34	3.15	2.96	2.86	2.98	3.36	3.71	4.11
4.083	4.77	4.56	4.10	3.83	3.68	3.68	3.78	3.88	3.86	3.66	3.48	3.34	3.44	3.87	4.29	4.57
2.917	4.37	4.10	3.73	3.48	3.42	3.67	3.96	4.20	4.33	4.22	3.90	3.72	3.75	3.88	4.10	4.30
1.750	3.60	3.43	3.22	3.04	3.11	3.46	3.79	4.14	4.33	4.28	3.99	3.79	3.73	3.70	3.77	3.77
0.583	3.05	2.84	2.61	2.55	2.56	2.74	3.00	3.34	3.56	3.62	3.46	3.37	3.29	3.19	3.22	3.20
m	1.438	4.313	7.188	10.063	12.938	15.813	18.688	21.563	24.438	27.313	30.188	33.063	35.938	38.813	41.688	44.563

Trama: 16 x 6 Puntos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
3.51	2.38	4.77	0.679	0.500

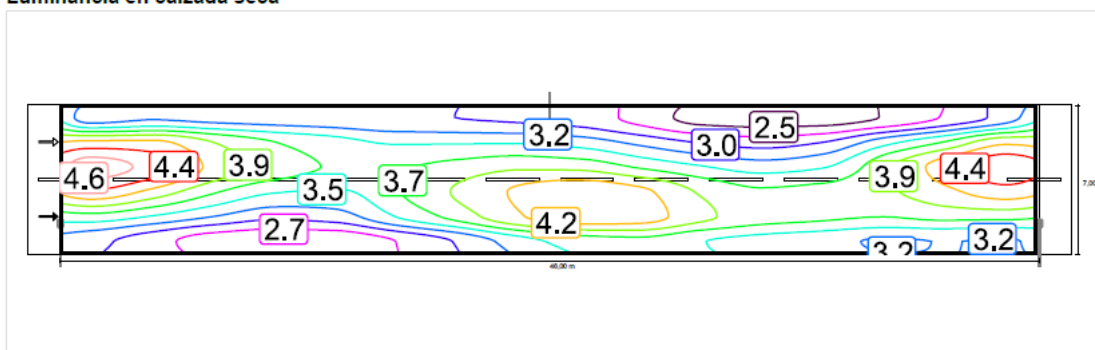
Luminancia de lámpara nueva [cd/m²]

6.417	4.61	4.77	4.67	4.61	4.55	4.48	4.44	4.38	4.27	3.96	3.60	3.55	3.56	3.75	4.13	4.63
5.250	6.30	6.30	5.87	5.52	5.29	5.11	5.11	5.11	4.99	4.70	4.41	4.27	4.44	5.01	5.54	6.13
4.083	7.11	6.80	6.13	5.72	5.49	5.49	5.64	5.80	5.76	5.47	5.19	4.99	5.13	5.77	6.41	6.82
2.917	6.53	6.12	5.57	5.19	5.10	5.47	5.91	6.27	6.47	6.30	5.82	5.56	5.60	5.80	6.12	6.42
1.750	5.38	5.13	4.80	4.53	4.64	5.16	5.65	6.18	6.46	6.39	5.96	5.66	5.57	5.52	5.63	5.62
0.583	4.55	4.24	3.90	3.81	3.81	4.09	4.48	4.98	5.31	5.40	5.17	5.03	4.91	4.77	4.80	4.78
m	1.438	4.313	7.188	10.063	12.938	15.813	18.688	21.563	24.438	27.313	30.188	33.063	35.938	38.813	41.688	44.563

Trama: 16 x 6 Puntos

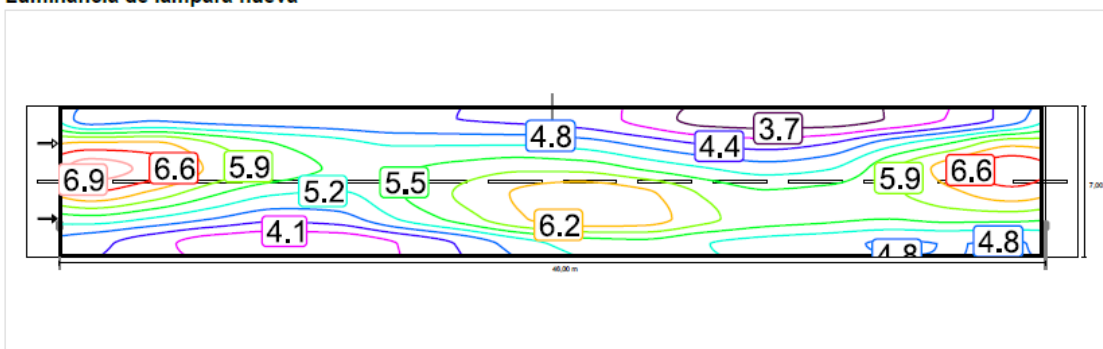
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
5.23	3.55	7.11	0.679	0.500

Luminancia en calzada seca



Escala: 1 : 500

Luminancia de lámpara nueva



Escala: 1 : 500

Apéndice C: Evaluación económica

Apéndice C.1: Flujo de caja, TIR, VPN y PRI.

