



Universidad de Carabobo  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Departamento de Potencia



**Aplicación de la tecnología de lámparas LED en sistemas de iluminación pública.**

**Tutor Académico:** Prof. Cesar Ruiz

Tovar, Eduardo A. –C.I:18044685

**Tutor Industrial:** Ing. Esteban Rameix

Palma, Cesar A. – C.I: 19367909

Bárbula, Junio de 2012



Universidad de Carabobo  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Departamento de Potencia



**Aplicación de la tecnología de lámparas LED en sistemas de iluminación pública.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE  
CARABOBO PARA OBTAR AL TITULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**Tutor Académico:** Prof. Cesar Ruiz

Tovar, Eduardo A. –C.I:18044685

**Tutor Industrial:** Ing. Esteban Rameix

Palma, Cesar A. – C.I: 19367909

Bárbula, Junio de 2012



Universidad de Carabobo  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Departamento de Potencia



**Aplicación de la tecnología de lámparas LED en sistemas de iluminación pública.**

**Tutor Académico:** Prof. Cesar Ruiz

Tovar, Eduardo A. –C.I:18044685

**Tutor Industrial:** Ing. Esteban Rameix

Palma, Cesar A. – C.I: 19367909

Bárbula, Junio de 2012

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA DE ELECTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**CERTIFICADO DE APROBACION**

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado **“APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA DE LAMPARAS LED EN SISTEMAS DE ILUMINACION PUBLICA”**, realizado por los bachilleres: **Tovar Eduardo**, Cedula de Identidad: **18.044.685** y **Palma Cesar**, Cedula de Identidad: **19.367.909**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo:

---

Prof. Cesar Ruiz

TUTOR

---

Prof. Verner Hornebo

JURADO

---

Prof. Francisco Naveira

JURADO

Bárbula, junio de 2012

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

A Dios, primero que nada, queremos dedicarle este trabajo y las gracias por las bendiciones recibidas en toda esta trayectoria, por darnos salud y fuerza para poder realizar este sueño que con tanto esmero y dedicación hemos alcanzado.

A nuestros padres y hermanos por ese apoyo incondicional en todo momento Sin el cual no habría sido posible culminar esta carrera universitaria. Además, por todo el apoyo prestado que, sin duda alguna, su colaboración fue de gran importancia para culminar este trabajo.

A los tutores Ing. Rameix y Ruiz por toda la ayuda, asesoramiento y tiempo prestado para que este trabajo especial de grado finalizara de buena manera

## INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	XXVII
CAPITULO I	
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos generales.....	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcance.....	5
CAPITULO II	
MARCO TEORICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases teóricas.....	8
2.2.1 Reseña histórica.....	8
2.2.2 Tecnología LED.....	13
2.2.2.1 Principio de funcionamiento.....	13
2.2.2.2 Tipos de LED.....	15
2.2.2.2.1 LED de baja intensidad.....	15
2.2.2.2.2 LED de alta intensidad.....	17
2.2.2.3 Características básicas.....	18
2.2.2.3.1 Materiales.....	18
2.2.2.3.2 Tamaño.....	18
2.2.2.3.3 Salida de energía.....	18
2.2.2.3.4 Color.....	19
2.2.2.3.5 LED blanco.....	20
2.2.3 Componentes de un sistema LED y su operación.....	21
2.2.3.1 Modelo eléctrico.....	21
2.2.3.2 Interfaz de la corriente térmica.....	22

2.2.3.3 Óptica acoplada.....	23
2.2.4 Limitaciones.....	23
2.2.4.1 Vibración.....	23
2.2.4.2 Humedad.....	23
2.2.4.3 Temperatura.....	24
2.2.4.4 Depreciación de lúmenes.....	24
2.2.5 Iluminación.....	25
2.2.5.1 Espectro luminoso.....	26
2.2.5.2 Sensibilidad a los colores.....	28
2.2.5.3 Efecto Purkinje.....	28
2.2.5.3.1 Mayor eficiencia energética en la tecnología LED.....	31
2.2.5.3.1.1 Geometría óptica adecuada.....	31
2.2.5.3.1.2 Espectro luminoso optimizado.....	31
2.2.5.4 El color como elemento expresivo.....	32
2.2.6 Propiedades cromáticas.....	32
2.2.6.1 Temperatura de color.....	32
2.2.6.2 Índice de rendimiento del color (Ra-IRC).....	33
2.2.7 Concepto sobre luminotecnia.....	35
2.2.8 Diagrama de curva de distribución polar.....	39
2.2.9 Diagrama isocandela.....	41
2.2.10 Curva de isolux.....	43
2.2.11 Factores de utilización.....	44
2.2.11.1 Método de los lúmenes o del factor de utilización.....	45
2.2.12 Criterios de calidad fundamental.....	46
2.2.12.1 Coeficiente de uniformidad.....	46
2.2.12.2 Deslumbramiento.....	47
2.2.12.3 Coeficiente de iluminación en los alrededores.....	48
2.2.13 Disposición de alumbrado público.....	48
2.2.14 Luminarias de alumbrado público.....	50
2.2.15 Clasificación de las luminarias de AP según su característica fotométrica.....	51
2.2.15.1 Luminarias de distribución simétrica.....	51

2.2.15.2 Luminarias de distribución asimétrica.....	52
2.2.16 Tipos de fuentes de luz utilizados en sistema de alumbrado público.....	55
2.2.16.1 Lámparas incandescentes.....	55
2.2.16.2 Lámparas de luz mixta.....	56
2.2.16.3 Lámparas de vapor de mercurio.....	56
2.2.16.4 Lámparas de vapor de sodio alta presión.....	57
2.2.16.5 Lámparas de aditivos y halogenuros metálicos.....	59
2.2.17 Sistema eficiente de iluminación.....	61
2.2.17.1 Eficiencia energética.....	61
2.2.17.2 Factor de mantenimiento.....	61
2.2.18 Especificaciones de GE EVOLE LED serie Cobrahead R150 (ERMC) iluminación media.....	64
2.2.18.1 Características generales.....	64
2.2.18.2 Aplicaciones.....	65
2.2.18.3 Carcasa.....	65
2.2.18.4 Ensamblaje óptico LED.....	66
2.2.18.5 Mantenimiento lumínico.....	68
2.2.18.6 Certificaciones.....	68
2.2.18.7 Montaje.....	68
2.2.18.8 Acabado.....	69
2.2.18.9 Características eléctricas.....	69
2.2.19 Normativas que se refieren a iluminación en Venezuela.....	70
2.2.19.1 Iluminación para el ahorro energético.....	70
2.2.19.2 Característica de iluminación vías según normas Venezolanas (COVENIN 3290-1997).....	73
2.2.20 Normativas que se refieren a iluminación en otros países.....	76

### CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO.....	78
3.1 Tipo de investigación.....	78
3.2 Descripción de la metodología.....	78

3.3 Técnicas es instrumentos de recolección de datos.....	79
3.4 Etapas de la investigación.....	80
3.4.1 Documentación.....	80
3.4.1.1 Recorrido de campo.....	80
3.4.2 Análisis y evaluación de los sistemas existentes.....	81
3.4.2.1 Metodología y calculo.....	81
3.5 Aspectos administrativos.....	82

## CAPITULO IV

4.1 Luminarias utilizadas en alumbrado público.....	83
4.1.1 Luminaria OV-25 250/400 W Na.....	83
4.1.2 Luminaria SRP 822/250 W-400 W Na.....	84
4.1.3 Luminaria M-400 400 W Na.....	86
4.1.4 Luminaria EX 48 250/400 W Na.....	86
4.1.5 Luminaria EX-42 175/150 W.....	88
4.1.6 Luminaria Capri EX-07.....	89
4.1.7 Luminaria EX-39.....	90
4.2 Luminarias GE LED para alumbrado público.....	92
4.2.1 Luminaria Evolve LED Area light.....	92
4.2.1.1 Aplicaciones.....	92
4.2.1.2 Carcasa.....	92
4.2.1.3 Ensamblaje óptico LED.....	92
4.2.1.4 Mantenimiento lumínico.....	93
4.2.1.5 Certificaciones.....	93
4.2.1.6 Montaje.....	93
4.2.1.7 Acabado.....	94
4.2.1.8 Características eléctricas.....	95
4.2.2 Luminaria Evolve LED Floyd light (reflectores para paredes y pasos subterráneos EASM & EAMM).....	95
4.2.2.1 Aplicaciones.....	95
4.2.2.2 Carcasa.....	96

4.2.2.3	Ensamblaje óptico LED.....	96
4.2.2.4	Mantenimiento lumínico.....	96
4.2.2.5	Certificaciones.....	96
4.2.2.6	Montaje.....	97
2.2.2.7	Acabado.....	97
2.2.2.8	Características eléctricas.....	97
4.2.3	Luminaria Evolve LED Area light(Contemporary Domed EAMD).....	104
4.2.3.1	Estructura y material.....	104
4.2.3.2	Equipo eléctrico.....	104
4.2.3.3	Óptica.....	104
4.2.3.4	Tipo de distribución.....	104
4.2.4	Luminaria Evolve LED Post Top (para iluminación de postes decorativos Avery Street Dreams EPAS).....	106
4.2.4.1	Aplicaciones.....	107
4.2.4.2	Carcasa.....	107
4.2.4.3	Ensamblaje óptico LED.....	107
4.2.4.4	Certificaciones.....	108
4.2.4.5	Montaje.....	108
2.2.4.6	Acabado.....	108
2.2.4.7	Características eléctricas.....	108
4.2.5	Luminaria Evolve LED Flood light (reflectores para paredes y pasos subterráneos ETLB).....	110
4.2.5.1	Aplicaciones.....	110
4.2.5.2	Carcasa.....	110
4.2.5.3	Ensamblaje óptico LED.....	110
4.2.5.4	Mantenimiento lumínico.....	111
4.2.5.5	Certificaciones.....	111
4.2.5.6	Montaje.....	111
2.2.5.7	Acabado.....	111
4.2	Normativas internacionales aplicadas a los sistemas de iluminación LEDs.....	115

4.3.1 IESNA LM – 79 Método aprobado para la medición eléctrica y fotométrica de iluminación LED.....	115
4.3.1.1 Introducción.....	115
4.3.1.1.1 Alcance.....	115
4.3.1.1.2 General.....	116
4.3.1.1.3 Definiciones y nomenclatura.....	117
4.3.1.2 Condiciones ambientales.....	118
4.3.1.2.1 General.....	118
4.3.1.2.2 Temperatura ambiente.....	118
4.3.1.2.3 Condiciones Térmicas para el montaje de los productos SSL.....	118
4.3.1.2.4 Movimiento del aire.....	119
4.3.1.3 Características de las fuentes suministradas.....	119
4.3.1.3.1 Forma de onda de la fuente de poder AC.....	119
4.3.1.3.2 Regulación de voltaje.....	119
4.3.1.3.3 Estabilización de los productos LED.....	120
4.3.1.4 Orientación de funcionamiento.....	120
4.3.1.5 Ajustes Eléctricos.....	121
4.3.1.6 Instrumentación eléctrica.....	121
4.3.1.6.1 Circuitos.....	121
4.3.1.6.2 Incertidumbres.....	121
4.3.1.7 Métodos para las mediciones del flujo luminoso total.....	122
4.3.1.7.1 La integración de sistema de esfera.....	122
4.3.1.7.2 Goniómetro.....	123
4.3.1.8 La integración de esfera con un espectro- radiómetro (sistema de esfera espectro- radiómetro).....	123
4.3.1.8.1 Integración de la esfera.....	124
4.3.1.8.2 Geometría de la esfera.....	125
4.3.1.8.3 Principios de medición.....	128
4.3.1.8.4 Espectro radiómetro.....	129
4.3.1.8.5 Corrección de auto absorción.....	130

4.3.1.8.6 Calibración.....	130
4.3.1.9 La integración de esfera con fotómetro (sistema esfera fotómetro).....	130
4.3.1.9.1 Integración de la esfera.....	131
4.3.1.9.2 Geometría de la esfera.....	131
4.3.1.9.3 Principios de medición.....	132
4.3.1.9.4 Fotómetro.....	132
4.3.1.9.5 Corrección de auto absorción.....	133
4.3.1.9.6 Determinación de $f_l'$ y factor de corrección del desajuste espectral.....	133
4.3.1.9.7 Calibración.....	135
4.3.1.10 Goniofotómetro.....	135
4.3.1.10.1 Tipo de goniómetro.....	136
4.3.1.10.2 Principio de medidas para el flujo luminoso total.....	136
4.3.1.10.2 Resolución de escaneo.....	137
4.3.1.10.4 Angulo de cobertura.....	137
4.3.1.10.5 Polarización.....	138
4.3.1.10.6 Fotómetro.....	138
4.3.1.10.7 Calibración.....	139
4.3.1.11 Distribución de la intensidad luminosa.....	139
4.3.1.12 Eficacia luminosa.....	140
4.3.1.13 Métodos de prueba para la característica de color de productos SSL...	140
4.3.1.13.1 Método usando un sistema esfera espectralradiómetro.....	140
4.3.1.13.2 Método usando un espectralradiómetro o colorímetro espacialmente escaneados.....	141
4.3.1.13.3 Parámetros de los espectralradiómetros que afectan medidas características de color.....	143
4.3.1.13.4 Cálculos colorimétricos.....	144
4.3.1.13.5 No-Uniformidad espacial de cromaticidad.....	144
4.3.1.14 Comunicado de incertidumbre.....	144
4.3.1.15 Informe.....	145
4.3.1.16 Anexos.....	146

4.3.2 IESNA LM – 80 Método aprobado para pruebas de mantenimiento del lumen para fuentes de luz LED.....	151
4.3.2.1 Introducción.....	151
4.3.2.2 Alcance.....	152
4.3.2.3 Referencias.....	152
4.3.2.3.1 Referentes normativos.....	152
4.3.2.3.2 Referentes no normativos.....	153
4.3.2.4 Definiciones.....	153
4.3.2.4.1 Unidades de medición.....	153
4.3.2.4.2 Fuentes de luz LED.....	153
4.3.2.4.3 Mantenimiento del lumen.....	153
4.3.2.4.4 Vida de mantenimiento del lumen.....	154
4.3.2.4.5 Falla de una fuente de luz LED.....	154
4.3.2.4.6 Tiempo de vida nominal (Lp).....	154
4.3.2.4.7 Temperatura (Ts).....	154
4.3.2.5 Condiciones ambientales y físicas.....	155
4.3.2.5.1 General.....	155
4.3.2.5.2 Marca de la unidad LED.....	155
4.3.2.5.3 Selección de muestra.....	155
4.3.2.5.4 Condiciones ambientales.....	156
4.3.2.5.4.1 Vibración.....	156
4.3.2.5.4.2 Temperatura y humedad.....	156
4.3.2.5.4.3 Flujo de aire.....	156
4.3.2.5.4.4 Orientación y espaciamiento.....	156
4.3.2.6 Condiciones térmicas y eléctricas.....	157
4.3.2.1 Corriente y voltaje de entrada.....	157
4.3.2.2 Forma de onda del voltaje de línea.....	157
4.3.2.3 Regulación de la corriente de entrada.....	157
4.3.2.4 Equipos auxiliares.....	157
4.3.2.5 Temperatura de la carcasa.....	157
4.3.2.7 Procedimiento de mediciones y prueba.....	158

4.3.2.7.1 Instrumentación.....	158
4.3.2.7.2 Mediciones fotométricas.....	158
4.3.2.7.3 Temperatura de las mediciones fotométricas.....	158
4.3.2.8 Método para prueba de mantenimiento del lumen de fuentes de luz LED.....	159
4.3.2.8.1 Duración en intervalos para la prueba de mantenimiento del lumen.....	159
4.3.2.8.2 Ciclo de funcionamiento.....	159
4.3.2.8.3 Registro de fallas.....	159
4.3.2.8.4 Cromaticidad.....	160
4.3.2.9 Informe de Prueba.....	160
4.4 Comparación técnico económica de los sistemas de iluminación LEDs con los convencionales aplicados al alumbrado público.....	161
4.4.1 Comparación fotométrica.....	161
4.4.1.1 Curvas de distribución polar.....	162
4.4.1.2 Eficacia.....	164
4.4.1.3 Factor de utilización.....	165
4.4.1.4 IRC y temperatura de color.....	166
4.4.1.5 Curva de depreciación del flujo luminoso VS hora de vida.....	167
4.4.2 Comparación energética.....	169
4.4.2.1 Luminaria GE M-250 A2 Sodio Alta Presión (SAP).....	169
4.4.2.1.1 Numero de luminaria por circuito.....	169
4.4.2.1.2 Numero de luminaria en el sistema.....	170
4.4.2.1.3 Potencia consumida por el balastro.....	170
4.4.2.1.4 Potencia consumida por el sistema lámpara-balastro.....	170
4.4.2.1.5 Potencia consumida por circuito.....	170
4.4.2.1.6 Potencia consumida por el sistema.....	171
4.4.2.1.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año.....	171
4.4.2.1.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año.....	171

4.4.2.2 Luminaria GE M-250 A2 Metal Halide (HM).....	171
4.4.2.1.1 Numero de luminaria por circuito.....	172
4.4.2.1.2 Numero de luminaria en el sistema.....	172
4.4.2.1.3 Potencia consumida por el balastro.....	172
4.4.2.1.4 Potencia consumida por el sistema lámpara-balastro.....	172
4.4.2.1.5 Potencia consumida por circuito.....	172
4.4.2.1.6 Potencia consumida por el sistema.....	173
4.4.2.1.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año.....	173
4.4.2.1.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año.....	173
4.4.2.3 Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (SAP).....	174
4.4.2.1.1 Numero de luminaria por circuito.....	174
4.4.2.1.2 Numero de luminaria en el sistema.....	174
4.4.2.1.3 Potencia consumida por el balastro.....	174
4.4.2.1.4 Potencia consumida por el sistema lámpara-balastro.....	174
4.4.2.1.5 Potencia consumida por circuito.....	175
4.4.2.1.6 Potencia consumida por el sistema.....	175
4.4.2.1.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año.....	175
4.4.2.1.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año.....	175
4.4.2.4 Luminaria GE M-400 Metal Halide (HM).....	176
4.4.2.1.1 Numero de luminaria por circuito.....	176
4.4.2.1.2 Numero de luminaria en el sistema.....	176
4.4.2.1.3 Potencia consumida por el balastro.....	176
4.4.2.1.4 Potencia consumida por el sistema lámpara-balastro.....	177
4.4.2.1.5 Potencia consumida por circuito.....	177
4.4.2.1.6 Potencia consumida por el sistema.....	177
4.4.2.1.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año.....	177

4.4.2.1.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año.....	178
4.4.2.5 Luminaria GE Evolve LED Roadway Lighting- Medium Cobrahead...	178
4.4.2.1.1 Numero de luminaria por circuito.....	178
4.4.2.1.2 Numero de luminaria en el sistema.....	178
4.4.2.1.3 Potencia consumida por circuito.....	179
4.4.2.1.4 Potencia consumida por el sistema.....	179
4.4.2.1.5 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año.....	179
4.4.2.1.6 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año.....	179
4.4.3 Caída de tensión.....	180
4.4.3.1 Caída de tensión para luminarias M-250.....	181
4.4.3.2 Caída de tensión para luminarias M-400.....	181
4.4.3.3 Caída de tensión para luminarias Evolve LED serie Cobrahead R150 (ERMC).....	182
4.4.4 Comparación económica del sistema de iluminación convencional ya instalado con el sistema LED proyectado.....	183
4.4.4.1 Luminaria GE M-250 A2.....	183
4.4.4.1.1 Costo de la inversión.....	183
4.4.4.1.2 Costo de energía por año.....	183
4.4.4.1.3 Costo por renovación de las lámparas.....	184
4.4.4.1.3.1 Lámpara vapor de sodio alta presión.....	184
4.4.4.1.3.2 Lámpara de halogenuros metálicos.....	189
4.4.4.1.4 Costo de limpieza a las luminarias por año.....	185
4.4.4.1.5 Costo de reparación del sistema por año.....	185
4.4.4.1.5.1 Lámpara vapor de sodio alta presión.....	186
4.4.4.1.5.2 Lámpara de halogenuros metálicos.....	186
4.4.4.2 Luminaria GE M-400.....	186
4.4.4.2.1 Costo de la inversión.....	186
4.4.4.2.2 Costo de energía por año.....	187

4.4.4.2.3	Costo por renovación de las lámparas.....	187
4.4.4.2.3.1	Lámpara vapor de sodio alta presión.....	187
4.4.4.2.3.2	Lámpara de halogenuros metálicos.....	188
4.4.4.2.4	Costo de limpieza a las luminarias por año.....	189
4.4.4.2.5	Costo de reparación del sistema por año.....	189
4.4.4.2.5.1	Lámpara vapor de sodio alta presión.....	189
4.4.4.2.5.2	Lámpara de halogenuros metálicos.....	189
4.4.4.3	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM.....	190
4.4.4.3.1	Costo de la inversión.....	190
4.4.4.3.2	Costo de energía por año.....	190
4.4.4.3.3	Costo por renovación de las lámparas.....	191
4.4.4.3.4	Costo de limpieza a las luminarias por año.....	191
4.4.4.3.5	Costo de reparación del sistema por año.....	191
4.4.4.4	Resumen.....	192
4.4.5	Análisis económico.....	194
4.4.5.1	Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (SAP).....	194
4.4.5.2	Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM).....	195
4.4.5.3	Luminaria CE M-400 Vapor de Sodio (SAP).....	196
4.4.5.4	Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM).....	197
4.4.5.5	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM.....	198
4.4.6	Comparación económica del sistema de iluminación LED y convencional en Venezuela con otros países.....	200
4.4.6.1	Costo de energía en España.....	200
4.4.6.1.1	Luminaria GE M-250A2.....	200
4.4.6.1.2	Luminaria GE M-400.....	200
4.4.6.1.3	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM.....	201
4.4.6.2	Costo de energía en México.....	201
4.4.6.2.1	Luminaria GE M-250A2.....	201
4.4.6.2.2	Luminaria GE M-400.....	201
4.4.6.2.3	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM.....	201
4.4.6.3	Resumen.....	202

4.4.7	Análisis económico por costos de energía de España.....	202
4.4.7.1	Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (SAP).....	203
4.4.7.2	Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM).....	204
4.4.7.3	Luminaria CE M-400 Vapor de Sodio (SAP).....	205
4.4.7.4	Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM).....	206
4.4.7.5	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC.....	207
4.4.8	Análisis económico por costos de energía de México.....	208
4.4.8.1	Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (SAP).....	208
4.4.8.2	Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM).....	209
4.4.8.3	Luminaria CE M-400 Vapor de Sodio (SAP).....	210
4.4.8.4	Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM).....	211
4.4.8.5	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC.....	212
4.5	Corrida piloto en DIALUX.....	214
4.5.1	Corrida en la Av. Monseñor Adams.....	214
4.5.1.1	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC.....	214
4.5.1.2	Luminaria GE M-250A2 Sodio Alta Presión (SAP).....	219
4.5.1.3	Luminaria GE M-250A2 Metal Halide (EPMH).....	224
4.5.1.4	Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (SAP).....	229
4.5.1.5	Luminaria GE M-400 Metal Halide (EPMH).....	234
4.5.2	Corrida en la Av. Monseñor Adams (recomendado).....	239
4.5.2.1	Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC.....	239
4.5.3	Resumen.....	244
4.6	Mediciones de campo.....	246
4.6.1	Vías con luminarias convencionales.....	247
4.6.1.1	Comprobación de los niveles de iluminancia a través del método de los nueve puntos.....	247
4.6.1.2	Medición punto a punto con el luxómetro.....	248
4.6.2	Vía con luminaria LED (después).....	249
4.6.2.1	Comprobación de los niveles de iluminancia a través del método de los nueve puntos.....	249
4.7	Protocolo de prueba LM-79 y LM-80.....	250
4.8	Tipificación de los sistemas de iluminación pública.....	255

## CAPITULO V

CONCLUSIONES.....	257
RECOMENDACIONES.....	259

BIBLIOGRAFIA.....	261
-------------------	-----

## ANEXOS

A1.APU S/C de lámpara de Sodio Alta Presión para M-250.....	264
A2.APU S/C de lámpara de Sodio Alta Presión para M-400.....	265
A3.APU S/C de lámpara de Halogenuro Metálico para M-250.....	266
A4.APU S/C de lámpara de Halogenuro Metálico para M-400.....	267
A5.APU Limpieza de Luminarias.....	268
A6.APU S/R de Equipos de Luminaria M-250 lámpara SAP.....	269
A7.APU S/R de Equipos de Luminaria M-250 lámpara HM.....	270
A8.APU S/R de Equipos de Luminaria M-400 lámpara SAP.....	271
A9.APU S/R de Equipos de Luminaria M-400 lámpara HM.....	272
A10.APU S/C de Luminaria GE LED alumbrado público.....	273
A11.APU S/C de Luminaria M-250.....	274
A12.APU S/C de Luminaria M-400.....	275
A13.Recomendaciones de distancia interpostal según recomendaciones Europeas.....	276
A13.1 Iluminación de una vía urbana. (A través de recomendaciones).....	276
A13.1.1 Dimensiones.....	276
A13.1.2 Características.....	276
A13.1.3 Nivel medio de iluminación.....	276
A13.2 Luminaria GE M-250A2 Sodio Alta Presión (HPS).....	276
A13.2.1 Altura del punto de luz.....	276
A13.2.2 Separación entre postes.....	277
A13.3 Luminaria GE M-250A2 Metal Halide (EPMH).....	277
A13.3.1 Altura del punto de luz.....	277
A13.3.2 Separación entre postes.....	277
A13.4 Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (HPS).....	278

A13.4.1	Altura del punto de luz.....	278
A13.4.2	Separación entre postes.....	278
A13.5	Luminaria GE M-400 Metal Halide (EPMH).....	278
A13.5.1	Altura del punto de luz.....	279
A13.5.2	Separación entre postes.....	279
A13.6	Luminaria GE EVOLVE LED Roadway Lighting- Medium Cobrahead.....	279
A13.6.1	Altura del punto de luz.....	279
A13.6.2	Separación entre postes.....	279
A14.	Cálculo de la máxima cantidad de luminarias GE EVOLVE LED ROADWAY LIGHTING- MEDIUM COBRAHEAD. Cumpliendo con los requerimientos de caída de tensión.....	280
A14.1	Disposición unilateral, sistema monofásico, 3 hilos 120/240V ó 240/480V.....	280
A14.2	Disposición unilateral, sistema trifásico, 4 hilos 208 Y/120V.....	281
A14.3	Máxima de cantidad de luminarias.....	282
A.15	Periodicidad o frecuencia de mantenimiento.....	283
A.16	Fotos de las luminarias GE LED en el mercado Venezolano.....	286
A.17	Fotos de las mediciones realizadas en la Av. Monseñor Adams Valencia. Venezuela.....	290
A.18	Contaminación por mercurio.....	288
A.19	Lámpara de inducción electromagnética (IEM).....	290
A19.1	Clasificación de las lámparas de Inducción Electromagnética.....	290
A19.2	Comparacion Tecnica de luminarias con tecnologia LED – induccion Magnetica- HID cosmopolis.....	293
A.20	Glosario.....	313

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Partes de un LED.....	9
Figura 2.2: Evolución de eficacia de la tecnología SSL reportado por laboratorios estándar.....	11
Figura 2.3: Elementos importantes para la construcción de los LEDs.....	13
Figura 2.4: Los sistemas LED.....	14
Figura 2.5: T-1 ¾ o LED de 5mm.....	16
Figura 2.6: LEDs de alto brillo.....	16
Figura 2.7: LED de media y alta potencia.....	17
Figura 2.8: Coordenadas cromáticas de LED típico de una sola longitud de onda.....	19
Figura 2.9: El diagrama ilustra la principal combinación de color rojo, verde y azul.....	20
Figura 2.10: Modelo eléctrico del LED.....	22
Figura 2.11: Espectro electromagnético.....	25
Figura 2.12: Espectro luminoso del sol.....	27
Figura 2.13: Ojo Humano.....	29
Figura 2.14: Curva de sensibilidad relativa.....	30
Figura 2.15: Diagrama de la cromaticidad de la CIE, lugar geométrico de Planck.....	34
Figura 2.16: Representación grafica del sistema de coordenadas de la intensidad luminosa.....	40
Figura 2.17: Curva de distribución luminosa.....	40
Figura 2.18: Diagrama isocandela.....	41
Figura 2.19: Diagrama que permite informar sobre el alcance y la dispersión de la luminaria....	42
Figura 2.20: Curva isolux expresada en valores absolutos.....	43
Figura 2.21: Curvas del factor de utilización.....	45
Figura 2.22: Ejemplo de cálculo mediante curvas del factor de utilización.....	46
Figura 2.23: Espacio de medición del SR.....	48
Figura 2.24: Disposiciones del alumbrado público para una calzada.....	49
Figura 2.25: Disposiciones del alumbrado público para doble calzada.....	50
Figura 2.26: Diagrama polar de I <sub>max</sub> .....	53
Figura 2.27: Ilustración del diagrama isocandela proyectado en la calzada.....	54
Figura 2.28: Lámpara de luz mixta.....	56
Figura 2.29: Partes constructiva de la lámpara de vapor de mercurio y su circuito de conexión...57	57

Figura 2.30: Partes constructiva de la lámpara de sodio alta presión y su circuito de conexión...	58
Figura 2.31: Partes constructiva de la lámpara de aditivo metálicos y su circuito de conexión...	60
Figura 2.32: Partes constructiva de la lámpara de Halogenuros metálicos y su circuito de conexión.....	60
Figura 2.33: Luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	65
Figura 2.34: Parte interna de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	66
Figura 2.35: Asimétrica ancho (A3) de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	67
Figura 2.36: Asimétrica corto (A6) de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	67
Figura 2.37: Dimensiones de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	68
Figura 3.1: Avenida donde se realiza la corrida piloto Edo. Carabobo.....	81
Figura 4.1: Luminaria OV-25.....	83
Figura 4.2: Luminaria SRP.....	84
Figura 4.3: Dimensiones de la luminaria SRP.....	84
Figura 4.4: Curvas isolux y factor de utilización de la luminaria para lámpara de 400-600W.....	85
Figura 4.5: Luminaria M-400.....	86
Figura 4.6: Luminaria EX-48.....	87
Figura 4.7: Dimensiones de la luminaria EX-48.....	87
Figura 4.8: Luminaria EX-42.....	88
Figura 4.9: Dimensiones de la luminaria EX-42.....	88
Figura 4.10: Luminaria EX-07.....	89
Figura 4.11: Dimensiones de la luminaria EX-07.....	90
Figura 4.12: Luminaria EX-39.....	91
Figura 4.13: Dimensiones de la luminaria EX-39.....	91
Figura 4.14: Dimensiones de la luminaria GE EVOLVE LED Area Light.....	94
Figura 4.15: Dimensiones de la luminarias medianas modulares dobles (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light (opción B).....	98
Figura 4.16: Dimensiones de la luminarias medianas modulares dobles (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light (opción C).....	98

Figura 4.17: Dimensiones de la luminarias medianas modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light (opción B).....	99
Figura 4.18: Dimensiones de la luminarias medianas modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light (opción C).....	100
Figura 4.19: Fotometría de las luminarias medianas modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V 14.800 lúmenes (GE454491.ies).....	101
Figura 4.20: Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V, simétrica corta 14.800 lúmenes (GE454517.ies).....	101
Figura 4.21: Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V 14.800 lúmenes (GE454491.ies).....	102
Figura 4.22: Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo III- Asimétrica ancha 14.800 lúmenes (GE454510.ies).....	102
Figura 4.23: Fotometría de la luminarias pequeñas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V- Simétrica mediana 14.800 lúmenes (GE454491.ies).....	103
Figura 4.24: Fotometría de la luminarias pequeñas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V- Simétrica corta 14.800 lúmenes (GE454517.ies).....	103
Figura 4.25: Fotometrías de la luminarias: Tipo III distribución asimétrica (tipo calle), Tipo IV distribución asimétrica, Tipo V distribución asimétrica. Luminaria Evolve LED Área Light....	105
Figura 4.26: Montaje de la luminaria Evolve LED Área Light (Contemporary Domed EAMD).....	106
Figura 4.27: Dimensiones de la luminaria Evolve LED Post Top (para iluminación de postes decorativos Avery StreetDreams EPAS).....	109
Figura 4.28: Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB).....	112
Figura 4.29: Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) (2da configuración).....	112
Figura 4.30: Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) (3ra configuración).....	113
Figura 4.31: Dimensiones de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) - montados en pared.....	113

Figura 4.32: Dimensiones de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) – montados al techo.....	114
Figura 4.33: Recomendaciones de la geometría de la esfera para mediciones de flujo luminoso total usando espectro-radiómetro.....	125
Figura 4.34: Condiciones de montaje de productos LEDs bajo prueba. (a) Montaje de productos LED con espacio cerrado.....	126
Figura 4.35: Recomendaciones geométricas de la esfera para una medición total del flujo luminoso.....	134
Figura 4.36: Geometría de la medición de cromaticidad usando un goniofotómetro para un producto LED que tiene una emisión unidireccional.....	142
Figura 4.37: Curva de distribución polar de luminarias convencionales.....	162
Figura 4.38: Curva de distribución polar de luminaria LED ERMC Cobrahead.....	163
Figura 4.39: Distribución Luminosa de la luminaria LED VS M-250 SAP sobre una calzada...165	
Figura 4.40: Factor de utilización (a) Luminaria LED evolve Cobrahead, (b) Luminaria M-250 SAP.....	166
Figura 4.41: Depreciación de los lúmenes de la luminaria a lo largo de su vida útil.....	168
Figura 4.42: Representación de los 9 puntos sobre la calzada de la Av. Monseñor Adams vista desde la luminaria 1.....	247
Figura 4.43: Representación punto a punto sobre la calzada de la Av. Monseñor Adams.....	248
Figura A.1: Alimentación de luminarias de un sistema monofásico, disposición unilateral.....	280
Figura A.2: Alimentación de luminarias disposición de transformadores.....	281
Figura A.3: Alimentación de luminarias de un sistema trifásico, disposición unilateral.....	281
Figura A.4: Alimentación de luminarias de un sistema trifásico.....	282
Figura A.5: Luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead vista inferior .....	286
Figura A.6: Luminaria GE Evolve LED Cobrahead .....	286
Figura A.7: Luminaria GE Evolve LED Flood Light EFMU.....	286
Figura A.8: Luminaria GE F150 LED FLOOD.....	287
Figura A.9: Lámpara de Inducción Electromagnética interna.....	290
Figura A.10: Lámpara de Inducción Electromagnética externa.....	291