C.1.1. Elaboración del flujo de caja.

Se presenta el flujo de caja de los beneficios previstos, ingresos y egresos del proyecto.

Tabla C1.1: Flujo de caja de beneficios.

Concepto	Ahorros (Gs)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Ahorro en consumo de energía	18.013.295	18.013.296	18.013.297	18.013.298	18.013.299	18.013.300	18.013.301	18.013.302
Ahorro por nantenimiento	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254
Total	145.404.549	145.404.550	145.404.551	145.404.552	145.404.553	145.404.554	145.404.555	145.404.556

Concepto	Ahorros (Gs)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Ahorro en consumo de energía	18.013.303	18.013.304	18.013.305	18.013.306	18.013.307	18.013.308	18.013.309	18.013.310
Ahorro por nantenimiento	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254	127.391.254
Total	145.404.557	145.404.558	145.404.559	145.404.560	145.404.561	145.404.562	145.404.563	145.404.564

Tabla C1.2: Flujo de caja proyectada.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Inversion	1.583.554.121							
Egreso por pago de energía	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556
Ahorro	FALSO	145.404.550	145.404.551	145.404.552	145.404.553	145.404.554	145.404.555	145.404.556
Ingreso facturación cliente	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090
Total egreso	1.612.934.677	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556
Total ingreso	183.652.090	329.056.640	329.056.641	329.056.642	329.056.643	329.056.644	329.056.645	329.056.646
Total	(1.429.282.587)	299.676.084	299.676.085	299.676.086	299.676.087	299.676.088	299.676.089	299.676.090
Valor acumulado	(1.429.282.587)	(1.129.606.503)	(829.930.418)	(530.254.332)	(230.578.245)	69.097.843	368.773.932	668.450.022

Años	8	9	10	11	12	13	14	15
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inversion								
Egreso por pago de energía	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556
Ahorro	145.404.557	145.404.558	145.404.559	145.404.560	145.404.561	145.404.562	145.404.563	145.404.564
Ingreso facturación cliente	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090	183.652.090
Total egreso	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556	29.380.556
Total ingreso	329.056.647	329.056.648	329.056.649	329.056.650	329.056.651	329.056.652	329.056.653	329.056.654
Total	299.676.091	299.676.092	299.676.093	299.676.094	299.676.095	299.676.096	299.676.097	299.676.098
Valor acumulado	968.126.113	1.267.802.204	1.567.478.297	1.867.154.391	2.166.830.486	2.466.506.582	2.766.182.679	3.065.858.777

C.1.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

En base al flujo de caja expuesto se calcula la tasa interna de rendimiento, obteniendo el siguiente resultado:

TIR	15%
------------	------------

Tabla C.3: Resultado TIR.

Al ser la tasa de descuento = 10% y TIR = 15%, el proyecto es rentable.

C1.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el flujo de caja proyectada y con una tasa de descuento igual al 10% para un plazo de 15 años. Aplicando la fórmula del VPN se ha obtenido los resultados, cuyo resumen se observa en la figura C.1.

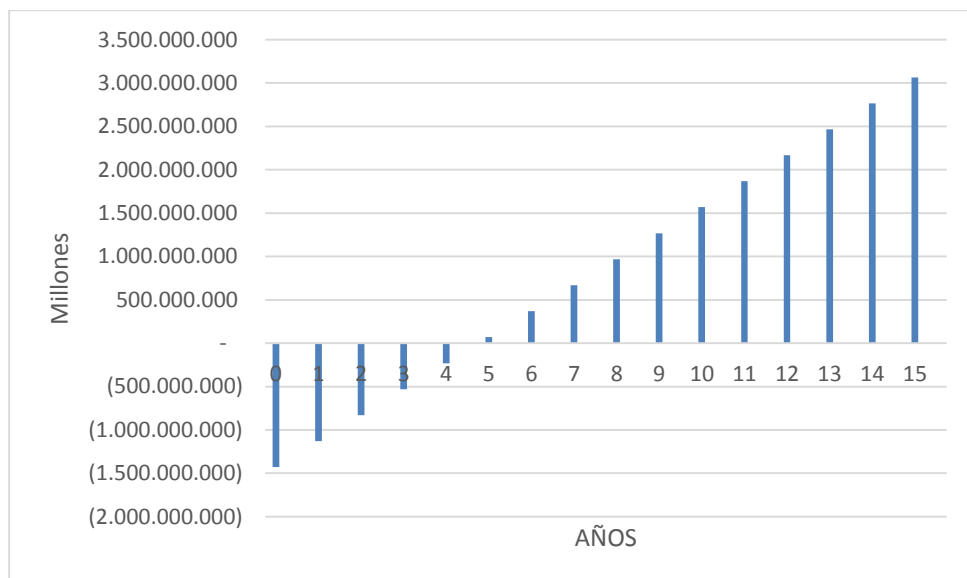


Figura C.1: VPN con una tasa de descuento del 10%.