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Sensaciones visuales.....	26
Tabla 2.2: Radiaciones discontinuas.....	27
Tabla 2.3: Tonalidad de los colores.....	32
Tabla 2.4: Temperatura de color de acuerdo al tipo de iluminación.....	33
Tabla 2.5: Índice de rendimiento de acuerdo al tipo de luz artificial.....	34
Tabla 2.6: Índice de deslumbramiento.....	47
Tabla 2.7: Relación entre la anchura de la vía y la altura del montaje según la disposición.....	49
Tabla 2.8: Clasificación de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	66
Tabla 2.9: Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).....	69
Tabla 2.10: Vías urbanas.....	73
Tabla 2.11: Vías rurales.....	74
Tabla 2.12: Áreas públicas para estacionamiento de vehículos.....	74
Tabla 2.13: Áreas públicas de circulación de peatones.....	75
Tabla 2.14: Valores mantenidos recomendados de los parámetros de alumbrado público según la C.I.E.....	76
Tabla 2.15: Recomendaciones Europeas para la disposición de las luminarias.....	76
Tabla 2.16: Altura recomendable de las luminarias de acuerdo a la emisión de lúmenes de la lámpara (Recomendaciones Europeas).....	77
Tabla 2.17: Recomendaciones Europeas de la relación entre la distancia interpostal sobre la altura de montaje de la luminaria.....	77
Tabla 4.1: Tipo de lámpara para luminaria M-400.....	86
Tabla 4.2: Tipo de lámpara para luminaria EX-48.....	87
Tabla 4.3: Tipo de lámpara para luminaria EX-42.....	89
Tabla 4.4: Tipo de lámpara para luminaria EX-07.....	90
Tabla 4.5: Tipo de lámpara para luminaria EX-39.....	91
Tabla 4.6: Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Area Light.....	94
Tabla 4.7: Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Floyd Light opción B.....	99
Tabla 4.8: Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Floyd Light opción C.....	100
Tabla 4.9: Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Post Top.....	110

Tabla 4.10: Datos de la luminaria Flood Light Reflectores.....	114
Tabla 4.11: Eficacia entre las luminarias.....	164
Tabla 4.12: Curva de distribución polar de luminarias convencionales.....	167
Tabla 4.13: Resumen fotométrico comparativo.....	168
Tabla 4.14: Valores de KVAm de los conductores de cobre y aluminio para caída de tensión del 2.5% para un factor de potencia 0.9. Conductores aislados.....	180
Tabla 4.15: Tabla resumen de la comparación energética entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED.....	192
Tabla 4.16: Tabla resumen de la comparación luminotécnica entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED a través del software Dialux (C.I.E).....	244
Tabla 4.17: Tabla resumen de la comparación luminotécnica entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED a través del software Dialux (ANSI/IEEE RP-8).....	245
Tabla 4.18: Resultados de iluminancia obtenido en cada uno de los 9 puntos sobre la calzada.....	247
Tabla 4.19: Resultados de iluminancia obtenido en cada punto sobre la calzada.....	248
Tabla 4.20: Resultados de iluminancia obtenido en cada uno de los 9 puntos sobre la calzada.....	249
Tabla 4.21: Cuadro comparativo de las mediciones realizadas (antes y después) contra las teóricas obtenidas en el software DIALUX.....	249
Tabla 4.22: Resumen de pruebas de Lúmenes en el tiempo.....	253
Tabla A.1: Control de luminarias del circuito de estudio.....	284

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 4.1: Emisión de Kg CO2 por luminaria al año.....	193
Gráfica 4.2: Energía consumida al año (KW) del sistema de iluminación de estudio.....	193
Gráfica 4.3: Comparación de los costos expresados en valor actual.....	199
Gráfica 4.4: Comparación de los costos por concepto de energía anual de las distintas luminarias en Venezuela, España y México.....	202
Gráfica 4.5: Comparación del valor actual de las luminarias señaladas, considerando los costos por concepto de energía en España.....	213
Gráfica 4.6: Comparación del valor actual de las luminarias señaladas, considerando los costos por concepto de energía en México.....	213
Gráfica A.1: Causa de falla en porcentaje.....	285
Gráfica A.2: Representación de las luminarias operativas.....	285

## INTRODUCCION

Este trabajo tiene como finalidad realizar un análisis de la aplicación de la tecnología LED en sistemas de iluminación pública, comparándose técnica y económicamente con las luminarias convencionales, ya que, en otros países han comenzado a utilizar luminarias tipo LED en alumbrado público debido a los beneficios que esta tecnología está dispuesta a entregar, siendo una de ellas el rendimiento energético y ambiental, tema que ha sido muy controversial en estos últimos tiempos tanto aquí en Venezuela como en el mundo.

El trabajo consta de cinco capítulos, el primero de los cuales muestra el planteamiento del problema, los objetivos que se han planteado, la justificación del problema y el alcance.

En el segundo capítulo están incluidos los antecedentes de la investigación y las bases teóricas que abarca todo lo que se debe tener en cuenta para la realización de este proyecto como la reseña histórica de los LED, como están constituidas, conceptos de luminotecnia y normas que pueden sustentar dicho proyecto.

El capítulo tres establece como se llevara a cabo la metodología de los objetivos planteados, a través de las investigaciones, mediciones de muestras, equipos, normas y cualquier otra herramienta que permita el progreso para concluir los objetivos en este trabajo.

El cuarto capítulo contiene las especificaciones técnicas de las luminarias a comparar para luego realizar un análisis técnico-económico entre las luminarias convencionales y tipo LED; así como también una corrida piloto a través del software DIALUX.

Y por último el capítulo cinco donde está incluido las conclusiones y recomendaciones obtenidas de los resultados obtenidos en el capítulo cuatro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ``Clases de lámparas de descarga``,  
Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/ldesc2.html#lfluor>.
2. Capitulo 13, ``Alumbrado de calles y carreteras``, Manual del alumbrado, Westinghouse, editorial dossat, s.a., 3ª edición reimpresión 1980.
3. ``Uso eficiente de la energía eléctrica``, CORPOELEC, sección: gestión social y ambiental, fuente: <http://www.corpoelec.gob.ve/gestión-social-y-ambiental>, 29 de Abril de 2011.
4. ``Luz LED para túnel``, sección Productos, Fuente: <http://www.golf-lighting.es/4-tunnel-light.html>.
5. Iluminación sostenible, Alumbrado LED Evolve, GE iluminación extraído de [www.gelighting.com](http://www.gelighting.com), enero 2011.
6. ``LEDs: Ecología & Economía``, <http://www.outsidebcn.com/iluminacion-led-ecologia-ahorro-energia.php>, enero 2011.
7. ``La mayor instalación de lámparas en América Latina``, Autor: Gabriela Romero Martes, Fuente:  
[http://www.centrourbano.com/10/index.php?option=com\\_igallery&view=gallery&id=6&Itemid=66#](http://www.centrourbano.com/10/index.php?option=com_igallery&view=gallery&id=6&Itemid=66#), sección: En El Economista- Construcción, Fecha: 11 de Enero de 2011.
8. ``Tecnología LED iluminará las carreteras de Latinoamérica``, Autor: Elianne Gonzalez, Fuente: <http://www.tuvozentuvida.com/2011/01/31/tecnologia-led-autos-latinoamerica/>, Al volante, Tecnología, 31 de enero de 2011.
9. ``Programa de ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación del instituto universitario de tecnología "José Antonio Anzoátegui"``', Anaco Ing.Veltri Rosal, Roberto Carlos Anaco, Julio de 2002 República Bolivariana de Venezuela Ministerio de educación superior Instituto universitario de tecnología "José Antonio Anzoátegui" Departamento de investigación El tigre.
10. ``Uso de LEDs en la iluminación. Historia de los LEDs``. Fuente: <http://infoleds.wordpress.com/historia-de-los-leds/>, 20 agosto 2011.
11. ``Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente``. Autor Cristian Mauricio Landacay

- Jaramillo. Universidad técnica particular de Loja (La Universidad Católica De Loja) Loja-Ecuador 2009.
12. Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009.
  13. Espectro luminoso del sol: Fuente:  
<http://laurapmateo.blogspot.com/2010/03/la-percepcion-visual.html>
  14. Visión escotópica y fotópica, Fuente: <http://www.ruudled.net/education/photopic2.php>
  15. ``Desarrollo de un marco metodológico orientado al mantenimiento de sistemas de iluminación vial``. Autor Patty Ferrer. Universidad De Carabobo. Junio 2006.
  16. Data sheet Fuente: <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41>
  17. Gaceta Oficial, Resolución N° 73. 201° y 152°. Ministerio del poder popular para la energía eléctrica, Caracas 10 Junio de 2011.
  18. Gaceta Oficial, Resolución N° 77. 201° y 152°. Ministerio del poder popular para la energía eléctrica, Caracas 10 Junio de 2011.
  19. Empresa mexicana Promise proveedora de seguridad industrial y material eléctrico, Fuente:[http://www.prosime.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83&Itemid=64](http://www.prosime.com/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=64)
  20. Catalogo de luminarias para alumbrado público Philips.
  21. Corporación OBRAMAT, luminaria M-400, <http://www.obramat.com.ve/Luminaria-M-400-Importada.html>
  22. Catalogo de luminarias de Obralux, <http://www.obralux.com/producto.asp-categoria=EX&ID=EX-48.htm#>
  23. Catalogo de productos online de la General Electric :  
<http://www.gelightingsolutions.com/products--solutions/outdoor-lighting/roadway-lighting/street-lighting>
  24. Paper: ``Metodología Aplicada para el Cálculo de la Energía Eléctrica en Sistemas de Alumbrado Público`` Autores: Miguel Ereu/ José Omar. 2006

# CAPÍTULO 1

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una autopista es una vía de circulación de automóviles y vehículos terrestres de carga, rápida, segura y además admite un volumen de tráfico considerable. Esta posee una serie de características que la diferencian claramente de una carretera normal. Algunas de las autopistas más importantes de Venezuela poseen túneles a lo largo de su trayecto que sirven para facilitar el paso de circulación de vehículos ante zonas de relieves especialmente abruptos (normalmente montañas).

El sistema de iluminación más utilizado en las vías en Venezuela está conformado principalmente por lámparas de tipo de sodio de baja presión, sodio de alta presión y fluorescentes estándar.

Las lámparas de vapor de sodio de baja presión poseen un alto rendimiento luminoso de hasta 140 lm/W y una vida útil entre 14.000 y 36.000 horas; las lámparas de vapor de sodio de alta presión poseen una eficiencia luminosa de aproximadamente 75 lm/W a 130 lm/W, su tiempo de vida útil está entre 10.000 y más de 36.000 horas; las lámparas fluorescentes estándar tienen un rendimiento que varía entre 50 lm/W a 90 lm/W poseen una vida útil entre 5.000 y 15.000 horas. Todos estos valores dependen del mantenimiento en las luminarias, las lámparas antes mencionadas en las vías consumen entre 70W a 400W por cada lámpara.[1]

Se sabe que la iluminación en vías públicas tiene como principales fundamentos proporcionar la seguridad del tráfico, luchar contra la delincuencia y promover el desarrollo social dentro del país, donde su principal objetivo se basa en generar la cantidad y calidad de iluminación requerida para una rápida y cómoda seguridad nocturna.[2]

Actualmente, existen varios factores que hacen que la iluminación de las vías en Venezuela se hayan deteriorado, los cuales son: falta de mantenimiento del sistema eléctrico de las luminarias de alumbrado público, vandalismo y el exceso de uso de las lámparas en horas no requeridas. A parte de esto, existen algunas problemáticas de seguir utilizando las lámparas antes mencionadas dentro del país como el alto consumo energético y en algunos equipos de iluminación estos poseen bajo rendimiento. Debido a los planes de racionamiento energético en el país se están viendo afectados los sistemas de iluminación vial, lo cual causa una incomodidad a la población y permitiría que se generaran más accidentes automovilísticos. [3]

Es por esto que se plantea un nuevo sistema de alumbrado tipo LED en las vías, que está a la vanguardia y cumple con los requerimientos de ahorro energéticos proyectados hacia el futuro, en la actualidad hay países que ya han incursionado en el manejo de esta tecnología en sus principales vías, países como: EE.UU., Canadá, Rusia, Francia, Gran Bretaña, India, Brasil, Australia, Israel, Irak, entre otros. [4]

Con esta tecnología se puede obtener hasta un 45% de ahorro energético en el alumbrado público, alta eficiencia luminosa, larga vida útil, libre de mantenimiento, disminuye la contaminación lumínica hacia el medio ambiente, son 70% más eficientes que las lámparas de sodio de alta presión y un 90% más eficientes que las lámparas incandescentes.[5]

De poder utilizar esta tecnología en Venezuela se podría gozar de todas las características antes mencionados ya General Electric, Phillips y otras están realizando investigaciones importantes para introducir esta tecnología en el mercado haciéndola competitiva con los otros productos.[6]

## **1.2 OBJETIVOS GENERALES**

- Analizar la tecnología LEDs como fuente de luz alternativa aplicada a sistemas de iluminación vial.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los diferentes tipos de lámparas utilizadas en la iluminación vial en la actualidad mediante información suministrada por la empresa General Electric a través de catálogos y revistas con la finalidad de indicar cuál es la luminaria mas especifica que se adapte al sistema de iluminación vial de Venezuela.
- Realizar una recopilación de normativas internacionales aplicadas a los sistemas de iluminación LEDs para poder estudiar su aplicabilidad en el país.
- Revisar la aplicación de iluminación vial utilizando LEDs considerando todos los factores técnicos y la influencia que tendrían en la sociedad Venezolana comparando técnica y económicamente la nueva tecnología con la convencional de vapor de sodio de alta presión y halogenuro metálico.
- Realizar corridas pilotos de aplicación en vías típicas en Venezuela utilizando el software Dialux que permita hacer los cálculos con las luminarias a estudiar comparando con las mediciones que se van a efectuar en el campo.
- Tipificar los productos aplicables a los sistemas de iluminación vial para plantear una normalización de las lámparas LED aplicable a Venezuela.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

La tecnología LEDs, aplicada en la iluminación vial al servicio de los Venezolanos, podría ahorrar energía y consecuentemente la emisión de gases de invernadero, sin ser afectada la calidad de este servicio. [7]

Resulta que uno de los servicios en las que el mundo gasta enormes cantidades de energía, dinero y trabajo es en iluminación vial. Y como pasa con las luces de la casa, las de las vías públicas presentan bombillos quemados y de alto consumo de energía, dos cosas que pueden manejarse con la utilización de esta nueva fuente de luz artificial, llamadas diodos emisores de luz o luminarias (bombillos o focos) LED, por sus siglas en inglés.

Pero esto no es todo. Según Lionel Ramírez, Presidente y CEO de GE Iluminación América Latina, "la gran mayoría de los países de Latinoamérica están adoptando medidas para ir desfasando los antiguos bombillos, focos o luces incandescentes de viviendas y residencias por otras más eficientes como el bombillo Fluorescente Compacto o CFL (que parece un tubo en espiral) y por luces LED, así como en el sector comercial (oficinas, locales) para sustituir las lámparas lineales o tubos fluorescentes que funcionan con balastos electromagnéticos por lámparas más avanzadas de balastos electrónicos.[8]

Esta fuente de luz no sólo es más económica sino que es mejor para el conductor; Una luminaria LED produce una mejor calidad de iluminación, más intensa, con menos calor y con menos requisitos energéticos porque la luz LED es blanca y tiene un mejor índice de reproducción de color (CRI) lo que permite que los conductores vean mejor la carretera, distinguen mejor los objetos y vayan más seguros, son direccionales y pueden apuntarse para no generar reflejos que distraigan a los conductores.[8]

Este tipo de lámpara tiene en promedio una vida útil de 50.000 horas, lo que evita constantes cambios de bombillas, equipos o cuadrillas de trabajadores en las vías y cierres de estas para mantenimiento y reparaciones.

La tecnología de luminarias LED está resultando tan práctica en otros países que ya se está implementando en otros aspectos relacionados con las carreteras como semáforos y vallas publicitarias o avisos para empresas. No sólo los nuevos bombillos evitan el grave problema de los bombillos quemados en los avisos, sino que mejoran su visibilidad y dan una presencia moderna de calidad.

El proyecto de grado se inserta a la línea de investigación correspondiente a la cátedra de ingeniería eléctrica aplicada, del Departamento de potencia adscrito la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo. El cual pretende dar un lineamiento en la comparación fotométrica, energética y económica de una tecnología emergente en el alumbrado publico con las ya existentes y garantizar que es apta, es decir que cumple las normativas para su uso.

## **1.5 ALCANCE**

Ahorrar energía eléctrica no es reducir el nivel de bienestar o grado de satisfacción de las diferentes necesidades, sino por el contrario es dar lugar a una reflexión y un cambio en los comportamientos que conduzcan a un uso racional de la misma. Es por esto que el uso racional y efectivo de la energía para minimizar costos y destacar las situaciones competitivas se presenta como el objetivo principal de un programa de ahorro de energía, donde se consideran estrategias para el ahorro, las áreas pertinentes al programa, presupuestos y estimaciones de ahorro, etc.[9]

Poder hacer las pruebas con la tecnología LED comparando con las otras lámparas utilizadas en Venezuela, realizando un estudio y ejecutándolo en vías de Venezuela según un lineamiento que desarrollemos de las experiencias adquiridas, pruebas realizadas y comparar los resultados con proyectos internacionales referente a esto.

## CAPÍTULO 2

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES

**2.1.1 Desarrollo de un marco metodológico orientado al mantenimiento de sistemas de iluminación vial, Tutores: Ing. Leopoldo Romero, Ing. Roberto Lozano. Elaborado por: Patty Ferrer. Junio 2006. Universidad de Carabobo.**

Tiene como finalidad proveer una guía de orientación que tenga todos los aspectos más importantes para llevar a cabo un proyecto de iluminación, y comparar los planes de mantenimientos llevados a cabo hasta la fecha y compararlos con el planteado que cumpla la normativa vigente con respecto al mantenimiento.

**2.1.2 Metodología Aplicada para el Cálculo de la Energía Eléctrica en Sistemas de Alumbrado Público. Elaborado por: G. Miguel Ereú and M. José Omar. 2006. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela.**

En el estudio realizado a mediados del año 2005 se determinó la metodología aplicada para el cálculo de la energía en los sistemas de alumbrado público de la C.A. La Electricidad de Caracas, en donde se considera la potencia nominal de la lámpara, la pérdida promedio en el balasto, la pérdida promedio por envejecimiento de la lámpara, y las pérdidas técnicas asociadas al conductor por efecto joule.

Aplicando esta metodología se determinó que la energía consumida en el Sistema de Alumbrado Público de la C.A. La Electricidad de Caracas era mayor que la energía actual facturada. Como resultado de este estudio, se logró recuperar 13,1 GWH/año que equivale a 8,56% de la energía total suministrada al sistema de alumbrado público, impactando de manera positiva en la facturación asociada a esta área, con un costo de inversión prácticamente despreciable.

**2.1.3 Manual de luminotecnia. Autor García F Javier. <http://Edison.upc.edu/home>. Agosto 2005. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.**

En esta página se contempla toda la información relacionada con la luminotecnia, en ella se encuentran definiciones que van desde la luz y la visión, magnitudes unidades de medida, fotometría, iluminación interior, iluminación exterior, lámparas entre otras.

**2.1.4 Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estado sólido (LED) utilizados para iluminación eficiente. Autor Cristian Mauricio Landacay Jaramillo. Loja-Ecuador2009. Universidad Técnica Particular de Loja.**

El objetivo principal de la investigación fue, analizar el sistema de iluminación de estado sólido (SSL), si es o no factible utilizarlas para la iluminación de interiores como oficinas. La hipótesis en que se apoyo este estudio consistió en que, la tecnología SSL está reemplazando a las fluorescentes en oficinas y otros espacios de edificios, porque reporta beneficios energéticos, económicos y ambientales.

**2.1.5 Revista tecnológica General Electric LED Area Lighter brochure - English - May 2009.**

Esta revista contiene todos los datos técnicos referentes a las luminarias LED que se están utilizando por esta empresa, ilustrando las curvas fotométricas comparaciones con otro tipo de lámparas y su impacto en su aplicación.

**2.1.6 Programa de ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación del instituto universitario de tecnología “José Antonio Anzoátegui”, Anaco. Ing. Veltri Rosal, Roberto Carlos. Julio de 2002. Ministerio de educación superior Instituto universitario de tecnología “José Antonio Anzoátegui”. Departamento de investigación El Tigre.**

En vista de los aumentos y la situación energética que atraviesa el país, se tuvo necesidad de iniciar un proyecto cuya finalidad es reducir el consumo de energía eléctrica, así como

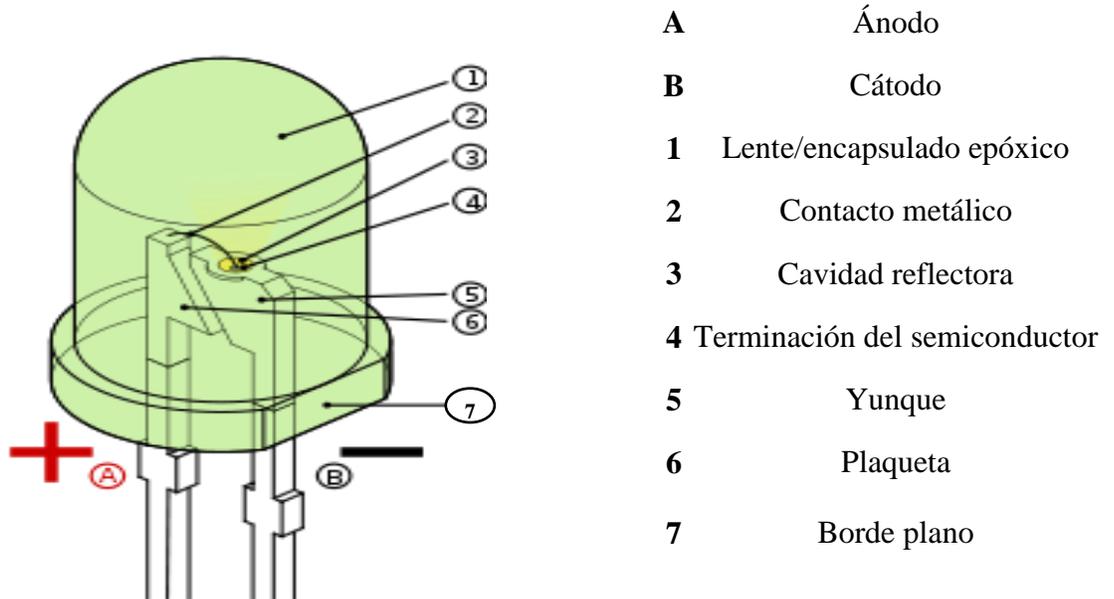
también los costos. Este proyecto contempla la elaboración de todas las posibles estrategias a seguir para optimizar el uso de la electricidad, a través de un programa de ahorro dirigido a una instalación educativa, que está siendo afectado por la situación económica del país. Los incesantes recortes presupuestarios han llevado a las instituciones educativas a no realizar las inversiones necesarias para cumplir con un funcionamiento óptimo, tal es el caso del servicio eléctrico, que cada día presenta el problema de derroche de energía eléctrica y la despreocupación por parte de todo el personal que labora en dichas instituciones, afectándolos de manera directa. Este programa de ahorro de energía eléctrica es inherente al Instituto Universitario de Tecnología “José Antonio Anzoátegui”, pues existe preocupación por los constantes aumentos del sector eléctrico y contiene equipos y servicios que se pueden optimizar. Este programa presenta alternativas de ahorro de energía eléctrica por concepto de iluminación, porque se demostró que los mismos producen mayor impacto en el consumo de energía en la institución, así como los aspectos más relevantes sobre un alumbrado eficiente, al igual que la concientización de cómo utilizar productos de bajo consumo en donde la población, en general, estaría consumiendo menos, resultando un equilibrio entre oferta y demanda de energía y un consecuente ahorro.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Reseña Histórica**

El primer LED comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10 mcd @20mA, (mcd = milicandela). El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700 nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión electrón- fotón o corriente-luz más elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente baja corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto se tenía que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo una zona en la cual el ojo no es muy

sensible por lo que el LED parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.



**Figura 2.1:** Partes de un LED

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

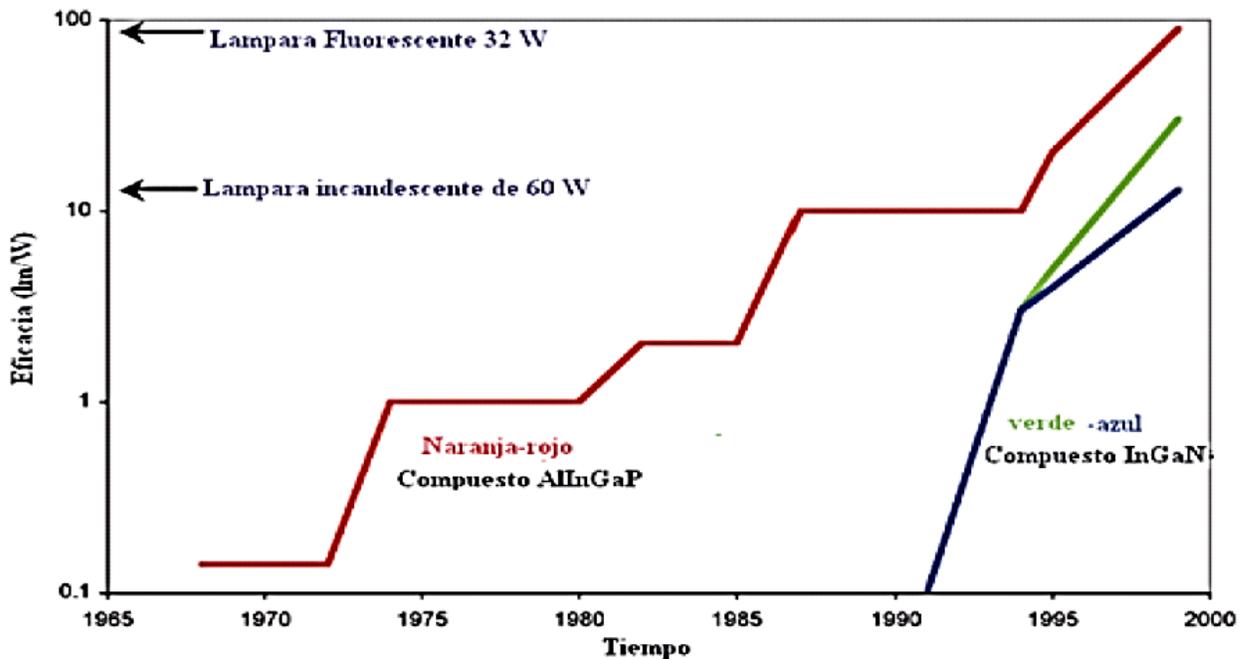
Los siguientes desarrollos, a inicios de la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. También se desarrollaron LEDs infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década del 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los LEDs empezó a despegar ya que proveía una mayor performance sobre los LEDs desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable.

Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros LEDs se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por maquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del LED era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son más las fábricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además últimamente es más común que las resinas posean inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos LEDs destinado al uso en el exterior.

En los 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir LEDs hasta la fecha, el AlInGaP Aluminio, Indio, Galio y Fósforo. Las principales virtudes de este tetra-compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros LEDs tenía una vida promedio efectiva de 40.000 horas, los LEDs de AlInGaP podían más de 100.000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

Es de notar que muy difícilmente un LED se queme, si puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un LED se degrada, o sea que pierde luminosidad, a una tasa del 5 % anual. Cuando el LED ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil y eso es lo que queremos decir cuando hablamos de vida de un LED. Un rápido cálculo establece que en un año hay 8760 horas por lo que se considerar que un LED de AlInGaP tiene una vida útil de más de 10 años. Unos de los factores fundamentales que atentan contra este número es la temperatura, tanto la temperatura ambiente como la interna generada en el chip, por lo tanto, existen técnicas de diseño de circuito impreso para bajar la temperatura.



**Figura 2.2:** Evolución de eficacia de la tecnología SSL reportada por laboratorios Estándar. Con propósito de comparación se ilustra la eficacia (14 lm/W) de la lámpara incandescente de 60 W y la eficacia de (94 lm/W) de la lámpara fluorescente de 32 W.

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

Un detalle de mucha importancia respecto a los LEDs y su construcción, es que se fabrican depositando por capas a modo de vapores, los distintos materiales que componen el LED, estos materiales se depositan sobre una base o sustrato que influye en la dispersión de la luz. Los primeros LEDs de AlInGaP se depositaban sobre sustratos de GaAs el cual absorbe la luz innecesariamente. Un adelanto en este campo fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP el cual es transparente, ayudando de esta forma a que más luz sea emitida fuera del encapsulado. Por lo tanto este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (TransparentSubstrate) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (AbsorbentSubstrate). Luego este mismo proceso se utilizó para los LED de GaAlAs dando origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs. En ambos casos la Eficiencia luminosa se incrementaba típicamente en un factor de 2 pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de

10. Como efecto secundario de reemplazar el As por el TS se nota una pequeña tendencia al rojo en la frecuencia de emisión, generalmente menor a los 10nm. A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LEDs de origen japonés, se llegó al desarrollo del LED azul, este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm). Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio – Carbono otra basada en el GaN Galio – Nitrógeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrógeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otras técnicas como la de ZnSe Zinc – Selenio ha sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Dado que el azul y el rojo son colores primarios, juntándose con el verde, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro, esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana. Es también posible lograr otros colores con el mismo material GaN, como por ejemplo el verde azulado o turquesa, de una frecuencia del orden de los 505 nm. Este color es importante ya que es el utilizado para los semáforos y entra dentro de la norma IRAM 2442 Argentina y VTCSH parte 2 americana y otras. Su tono azulado lo hace visible para las personas daltónicas.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor. Luego de tantos materiales y frecuencias de ondas sería bueno resumir todo esto en una forma más clara.[10]

## 2.2.2 Tecnología LED

### 2.2.2.1 Principio de funcionamiento

Básicamente, los LEDs son dispositivos semiconductores que convierten la energía eléctrica en luz visible. Cuando ciertos elementos son combinados en configuraciones específicas y la corriente eléctrica pasa a través de estos, produce fotones (luz) y calor.

El corazón de los LEDs se llama chip, está compuesto de dos capas de semiconductores, una capa tipo n que provee electrones y una capa tipo p que provee huecos para que los electrones caigan dentro. La unión de las capas (llamada unión p-n) es donde los electrones y huecos son inyectados dentro de una región activa. Cuando los electrones y huecos se recombinan, los fotones son creados.

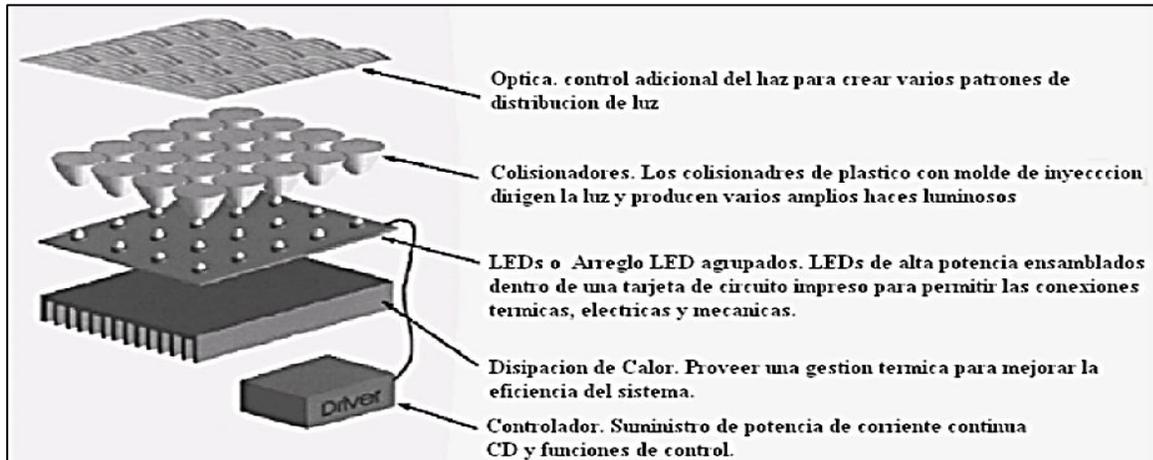
Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15
5 <b>B</b> Boro 10.811	6 <b>C</b> Carbon 12.0107	7 <b>N</b> Nitrogeno 14.006 74
13 <b>Al</b> Aluminio 26.981 538	14 <b>Si</b> Silicon 28.0855	15 <b>P</b> Fosforo 30.973 761
31 <b>Ga</b> Galio 69.723	32 <b>Ge</b> Germanio 72.61	33 <b>As</b> Arsenio 74.921 60
49 <b>In</b> Indio 114.818	50 <b>Sn</b> Titanio 118.710	51 <b>Sb</b> Antimonio 121.760

**Figura 2.3:** Estos doce elementos (extraído de la tabla periódica) son importantes para la construcción de los LEDs. Los elementos de matriz naranja son semimetales, los elementos de sombra azul son dopantes tipo p (metales); los elementos de matriz verde son dopantes tipo n (no metales).

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

Los fotones son emitidos en un espectro estrecho, correspondientes a longitudes de onda de lo visible cercanas a las ultravioletas. Los clientes pueden comprar los productos LEDs en algunas diferentes formas, pues los dispositivos son vendidos individualmente o en paquetes.

Muchas veces la gestión térmica, montaje mecánico, circuito de control y óptica son ofrecidos como un paquete de un sistema de iluminación óptimo.



**Figura 2.4:** Los sistemas LED son normalmente múltiples elementos apilados en conjunto para un rendimiento óptimo.

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

En contra de otros sistemas, los LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas sujetas a rompimientos ni a fallos por motivos de “fundidos”, no existe un punto en que acaben de funcionar, sino que su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera que a aproximadamente a las 50.000 horas es cuando su flujo decae por debajo del 70% de la inicial, esto significa aproximadamente 6 años en una aplicación de 24 horas diarias y 365 días/año. De modo que esto permite una reducción enorme de costos de mantenimiento ya que no necesitaría reemplazarlas, por lo que el costo de iluminación es mucho menor.

Asimismo, por su naturaleza el encendido se produce instantáneamente al 100% de su intensidad sin parpadeos ni periodos de arranque, e independientemente de la temperatura. A diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos.

El control de los LED es otro de sus factores importantes. Debido a su naturaleza son fácilmente controlables, pudiendo producir efectos y permitiendo controles de energía que con

otros dispositivos son más difíciles y caros de obtener. Para concluir, los dispositivos LED son ecológicos ya que no contienen mercurio, tienen una mayor duración, ahorran gran cantidad de energía (un punto significativo a tener en cuenta en las instalaciones y especialmente en las de tipo público). [11]

#### 2.2.2.2 Tipos de LED

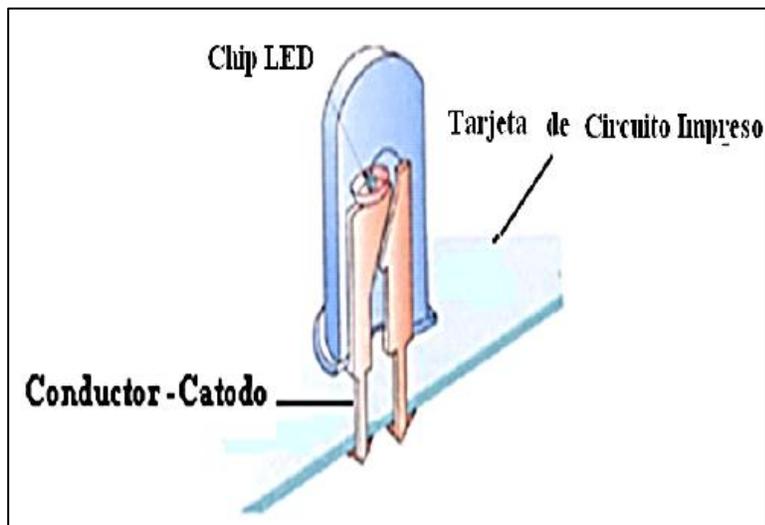
Existen muchos tipos de LEDs que difieren en los métodos de encapsulado pero comparten la misma tecnología básica. Pueden dividirse en dos grupos en función de su potencia: LEDs de baja intensidad y de alta intensidad.