Los criterios que se tienen en cuenta para ver si el proyecto es rentable, son los siguientes:

$$\text{VPN} < 0; \text{ No rentable.}$$

VPN = 0; Indistinto.

VPN > 0; Rentable

Aplicando la formula al flujo de caja proyectada para 15 años, se obtuvo el siguiente resultado:

VPN	Gs. 2.011.431.153,06
------------	-----------------------------

Tabla C.4: Resultado VPN.

Al ser el VPN > 0, se concluye que el proyecto es rentable.

C.1.4. Determinación del periodo de recuperación de inversión (PRI)

Aplicando la formula expuesta en capítulos anteriores se obtuvo el siguiente resultado:

PRI	4,68
PRI	4 años, 8 meses, 4 días

Tabla C.3: Resultado PRI.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- [1] E. C. Y. B. O'Donell, «Cap. 2: Luz, color y Vision,» de *Iluminacion Eficiente*, Buenos Aires, 2002, pp. 1-30.
- [2] C. C. N. M. A. A. P. V. R. M. Blanca Giménez Vicente, *Magnitudes Fotométricas básicas. Unidades de medida.*, 2007.
- [3] B. M. O. J. D. S. y. F. Paukste, «Cap 4: Fuentes Luminosas,» de *Iluminación Eficiente*, Buenos Aires, 2002, pp. 1-68.
- [4] A. J. Leon, «Cap 4: Iluminacion de exteriores,» de *Lighting*, Honolulu, Hawai, 2007, pp. 63 - 72.
- [5] L. Assaf, « Cap. 7: Sistemas Innovadores de Iluminación,» pp. 1 - 15.
- [6] M. Raitelli, «Cap. 9: El Uso de Computadoras para el Diseño de la Iluminacion,» pp. 1 - 13.
- [7] Z. C. E. Gonzalo, *Plan de Mejoramiento del alumbrado publico de las principales avenidas de la ciudad de Quito mediante la sustitucion por lamparas de induccion*, Quito: Tesis, 2012.
- [8] F. R. O. L. Luis Miguel Lojano Leon, *Mejoramiento del sistema de alumbrado publico de una arteria de circulacion vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitucion por tecnologia LED (Light Emitting Diode)*, Cuenca: Tesis, 2014.
- [9] G. B. Urbita, *Fundamentos de Ingenieria Economica*, Mc. Graw Hill, 2007.
- [10] OSRAM, «NAV-E 250 W SUPER 4Y,» *Hoja de datos de producto*, 2018.
- [11] Intral, «Reactores Hid,» *Luminarias y reactores*, pp. 54 - 58, 2018.
- [12] Ledscene, «Axion L2 V4 150W,» *Hoja de datos*, pp. 1 - 3, 2018.
- [13] Philips, «GreenVision Xceed BRP371/2/3,» *LED Road lighting*, pp. 1 - 24, 2018.
- [14] Luxacril, «Hoja de datos,» *Luxaled*, 2017.
- [15] L. J. Escriva, *APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) AL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS RENOVABLES*, Valencia: Tesis, 2016.
- [16] *Ejemplo de aplicacion de AHP con el software Super Decisions - Manual*.
- [17] M. A. S. Aguilar, *Toma de decisiones con criterios multiples: Un resumen conceptual*, Tesis, 2006.
- [18] M. d. i. vial, *Carreteras, boulevares, entronques, viaductos, paso a desnivel y tuneles*, Mexico, 2015.
- [19] E. L. E. Enrique Piraino Davidson, *ANTEPROYECTO DE NORMA DE ALUMBRADO PUBLICO CON CRITERIO DE EFICIENCIA ENERGETICA*, Valparaiso, 2005.
- [20] «Recomendaciones para el Alumbrado de Calzadas de Tráfico Motorizado y Peatonal” para representar los requerimientos de los usuarios,» de *CIE 115 - 1995*.
- [21] «Road Lighting Calculations” definiendo los métodos,» de *CIE 140 - 2000*.
- [22] Q. 2.14, *Manual de Aprendizaje QGIS*, 2018.

- [23] D. Evo, DIALux evo manual, 2018.
- [24] ANDE, Pliego de tarifas numero 21, 2017.
- [25] ANDE, Pliego de tarifas Numero 20, 2005.
- [26] ANDE, Brazos para artefactos de alumbrado público, 2007.