##### 2.2.2.2.1 LED de baja intensidad

Este tipo de LEDs (a veces llamados LEDs indicadores) suelen usarse como pilotos o dispositivos indicadores en aparatos y en señales luminosas. Los más populares son los de 5 mm de rendimiento óptico preciso y los LEDs de alto brillo (superflux).

- a) T-1  $\frac{3}{4}$  ó LED de 5 mm: El encapsulado de 5 mm es una de las dos configuraciones originales designadas T-1 y T-1  $\frac{3}{4}$ , denominación adoptada de los fabricantes de lámpara de incandescencia. (El número indica el diámetro de la lámpara en octavos de pulgada. Así, el T-1  $\frac{3}{4}$  tiene un diámetro de aproximadamente 5 mm).

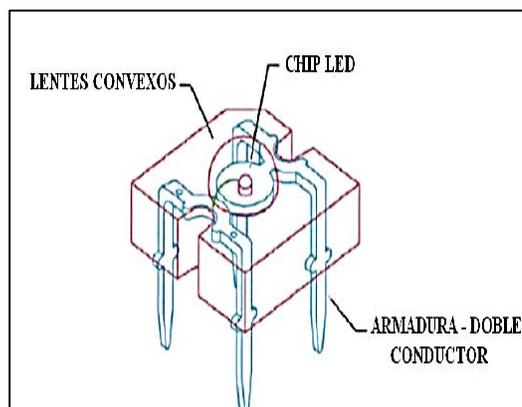
El cátodo lleva montado en su extremo un pequeño reflector parabólico que contiene el chip semiconductor, y se usa a la vez como conductor eléctrico y como disipador de calor. La superficie superior funciona como una lente, proyectando la luz hacia adelante. Este encapsulado es muy popular por su bajo costo y su fácil incorporación en cuadros de señalización u otras aplicaciones similares.



**Figura 2.5:** T-1 ¾ ó LED de 5 mm

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

b) LEDs de alto brillo (superflux): Este tipo de LEDs se encapsula en una estructura de terminales doble de plomo para reducir la resistencia térmica y aumentar su robustez. La mejora en la disipación de calor, junto con una mayor superficie del chip semiconductor, permite obtener una intensidad doble a la del LED convencional de 5 mm. La luz se proyecta a través de una lente convexa de 3 mm de diámetro situada sobre la superficie superior del encapsulado.

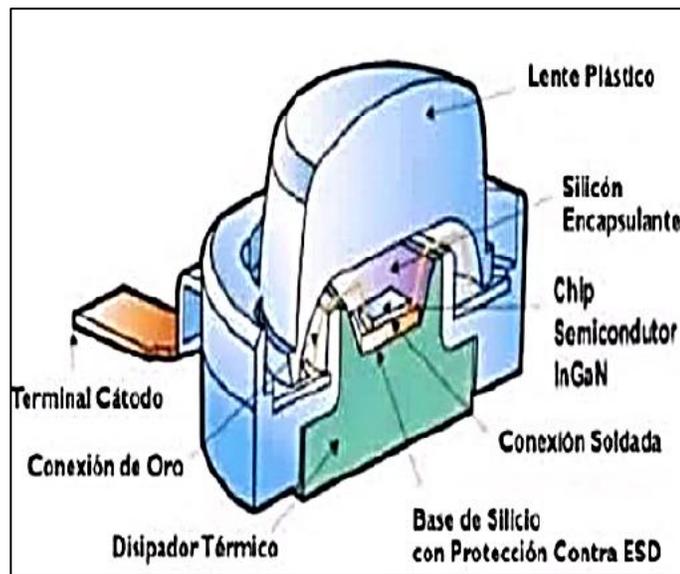


**Figura 2.6:** LEDs de alto brillo

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

#### 2.2.2.2.2 LED de alta intensidad

Se utilizan para iluminar objetos, debido a su elevada intensidad luminosa, como fuente de luz concentrada. Estos LEDs emplean una amplia base de metal para disipar el calor, con los terminales eléctricos aislados térmicamente. Esta estructura mejora drásticamente la disipación de calor, permitiendo un chip de mayor tamaño y una corriente de trabajo más elevada.



**Figura 2.7:** LEDs de media y alta potencia

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

Otras mejoras incluyen el uso de encapsulados de silicona resistente a los rayos ultravioleta y acople óptico intermedio entre el chip y el recubrimiento exterior transparente de epoxy, atenuando mucho la tendencia del amarilleamiento. Además, el material de silicona, por su flexibilidad, permite una reducción de las tensiones mecánicas y térmicas que actúan sobre la estructura del chip y de los conductores eléctricos.

La mejora con la aplicación de la capa de fósforo, consigue mayor uniformidad en la temperatura de color correlacionada (CCT) para los de luz blanca. Estos avances han eliminado

virtualmente la severa degradación luminosa y la variación de color que eran notorias en los LEDs de 5mm. [11]

### 2.2.2.3 Características básicas

#### 2.2.2.3.1 Materiales

En el ensamblado del LED, el fósforo, nitruro de aluminio, indio y galio producen luz de diferentes colores y eficacias. Los dos mayores grupos de materiales son el compuesto de fósforo de indio-galio InGaP utilizado para crear rojo y ámbar y el compuesto de nitruro de galio GaN, usado para crear el azul, azul verdoso y verde. Estos materiales LED pueden además generar radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

#### 2.2.2.3.2 Tamaño

El tamaño de los chips LED tiene un rango que va desde decenas de milímetros para dispositivos de pequeña señal hasta milímetros cuadrados para los dispositivos de potencia disponibles actualmente. Usando múltiples chips o grupos de paquetes LEDs se puede obtener la luz necesaria para una aplicación.

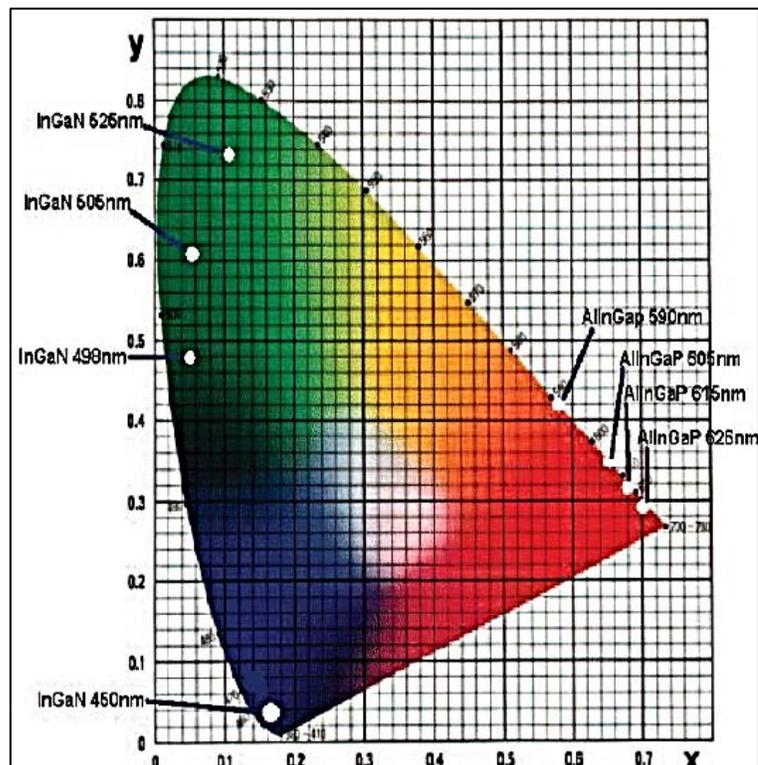
#### 2.2.2.3.3 Salida De Energía

La salida de energía de un LED es disipada como luz y calor. La luz es emitida desde el chip LED en todas las direcciones. Basado en la forma del chip, del material del que está hecho, y del ensamblado del paquete. La luz desde la superficie del paquete del LED puede ser capturado para usarlo en el sistema de iluminación. El calor no es radiado (como lo hacen las tecnologías de iluminación convencional) pero es conservado en el paquete LED.

El calor debe ser conducido efectivamente desde el chip por los materiales del paquete hacia delante del dispositivo. Sin una apropiada gestión térmica, el calor generado internamente puede causar que el paquete LED falle. Ninguna energía infrarrojo o ultravioleta es emitida en la radiación de un LED visible.

#### 2.2.2.3.4 Color

El color de un LED es determinado por la longitud de onda dominante del dispositivo. Variando el dopaje se modifican los saltos en las bandas de energía, y en consecuencia, los colores de las emisiones de luz son diferentes. Actualmente se emplean dos clases de materiales en la mayoría de los LEDs de alta intensidad:



**Figura 2.8:** Coordenadas Cromáticas de LEDs típicos de una sola longitud de onda mostrados sobre un diagrama cromático CIE estándar. En este modelo, **Y** representa luminosidad y **X** es una mezcla tendiente a la curva de sensibilidad del rojo

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

- a) AlInGaP: El rojo, naranja y amarillo se generan con un dopaje de cuatro elementos: aluminio, indio, galio y fósforo (AlInGaP). Hewlett-Packard, después de una década de investigación, dominó la técnica del complicado proceso de crecimiento OMVPE que permite el crecimiento del dopaje con esos cuatro elementos sobre un substrato de

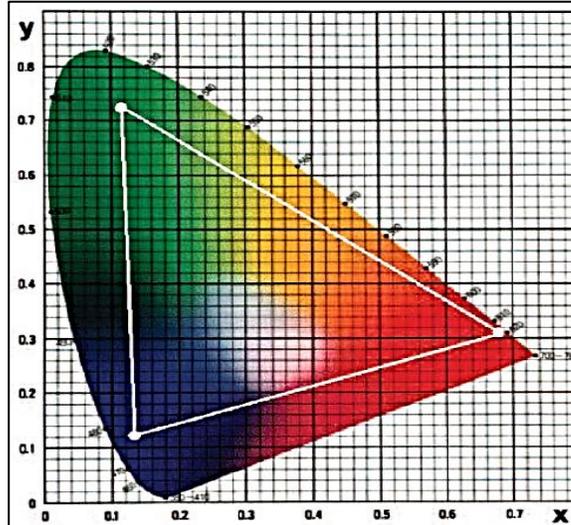
Arseniuro de Galio (GaAs), liderando la comercialización de LEDs de alto brillo rojos y amarillos en 1990.

b) InGaN: El azul, verde y blanco se producen con un dopaje de Indio y nitruro de Galio (InGaN). Desarrollados por Nichia Chemical y la Universidad de Nagoya perfeccionaron el proceso de crecimiento de esta mezcla sobre un sustrato de zafiro, completando la totalidad de la gama de colores de los LEDs.

#### 2.2.2.3.5 LED Blancos

La luz blanca puede ser obtenida desde los LEDs por cualquiera de los siguientes tres métodos:

a) Mezclando Color: La luz primaria de tres LEDs (rojo, verde y azul) es mezclada conjuntamente, creando una luz blanca.



**Figura 2.9:** El diagrama ilustra la principal combinación de color. El área triangular muestra las posibles coordenadas cromáticas que pueden resultar de la combinación conjunta de los LEDs rojos, verdes y azules.

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

A la larga, la mezcla de LEDs de varios colores será probablemente el método preferido. La mezcla de colores permite producir luz blanca con mayor definición de colores (en cuanto a su CRI). Además, los fotones de cada LED contribuyen directamente a la luz blanca, por lo que este sistema es más eficiente, al no incurrir en pérdidas de energía por conversión descendente. La mayor eficiencia no solo dará lugar a ahorros de consumo de electricidad, sino que además reducirá la inversión asociada a la compra de un determinado número de luminarias.

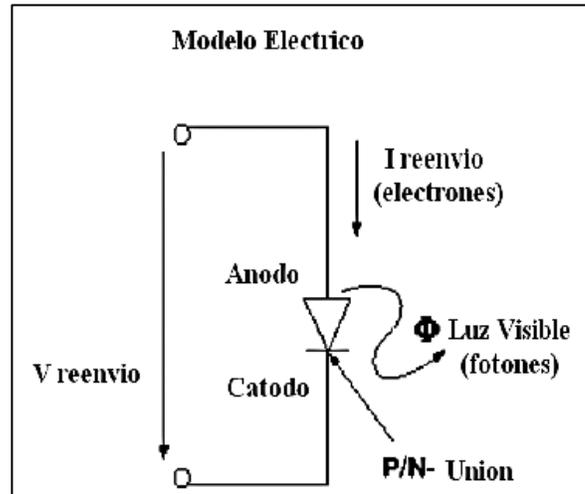
- b) Conversión Binaria de una Longitud de Onda Complementaria: Un LED azul es recubierto con un fosforo amarillo, que emite luz cuando le impactan los fotones azules. Al combinar la luz azul del LED y la luz amarilla del fósforo se obtiene luz blanca. Los LEDs de un blanco frio (con una temperatura de color de 5500 K) son producidos de esta manera. En cambio Si sumamos un fosforo de un color rojo secundario, se produce un LED de un color blanco tibio (con una temperatura de color de 3200K). Actualmente el sistema predominante para crear luz blanca con LEDs es la conversión descendente con fósforos, por surelativa simplicidad. Pero el “efecto halo” y la baja absorción de la luz azul por parte del fósforo constituyen dos problemas significativos. El efecto halo ocurre porque la luz del LED azul es unidireccional, mientras que el fósforo irradia en todas direcciones. Por lo tanto la luz aparece multicolor cuando un observador mira desde un lado.
  
- c) Conversión de Longitud de Onda Ultravioleta: Un único LED ultravioleta es usado para excitar a un fosforo tricolor, así se crea la luz blanca. [11]

### **2.2.3 Componentes de un sistema LED y su operación**

#### **2.2.3.1 Modelo eléctrico**

Un diodo comprende una capa de material tipo n adherido a una capa de material tipo p, con conexiones eléctricas a cada lado. Este arreglo conduce electricidad en una sola dirección.

Cuando ningún voltaje es aplicado al diodo, los electrones desde el material de tipo n llena huecos del material tipo p a lo largo de la unión entre las capas formando una zona de reducción.



**Figura 2.10:** Cuando el voltaje externo ( $V_{reenvio}$ ) aplicado a través de la unión p-n de un LED es elevado, la corriente ( $I_{reenvio}$ ) fluye y la luz visible es producida (fotones)

**Fuente:** Eficiencia energética. Análisis comparativo de los sistemas de iluminación de estados sólidos (LED) utilizados para iluminación eficiente [11]

En la zona de reducción, el material semiconductor es devuelto a su estado aislado, todos los huecos son llenados, así no hay electrones libres o espacios vacíos para los electrones y la carga no circulara. Por el contrario, cuando un voltaje es aplicado a través de la unión p-n, con el material tipo n conectado a la parte negativa del circuito y el material tipo p a el lado positivo, si la diferencia de voltaje que atraviesa la unión es suficientemente alta, los electrones en la zona de reducción salen fuera de sus huecos y comienzan a moverse libremente de nuevo. La zona de reducción desaparece, fluye corriente y la interacción entre electrones y huecos generan luz. Esto sucede porque los electrones libres (movimiento a través de la unión p-n) caen dentro de los huecos vacíos del material p y expulsan energía. [11]

### 2.2.3.2 Interfaz de la corriente térmica

La resistencia térmica del chip-luminaria, la tensión térmica y la pendiente de temperatura dentro del LED son todos críticos para una operación exitosa del sistema LED. La

resistencia térmica del chip-luminaria debe tener al menos sobre los 30 °C/W. la reducción de la tensión térmica requiere de una excelente dirección de la corriente térmica, y por tanto la pendiente de la temperatura dentro del paquete, particularmente en la interfaz paquete/chip, sea mínima. La dirección de la corriente térmica es especialmente importante para estrategias de iluminación con múltiples colores LED, así influye en la sensibilidad de temperatura de LEDs basados en GaN y AlInGaP que son diferentes. En la electrónica del paquete se podría requerir el ajuste dinámico de una proporción de azul, rojo y verde para mantener constante el punto blanco. [11]

#### 2.2.3.3 Óptica acoplada

Típicamente un paquete LED usa un material ópticamente claro (encapsulación) para formar un lente encima del chip LED. En algunos casos, tal como el paquete T-1<sup>3/4</sup> este material forma el cuerpo del dispositivo completo. Este provee un sendero óptico, un medio mecánico para resistir conjuntamente cualquier cosa, y una protección para el alambre del vínculo al chip como elemento óptico, el encapsulado tendría un alto índice de refracción y una buena estabilidad en presencia de humedad, alta temperatura y alta intensidad luminosa. Frecuentemente una óptica adicional es requerida para dirigir apropiadamente la luz desde el LED o paquetes LED. [11]

### 2.2.4 Limitaciones

#### 2.2.4.1 Vibración

Los LEDs son dispositivos de estado sólido que no usan gases o filamentos. En consecuencia son altamente confiables frente a golpes mecánicos y vibraciones.

#### 2.2.4.2 Humedad

Los LEDs individuales son razonablemente tolerantes a la humedad, sin embargo, los circuitos electrónicos que rodean a estos en un sistema no lo son. Los sistemas LEDs deben ser

apropiadamente diseñados y probados para asegurar que ellos operaran en un ambiente de alta humedad.

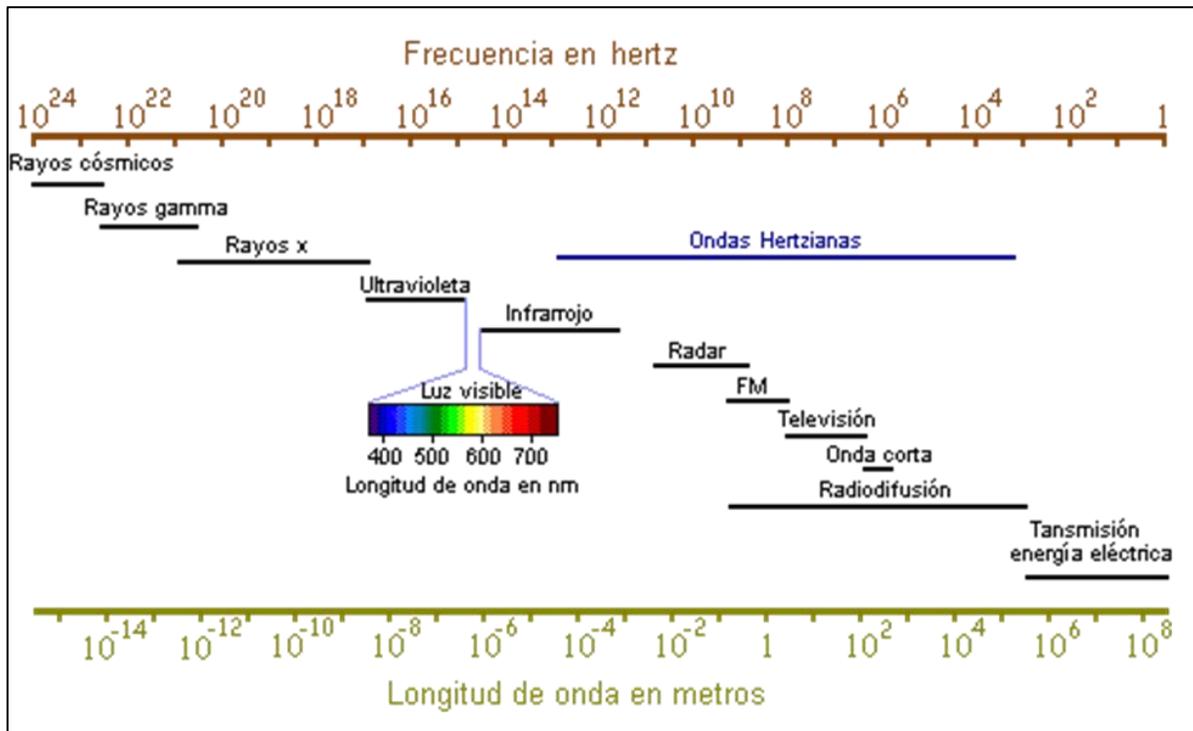
#### 2.2.4.3 Temperatura

Para una iluminación de estado sólido de alta luminosidad las altas densidades de corriente de operación (así por tanto las altas temperaturas de unión) son necesarias. Por un tiempo, la confiabilidad de los LEDs AlInGaP muestra depender de la densidad de corriente y la temperatura de unión. Mucha de la degradación del flujo ocurre cuando se incrementan estos parámetros. Por tanto, es crítico que la temperatura de unión del LED no se exceda de la operación efectiva del sistema LED. Un buen diseño del sistema seguirá las pautas de la temperatura de unión del fabricante LED; cuando alguna vez el sistema LED es empleado en ambientes de extrema temperatura, contacte al fabricante del sistema para orientarse.

#### 2.2.4.4 Depreciación de lúmenes

La depreciación de lumen es un atributo de iluminación mas frecuentemente usado para determinar la vida usada de las fuentes LEDs. Los LEDs no fallan abruptamente, en cambio, ellos se van atenuando con el tiempo. Aunque unas 100.000 horas es la vida comúnmente citada, esta no es una descripción exacta de una vida útil del LED. Algunos LEDs todavía emitirán luz en las ``100.000 horas'', aunque la cantidad no podría ser significativa para algunas aplicaciones. Comúnmente se ha citado ``70% de la salida de luz inicial'' como la luz requerida para muchas necesidades de iluminación, por tanto comités industriales están recomendando que el ``70% del mantenimiento de lúmenes sea en las 50.000 horas de uso'' y adoptado como estándar para fuentes LEDs en aplicaciones de iluminación. [11]

### 2.2.5 Iluminación:



**Figura 2.11:** Espectro electromagnético

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

Se llama luz a la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. En física, el término luz se usa en un sentido más amplio e incluye todo el campo de la radiación conocido como espectro electromagnético, mientras que la expresión luz visible señala específicamente la radiación en el espectro visible. Tiene como objetivo proporcionar una iluminación adecuada en aquellos lugares al aire libre o cubiertos donde se desarrollan actividades de todo tipo, ya sean laborales, docentes o simplemente de recreo. Por lo tanto, es de gran importancia el buen manejo y el estudio de los conceptos fundamentales de la luminotecnia.

[1]

### 2.2.5.1 Espectro luminoso

El efecto de toda radiación luminosa varía con su longitud de onda; dicho de otra manera, a cada longitud de onda esta corresponde una sensación particular de color; por lo tanto, cada longitud de onda esta asociada a un color determinado. Como ya sabemos, los límites de percepción del ojo humano están comprendidos entre las 350 y 760 milimicras. Por encima o por debajo de estos límites, también existen radiaciones, pero el ojo humano es ciego para tales radiaciones. Comenzando por las longitudes de onda de 350 milimicras, el orden de sensaciones visuales es:

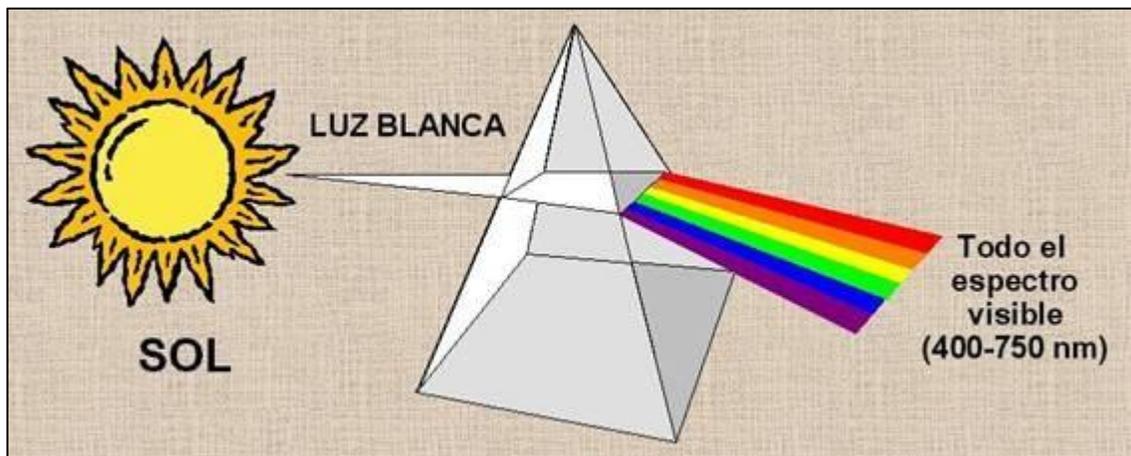
Violeta - Azul - Verde - Amarillo - Anaranjado - Rojo

Además de estos colores simples, existen sensaciones visuales que son el efecto de la mezcla de dos o mas colores; tal sucede con la luz solar que es una mezcla, en proporciones definidas, de los seis colores citados anteriormente.

Longitudes de onda (mμ)	Tipo de Radiación
380- 435	Violeta
435-500	Azul
500-556	Verde
565- 600	Amarillo
600- 630	Naranja
630- 780	Rojo

**Tabla 2.1:** Sensaciones visuales.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]



**Figura 2.12:** Espectro luminoso del sol.

**Fuente:** <http://laurapmateo.blogspot.com/2010/03/la-percepcion-visual.html>. [13]

El espectro luminoso puede ser:

**Continuo:** Cuando se compone de una sensación ininterrumpida de longitudes de onda ejemplo la luz solar.

**Discontinuo:** Cuando las radiaciones luminosas se encuentran sobre una o varias longitudes de onda, separadas entre si lo que provoca que la transición entre colores consecutivos sea brusca, reduciendo así el espectro a una pocas líneas. Por ejemplo el mercurio vaporizado.

Tipo de radiaciones	Longitud de onda (mμ)
Violeta	405- 408
Azul	436
Verde Azulado	492
Verde	546
Amarillo	578-596

**Tabla 2.2:** Radiaciones discontinuas.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Es decir, que falta completamente el color rojo y que, además, la transición entre dos colores consecutivos es brusca.

**Monocromático:** Es el de aquellos cuerpos que solamente emiten radiaciones luminosas de una sola longitud de onda. Por ejemplo el sodio vaporizado de baja presión que solamente emite una sola longitud de onda que es de 585 a 590 milimicras correspondiente al color amarillo.

#### 2.2.5.2 Sensibilidad a los colores

Todos los colores que constituyen la luz blanca no excitan por igual los conos de la retina, es decir, que el órgano visual humano tiene más agudeza, es más sensible, para determinados colores. La máxima sensibilidad para la percepción visual se presenta para una longitud de onda de 555 milimicras que corresponde a un color verde amarillo y a la mínima agudeza corresponde, precisamente, a los dos extremos del espectro visible, es decir, a los colores rojo y violeta.

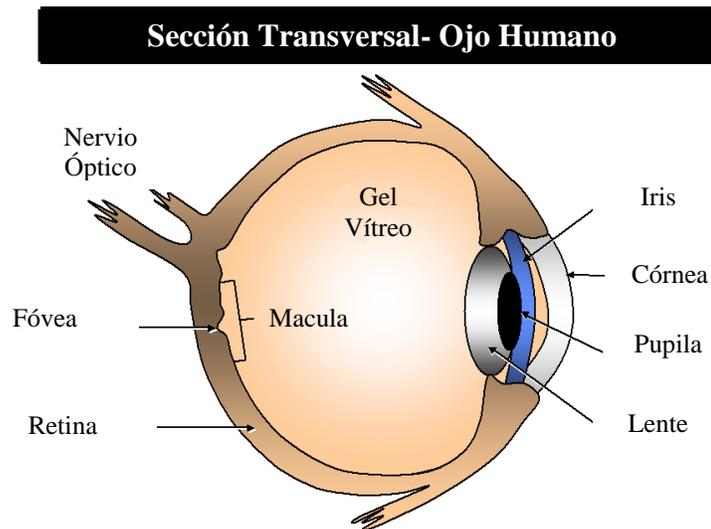
#### 2.2.5.3 Efecto Purkinje

Cuando hemos definido la curva de sensibilidad relativa hemos tenido que hacer aclaraciones de que los valores de la curva se referían a condiciones de iluminación, es decir, a nuestra visión fotópica. Pero debido a este fenómeno, la curva de sensibilidad relativa no es la misma para débiles iluminaciones, es decir para las condiciones de visión escotópica; en este caso, la curva se desplaza hacia las zonas de menor longitud de onda; se tiene la máxima sensibilidad para una longitud de onda de 500 milimicras que corresponde a un color verde – azul.

En el ojo humano el brillo percibido de la iluminación depende del color. Se necesita más energía en la parte azul o rojo del espectro de colores para crear la misma sensación de brillo como en la región verde-amarillo.

Cuando se trata de sensibilidad a la luz en el ojo humano hay dos principales células sensibles a la luz llamadas conos y bastones. Si uno toma un tubo y mira hacia adelante a través de él lo que permite que el campo de visión este limitado a 2 grados, los fotones de luz que caen

sobre la parte del ojo denominada fovea, que consiste principalmente de los conos. La zona periférica que rodea la fovea se compone de bastones como conos, con los bastones superando en número a los conos de aproximadamente 10:1.

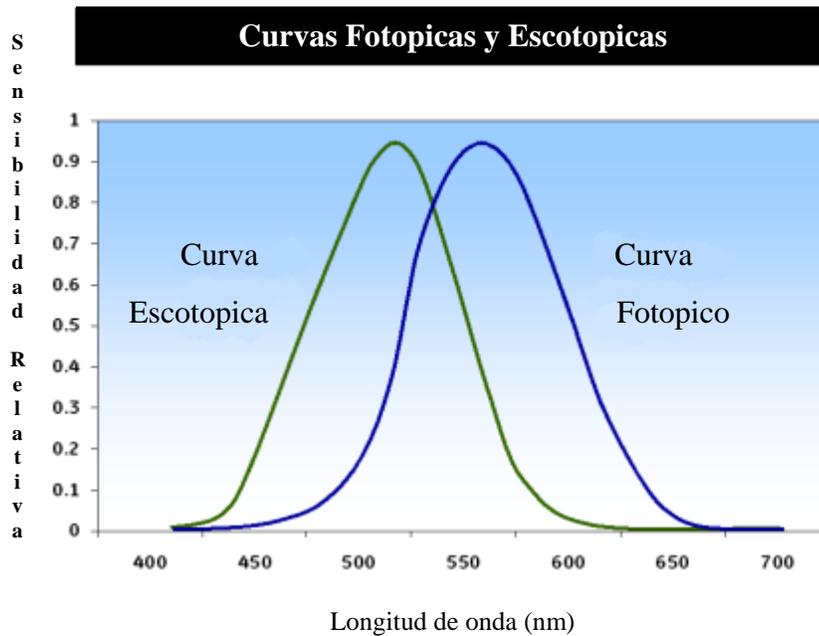


**Figura 2.13:** Ojo humano

**Fuente:** <http://www.ruudled.net/education/photopic2.php> [14]

Hace años se pensaba que los conos son responsables de la visión diurna y los bastones para la visión nocturna. Debido a esto, medidores de luz que miden los niveles de iluminación, como candelas, lúmenes, lux, etc. Se ponderan al cono activo, parte del ojo se ignora el efecto de los bastones activados por la visión. Sin embargo, según un estudio realizado por el Dr. Sam Berman y el Dr. Don Jewett las funciones de los bastones y los conos no son excluyentes, sino que en realidad comparten la responsabilidad en función de las condiciones de iluminación. Sus experimentos, patrocinado por el Departamento de Energía de EE.UU., muestran que los bastones juegan un papel importante en las condiciones típicas de trabajo de iluminación. Así, los dispositivos que utilizamos para medir la luz no son consistentes con la percepción humana de las condiciones de iluminación. Esto ha llevado a un movimiento entre algunos profesionales de la iluminación para modificar los criterios para incluir a la sensibilidad de los bastones. Si usamos solo la sensibilidad de cono que se utiliza la curva fotópica y del mismo modo si se utiliza sólo la sensibilidad de los bastones que utiliza la curva escotópica. Pero si queremos estar en un punto intermedio que podría utilizar una mezcla de los dos. Dr. Berman sugiere multiplicar la

calificación P Lumen fotópica por  $(S / P) n$  siendo P lúmenes fotópica y S lúmenes escotópica. Así, si  $n = 1$  tenemos puro lúmenes escotópicos y si  $n = 0$  obtenemos puro lúmenes fotópicos y si  $n$  es entre 0 y 1 se obtiene una media ponderada de los dos. Así que, ¿qué valor le asignamos a  $n$ ?



**Figura 2.14:** Curva sensibilidad relativa

**Fuente:** <http://www.ruudled.net/education/photopic2.php> [14]

Dr. Berman propone que para la lectura debemos utilizar  $n = 0,78$  y para las lecturas en el computador  $n = 1,0$ . Si somos más interesados en "brillo percibido" de un espacio de Dr. Berman encuentra  $n = 0,58$  para predecir correctamente la mayoría de la respuesta humana. También indica que tamaño de la pupila depende de lúmenes escotópicos y que la luz de nuestros ojos es a la vez foveal y periférica, y nuestra percepción de la luminosidad es más probable que va a ser influenciado por la visión periférica escotópica.

Tamaño de la pupila juega un papel importante en la visión, ya que al tener la pupila más pequeña resulta que mejora la agudeza visual, mejora la profundidad de campo y permite una respuesta más organizada del ojo. Elevar los niveles de luz reduce el tamaño de la pupila, pero esto puede añadir brillo y energía residual. Otra forma de cambiar tamaño de la pupila es cambiar la temperatura de color de la fuente de luz. Cuanto mayor sea la temperatura de color, la

iluminación es escotópicamente mejorada. Esta mayor temperatura de color hace que los bastones activen una zona que puede parecer más brillante a menos de que este una luz fotópica a metros de este que podría indicar lo contrario.

#### 2.2.5.3.1 Mayor eficiencia energética en la tecnología LED.

La obtención de una alta eficiencia energética basada en la tecnología LED se asienta principalmente en los siguientes casos:

2.2.5.3.1.1 Geometría óptica adecuada: Su dimensión reducida y el hecho de que solo irradian en uno de los hemisferios permite optimizar la geometría óptica de forma relativamente simple y extremadamente eficaz, maximizando de esta forma el factor de utilización, o sea, la capacidad de convertir el flujo luminoso en iluminación útil en el plano que se pretende iluminar (cuantificando en lux/lm). Este factor puede también ser evaluado en términos de luminancia ( $(\text{cd}/\text{m}^2)/\text{lm}$ ), dependiendo de la aplicación. Esto contribuye de manera decisiva a la reducción del consumo energético, ya que en comparación con las tecnologías convencionales habitualmente utilizadas, es necesaria menos *lumenes* para alcanzar los mismos niveles de iluminación. Concretamente, la tecnología LED presenta un factor de utilización que es aproximadamente el doble del conseguido con el uso de la tecnología HPS (sodio alta presión).

2.2.5.3.1.2 Espectro luminoso optimizado: En general, debido a los niveles de luminancia habitualmente utilizados, la iluminación pública nos coloca en la región de visión mesópica. Las propiedades de todas las fuentes de luz son actualmente cuantificadas basándose en la respuesta fotópica del ojo humano. En condiciones mesópicas, dicha cuantificación está totalmente desajustada de los valores de desempeño real. Una de las grandes ventajas en la utilización de la tecnología LED está en el hecho de que su respuesta espectral esta sintonizada con la sensibilidad del ojo humano en la región mesópica, lo que potencia de forma clara y significativa su desempeño.

#### 2.2.5.4 El color como elemento expresivo.

En luminotecnia como en decoración, existen tonos fríos y tonos calientes de color. Los primeros dan sensación de frescor, y los segundos proporcionan un ambiente cálido y acogedor. Ordenando los colores según la curva de sensibilidad, desde los tonos fríos a los calientes obtendremos las siguientes gamas: [12]

Tonalidades	Radiaciones (colores)
Fríos	Violeta, Azul turquesa, Azul Ultramar
Neutro	Verde Esmeralda, Verde Vegetal
Cálido	Amarillo, Anaranjado, Rojo

**Tabla 2.3:** Tonalidades de los colores.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

#### 2.2.6 Propiedades Cromáticas

Generalmente se usan dos sistemas para medir las propiedades cromáticas de una fuente lumínica. Uno de ellos es la temperatura de color ( $T_c$ ), la cual indica la apariencia cromática de la luz y cuyos resultados son cuantitativos en términos de cantidad de violeta o rojo. El otro es el índice de rendimiento de color ( $R_a$ ) el cual indica la apariencia de un objeto que está siendo iluminado, en términos cualitativos de reproducción del color.

##### 2.2.6.1 Temperatura de color

La temperatura de color ( $T_c$ ) de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio según el cual, todos los objetos cuando aumentan su temperatura, emiten luz. El color de esa luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura, expresada en grados Kelvin ( $^{\circ}K$ ). El color de la luz de un bombillo puede ser definido en términos de temperatura.

Existen 3 categorías principales:

- Cálido: Menor o igual a 3.300 °K
- Intermedio: Entre 3.300 °K y 5.000 °K
- Luz de día: Mayor o igual a 5.000 °K

Manantiales luminosos naturales y artificiales	Temperatura de color (°K)
Sol a medio día	5300
Sol a las 4:30 pm	4400
Lámpara halógena	3100
Lámpara incandescente	2700
Lámpara sodio baja presión	1800
Lámpara alta presión	2100
Lámpara luz mixta	3600
Lámpara vapor de mercurio	4000
Lámpara metal halide	4000 a 6500

**Tabla 2.4:** Temperatura de color de acuerdo al tipo de iluminación.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

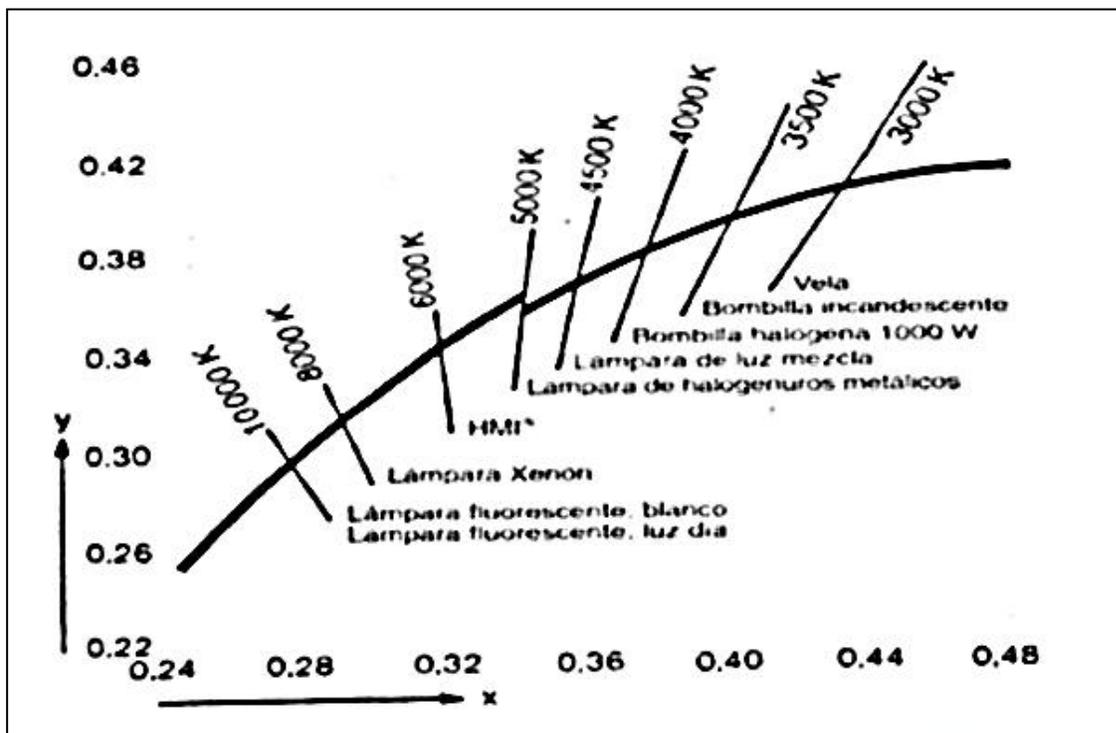
#### 2.2.6.2 Índice del rendimiento del color (Ra- IRC)

El índice de rendimiento de color es la medida de correspondencia entre el color real de un objeto y la veracidad del mismo bajo determinada fuente lumínica. Para obtener el valor de éste índice existen tablas bajo la norma DIN 6169, las cuales hacen referencia a ciertas mediciones y sus rendimientos. Cuando la distribución del espectro luminoso sobre un cuerpo genera un color referente muy similar o idéntico al color original del cuerpo, se dice que su Índice de Rendimiento de color (Ra) es muy bueno; este es de 100. [12]

Fuente de luz artificial	Índice de rendimiento (Ra- IRC)
Lámpara incandescente	100(valor referencial)
Lámpara luz mixta	60
Lámpara mercurio	45-60
Lámpara metal halide	60-97
Lámpara sodio alta presión	21-25
Lámpara sodio baja presión	Nulo
Lámpara fluorescentes	65-97

**Tabla 2.5:** índice de rendimiento de acuerdo al tipo de luz artificial.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]



**Figura 2.15:** Diagrama suplementario de cromaticidad de la CIE, mostrando el lugar geométrico de Planck y las líneas de temperatura de color constante correspondiente.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

### 2.2.7 Conceptos Sobre Luminotecnia:

- Flujo radiante: es conocida también como la potencia radiante y la relación entre la radiación emitida por un manantial luminoso y la unidad de tiempo correspondiente, medida en Joules por segundo (Vatios). Viene dada por la expresión:

$$\phi_R = \frac{dQ_R}{dt} (W) \quad (2.1)$$

Donde:  $\phi_R$  = Flujo radiante.

$dQ_R/dt$  = Diferencial de la energía radiante por unidad de tiempo.

- La luz: es la energía radiante que produce una sensación visual. Según su capacidad y ciertas propiedades, la luz es la que crea las condiciones necesarias para que un individuo pueda influenciar sus percepciones. La luz visible está ubicada en el espectro luminoso entre las radiaciones ultravioleta e infrarroja, comprendida entre los límites de longitud de onda entre 380nm y 760nm. La primera corresponde al color violeta y la segunda al color rojo. Estos límites establecen la sensibilidad que puede apreciar el ojo humano, de lo contrario, la sensación visual se puede considerar nula.
- Flujo luminoso: se define como la cantidad de energía luminosa emitida o radiada por una fuente de luz por unidad de tiempo en todas las direcciones. Se representan por la letra griega  $\phi$  y su unidad es el lumen (lm), lo cual equivale a una radiación monocromática con una longitud de onda de 555 nm, una frecuencia de  $540 \times 10^{12}$  Hz y un flujo radiante de 1/683 W. en otras palabras, un vatio de energía radiante en el aire equivale a 683 lm aproximadamente. Su expresión viene dada por:

$$\phi_L = \frac{dQ_L}{dt} (lm) \quad (2.2)$$

Donde:  $\phi_L$  = Flujo luminoso (lm).

$dQ_L/dt$  = Cantidad de energía luminosa por unidad de tiempo.

- Rendimiento luminoso (eficacia luminosa): indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega  $\varepsilon$  y su unidad es el lumen/vatio (lm/W). la expresión de la eficacia luminosa viene dada por:

$$\varepsilon = \frac{\Phi_L (lm)}{P (W)} \quad (2.3)$$

Donde:  $\Phi_L$  = Eficacia luminosa.

P = Potencia activa.

En pocas palabras, si se lograra fabricar una fuente de luz que transformara toda la potencia eléctrica consumida en luz, sin pérdidas y con una longitud de onda de 555 nm, dicha fuente tendría el mayor rendimiento posible, cuyo valor sería 683 lm/W.

- Intensidad luminosa: se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección, medido en estereorradianes (sr).

El estereorradián es el equivalente tridimensional al radián y es aquel ángulo formado entre el centro de una esfera de radio unitario y una porción de superficie de una unidad cuadrada de dicha esfera. Al igual que una circunferencia tiene un total de  $2\pi$  radianes, entonces una esfera tendrá un total de  $4\pi$  estereorradianes y su valor es:

$$\omega = \frac{S}{r^2} (sr) \quad (2.4)$$

Donde:  $\omega$  = Ángulo sólido.

S = superficie de proyección.

r = Radio de proyección.

La unidad correspondiente a la intensidad luminosa es la candela (cd), y tendrá un valor que viene dado por el siguiente cociente diferencial:

$$I = \frac{d\phi_L}{d\omega} \left( \frac{lm}{sr} \right) (cd) \quad (2.5)$$

Pero cuando la intensidad luminosa resulta ser constante en todas las direcciones, su expresión será:

$$I = \frac{\phi_L}{\omega} (cd) \quad (2.6)$$

Donde:  $I$  = Intensidad luminosa (cd).

$\phi_L$  = Flujo luminoso (lm).

$\omega$  = Ángulo sólido.

La unidad de candela es prácticamente la más importante de todas las unidades, ya que las demás se derivan de ella. Además, es la magnitud física básica internacional en cuanto a las medidas de la luz. Una vela normal de cera en dirección horizontal tiene una intensidad luminosa de aproximadamente una unidad de candela.

- Nivel de iluminancia (Iluminancia): la iluminancia es una medida importante en el área de la luminotecnia, ya que ésta indica el nivel requerido y deseado para los efectos de diseño en un ambiente determinado, ya sean interiores o exteriores. Los niveles de iluminación se definen como la relación entre la densidad de flujo luminoso y el área de superficie a la cual incide dicho flujo. Se simboliza con la letra  $E$  y su unidad es el lux. Por lo tanto, su expresión queda así:

$$E = \frac{d\phi_L}{dS} (lux) \quad (2.7)$$

Se dice también que el lux equivale a la iluminación de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lúmen, repartido sobre una superficie de un metro cuadrado ( $m^2$ ). Por lo tanto, para el caso en que dicho flujo sea constante y uniforme sobre la superficie, se tendrá entonces que:

$$E = \frac{\Phi_L}{S} \quad (2.8)$$

Donde:  $E$ = Iluminancia.

$\Phi_L$ = Flujo luminoso.

$S$ = superficie ( $m^2$ ).

Cuando los niveles de iluminación son una magnitud escalar, aquellas iluminancias de la superficie procedentes de distintas fuentes de luz pueden sumarse sin ninguna inconveniencia, además no depende de la dirección en que lleguen a dicho plano de referencia.

- Iluminancia promedio ( $E_{med}$ ): es una medida importante que hay que considerar en el momento de realizar cualquier proyecto de iluminación, ya que permite determinar la uniformidad de la iluminancia en cualquier superficie de interés. Se define como la relación entre la sumatoria de las iluminancias calculadas en cada punto considerando el número de dichos puntos.

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{np} Ep_i}{np} (lux) \quad (2.9)$$

Donde:  $E_{med}$ = Iluminación media.

$Ep_i$ = iluminancia en el punto  $i$ -ésimo.

$np$ = números de puntos considerados.

Es importante resaltar que a medida en que el número de puntos calculados aumenta, mayor será la exactitud de la iluminancia media.

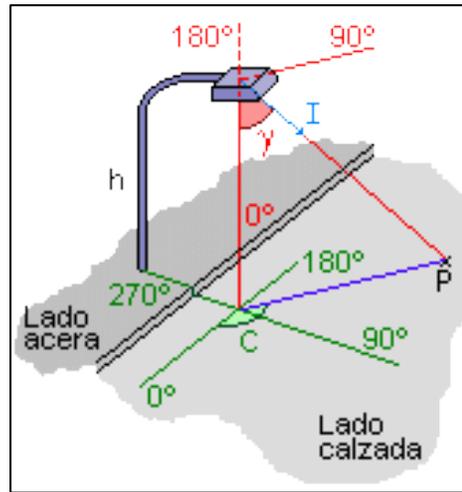
- Reflectancia ( $\rho$ ): es la razón del flujo reflejado para el flujo incidente. Los valores medidos de reflectancia dependen principalmente de los ángulos de incidencia y de visión, y sobre todo de las características espectrales del flujo incidente.
- Transmitancia ( $\tau$ ): es la razón del flujo transmitido para el flujo incidente. Los valores medidos de transmitancia depende del ángulo de incidencia, del método de medición del flujo transmitido y de las características espectrales del flujo incidente.
- Absortancia ( $\alpha$ ): es la razón del flujo absorbido para la mitad del flujo incidente. La suma de la reflectancia, transmitancia y Absortancia es uno.[1]

### **2.2.8 Diagrama de curvas de distribución polar:**

En estos gráficos la intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas ( $I$ ,  $C$ ,  $\gamma$ ). La primera de ellas,  $I$ , representa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo  $C$  indica en qué plano vertical se encuentra el vector y  $\gamma$  mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último,  $0^\circ$  señala la vertical hacia abajo,  $90^\circ$  la horizontal y  $180^\circ$  la vertical hacia arriba. Los valores de  $C$  utilizados en la gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público. En este caso, los ángulos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$  en la acera;  $90^\circ$  y  $270^\circ$  son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y en la acera.

Con un sistema de tres coordenadas es fácil pensar que más que una representación plana se obtiene una tridimensional. De hecho, esto es así ya que se representa en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa en sus respectivas direcciones y unir después sus extremos, para obtener un cuerpo llamado sólido fotométrico. Para poder simplificar el trabajo, se corta el sólido con planos verticales para diferentes valores de  $C$  (suelen ser uno, dos, tres o más

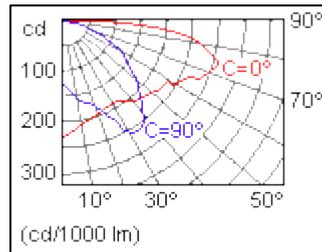
dependiendo de las simetrías de la figura) y se reduce a la representación plana de las curvas más características.



**Figura 2.16:** Representación gráfica del sistema de coordenadas de la intensidad luminosa

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

$$I_{real} = \frac{\Phi_{lampara} * I_{gráfico}}{1000} \quad (2.10)$$



**Figura 2.17:** Curva de distribución luminosa

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

En la curva de distribución luminosa los radios representan el ángulo  $\gamma$  y las circunferencias concéntricas, el valor de la intensidad esta en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo C, solo se suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos ( $C=0^\circ$  y  $C=90^\circ$ ) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad. Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando varía solo la potencia de esta, los gráficos se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm. Para conocer los valores reales de las intensidades bastara con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 lm.

### 2.2.9 Diagrama isocandela:

A pesar de que las curvas de distribución luminosa son herramientas muy útiles y prácticas. Presentan el gran inconveniente de que solo ofrece la información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de  $C$ ) y no se sabe a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela. En los diagramas isocandela se representan en un plano, mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de la intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares. Según como se escojan estos ángulos:

1. Proyector para alumbrado por proyección.
2. Luminarias para alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.

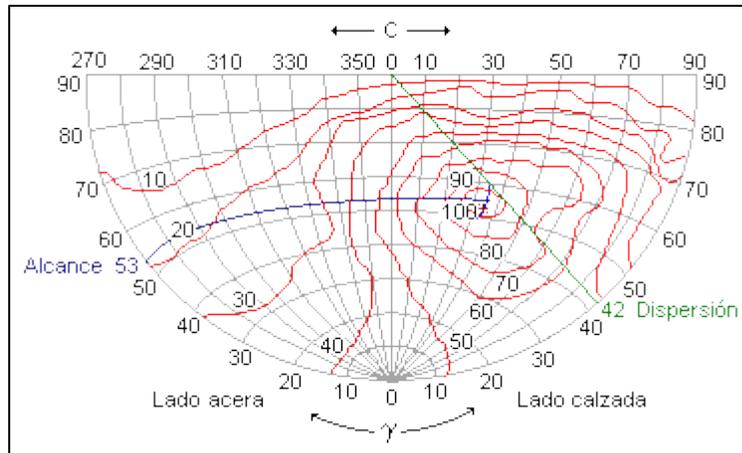
En los proyectores se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares con ángulos en lugar de las típicas "X" y "Y". Para situar una dirección se utiliza un sistema de meridianos y paralelos similar al que se usa con la tierra. El paralelo  $0^\circ$  se hace coincidir con el plano horizontal que contiene la dirección del haz de luz y el meridiano  $0^\circ$  con el plano perpendicular a este. Cualquier dirección queda pues, definida por sus dos coordenadas angulares. Conocidas estas, se sitúan los puntos sobre el gráfico y se unen aquellos con igual valor de intensidad luminosa formando las líneas isocandela.



**Figura 2.18:** Diagrama Isocandela

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos  $C$  y  $\gamma$  usados en los diagramas polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandela. Los puntos de la curva se obtienen por intersección de los vectores de intensidad luminosa con la superficie de esta. Para la representación plana de la superficie se recurre a la proyección azimutal de Lambert.



**Figura 2.19:** Este tipo de diagrama permite informar sobre el alcance y la dispersión de la luminaria

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

En estos gráficos, los meridianos representan el ángulo  $C$ , los paralelos  $\gamma$  y las intensidades líneas rojas, se reflejan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en esta área.

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal. [1]

### 2.2.10 Curva isolux:

Las curvas de los diagramas polares e isocandela se obtienen a partir de características de la fuente luminosa, flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud de la emisión luminosa de esta. Por el contrario, las curvas isolux hacen referencias a las iluminancias, flujo luminoso recibido por una superficie, datos que se obtienen experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades usando la siguiente fórmula:

$$E_H = \frac{I(C,\gamma)}{H^2} * \cos(\gamma)^3 \quad (2.11)$$

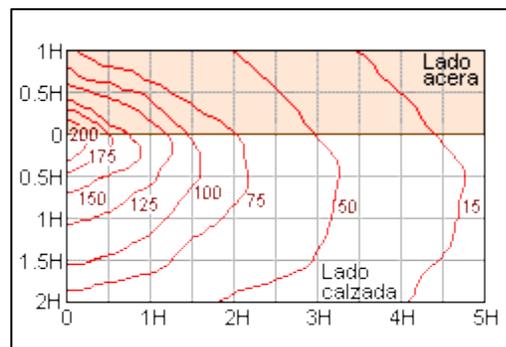
Donde:  $E_H$ = Iluminancia.

$I$ = Intensidad luminosa.

$(C,\gamma)$ = dirección del vector intensidad luminosa.

$H$ =Altura de la luminaria.

Estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público, el cual, da una idea de como iluminan las lámparas la calle; Lo más habitual es expresar la curva isolux en valores absolutos definidas para una lámpara de 1000 lm y una altura de montaje de 1 m.



**Figura 2.20:** Curva isolux expresada en valores absolutos

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la siguiente expresión:

$$E_{Hreal} = E_{curva} * \frac{\Phi_{Lreal}}{1000} * \frac{l^2}{H^2} \quad (2.12)$$

También puede expresarse en valores relativos a la iluminancia máxima (100%) para cada altura de montaje. Los valores reales de la iluminancia se obtendrían a través de la siguiente expresión:

$$E_{real} = E_{curva} * E_{max} \quad (2.13)$$

Donde

$$E_{max} = a * \frac{\Phi_{Lreal}}{H^2} \quad (2.14)$$

Donde:  $E_{Hreal}$ = Iluminancia real.

$E_{curva}$ = iluminancia de la curva.

$E_{max}$ = iluminancia máxima.

$\Phi_{Lreal}$ = flujo luminoso real.

H=Altura de la luminaria.

a=Parámetro suministrado por el fabricante.

### 2.2.11 Factores de utilización

En el alumbrado de caminos se define el factor de utilización ( $\eta$ ) como la fracción del flujo luminoso proveniente de una luminaria que efectivamente alcanza el camino. Las curvas del factor de utilización que se dan en las hojas de información fotométrica, nos ofrecen un método simple para calcular la iluminación media, la cual puede ser determinada para una cierta sección transversal de la carretera.

$$\eta = \Phi_{utilizado} / \Phi_{lámpara} \quad (2.15)$$

Las curvas del factor de utilización para una luminaria se dan como una función de las distancias transversales, medidas en términos de  $h$  (altura de montaje) sobre la superficie del camino. [12]

$$E_{med} = \eta \times \Phi \times n / w \times s \quad (2.16)$$

Donde:  $\eta$ : Factor de utilización.

$\Phi$ : Flujo luminoso de la lámpara.

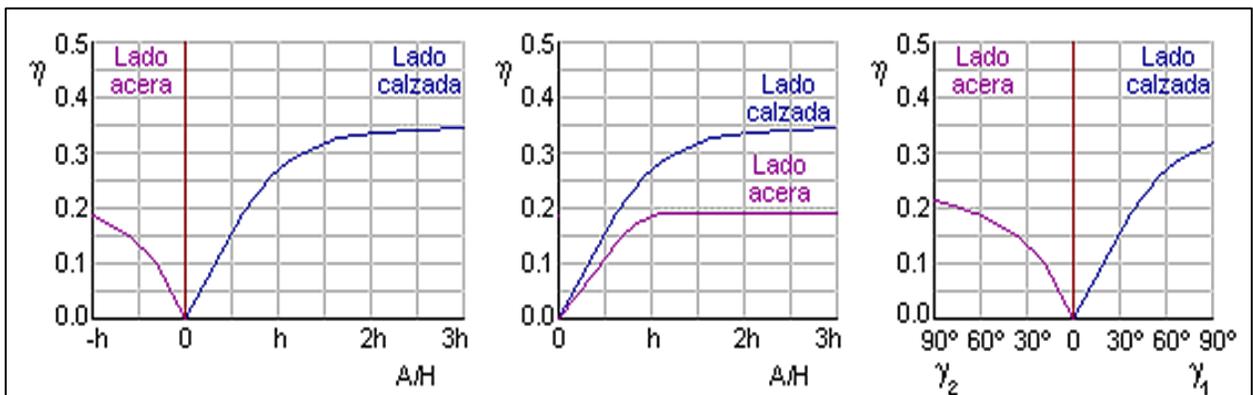
$n$ : Numero de lámparas por luminaria.

$w$ : Ancho de la vía.

$s$ : Interdistancia entre luminarias.

#### 2.2.11.1 Método de los lúmenes o del factor de utilización

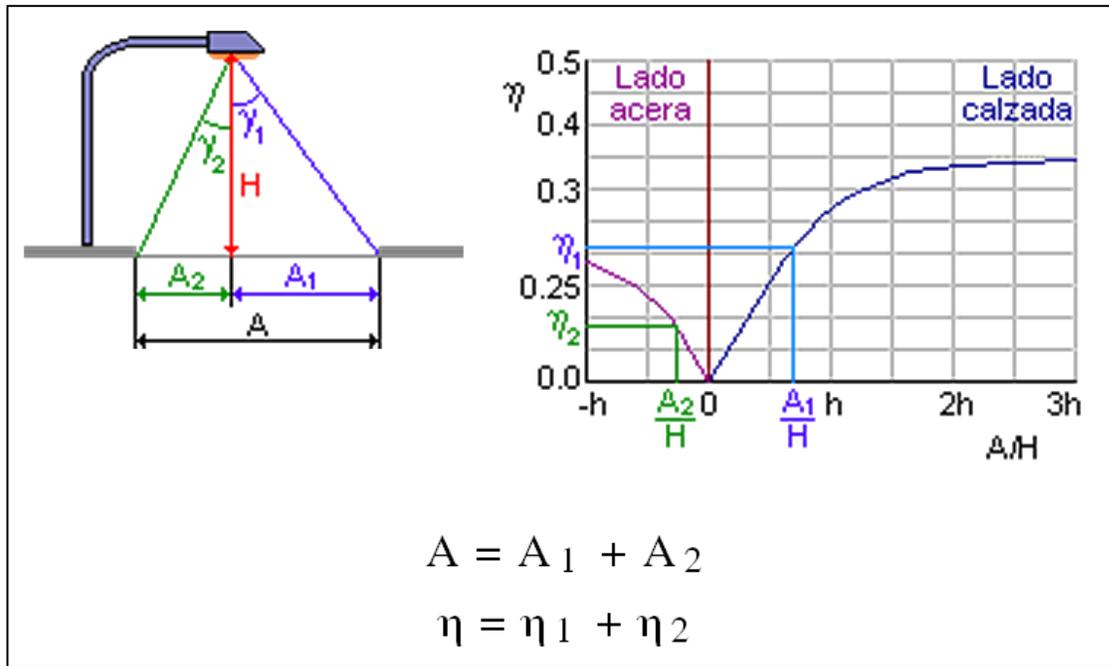
Del mismo modo, El factor de utilización es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria, normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura ( $A/H$ ), la más habitual, o de los ángulos  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  en el lado calzada y acera respectivamente



**Figura 2.21:** Curvas del factor de utilización

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/iluminacion-exterior/vias-publicas-calculo.html> [1]

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas. Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en otros casos la cosa puede ser diferente.



**Figura 2.22:** Ejemplo de cálculo mediante curvas del factor de utilización

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/iluminacion-exteriores/vias-publicas-calculo.html> [1]

### 2.2.12 Criterios de calidad fundamental.

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media ( $L_m$ ,  $L_{AV}$ ), los coeficientes de uniformidad ( $U_0$ ,  $U_L$ ), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

#### 2.2.12.1 Coeficientes de uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad  $U_0$  y la

comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad  $U_L$  (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = L_{\min} / L_m \quad (2.17) \quad U_L = L_{\min} / L_{\max} \quad (2.18)$$

### 2.2.12.2 Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las farolas o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama **deslumbramiento molesto** a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

<b>G</b>	<b>Deslumbramiento</b>	<b>Evaluación del alumbrado</b>
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

**Tabla 2.6:** Índice de deslumbramiento

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

Donde la fórmula de G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación.

Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

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. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}} \quad (2.19)$$

Donde  $L_v$  es la luminancia de velo equivalente y  $L_m$  es la luminancia media de la calzada.

### 2.2.12.3 Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (*Surround Ratio*, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.[1]



**Figura 2.23:** Espacio de medición del SR

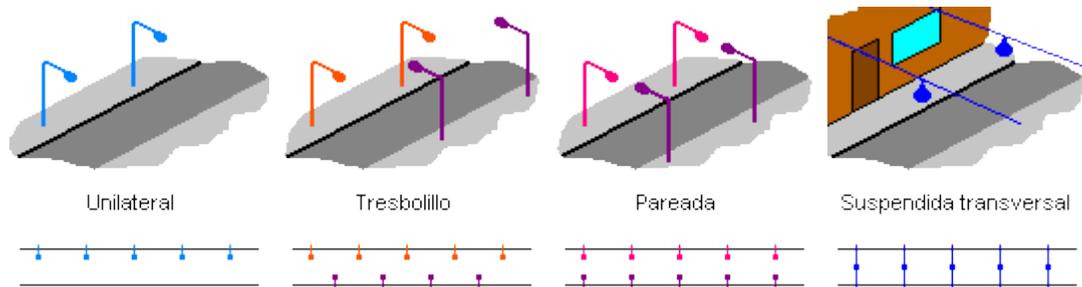
**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

### 2.2.13 Disposición del alumbrado publico

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la

exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.



**Figura 2.24:** Disposiciones del alumbrado público para una calzada

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5.

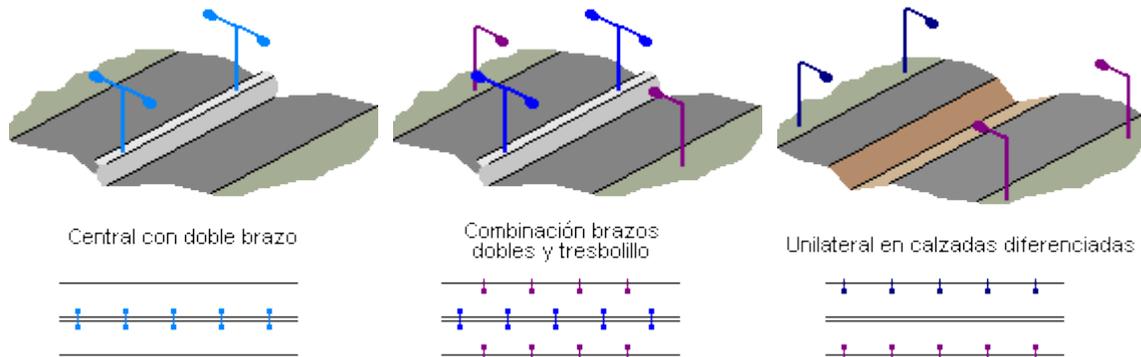
	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
<b>Unilateral</b>	$A/H < 1$
<b>Tresbolillo</b>	$1 \leq A/H \leq 1.5$
<b>Pareada</b>	$A/H > 1.5$
<b>Suspendida</b>	Calles muy estrechas

**Tabla 2.7:** Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje según la disposición

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada.

Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha. [1]



**Figura 2.25:** Disposiciones del alumbrado público para doble calzada

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

### 2.2.14 Luminarias De Alumbrado Público:

Una luminaria es el aparato que controla y distribuye la luz producida por una o más lámparas. También se le atribuyen las propiedades de proteger y fijar la lámpara y conectarlas en el circuito eléctrico. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que reúnan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que deben cumplir las luminarias, es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

A nivel de mecánica, la luminaria se clasifica según el grado de protección contra el polvo, los líquidos y los golpes. En estas clasificaciones, según las normas nacionales (UNE 20324) e internacionales, las luminarias se designan por las letras IP seguidas de tres dígitos. El primer número va de cero (sin protección) a seis (máximas protecciones) e indica la protección contra la entrada de polvo y cuerpos sólidos en la luminaria. El segundo va de cero a ocho e indica el grado de protección contra la penetración de líquidos. Por último, el tercero da el grado de resistencia a los choques.[15]

A nivel de eléctrica, según el grado de protección (eléctrica) que ofrezcan las luminarias se dividen en cuatro clases (0, I, II, III):

- Clase 0: Aislamiento normal sin toma de tierra.
- Clase I: Aislamiento normal y toma de tierra.
- Clase II: Doble aislamiento sin toma de tierra.
- Clase III: luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

### **2.2.15 Clasificación De las Luminarias De Alumbrado Público Según Su Característica Fotométrica:**

Desde un punto de vista óptico las luminarias de alumbrado público se clasifican según la simetría del flujo en: luminarias simétricas y asimétricas.

#### **2.2.15.1 Luminarias de distribución simétricas:**

En éstas el flujo se reparte uniformemente en todas las direcciones, además se obtiene gran iluminación al pie de las luminarias y zonas oscuras en los puntos intermedios de dos luminarias consecutivas. Esto produce poca uniformidad y efecto de deslumbramiento. Son convenientes en parques, plazas, estacionamientos, cruces y áreas abiertas. En el reporte fotométrico de la luminaria se puede representar con una sola curva polar de distribución.

### 2.2.15.2 Luminarias de distribución asimétricas:

En éstas el reparto del flujo luminoso no se hace de forma simétrica respecto a un eje, y la distribución espacial de las intensidades luminosas solo puede expresarse mediante un sólido fotométrico, o por una representación plana de dicho sólido, o parcialmente, según diversos planos característicos de la luminaria.

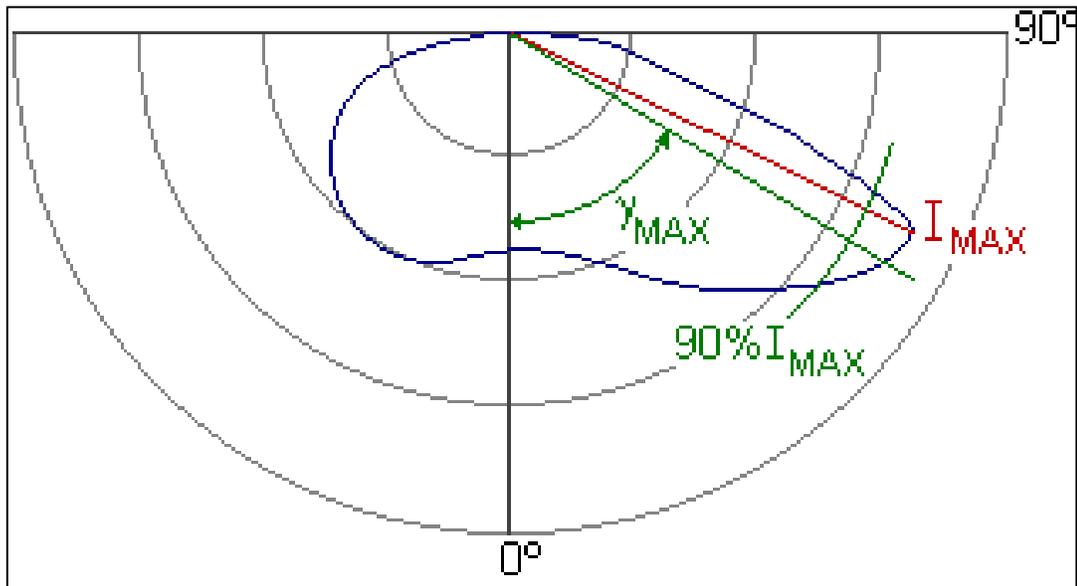
Las luminarias de alumbrado público con distribución asimétrica se clasifican a su vez, de acuerdo a la comisión internacional de iluminación (C.I.E) del año 1965, en tres tipos.

- a) Luminaria Cut-Off (haz recortado): Oculta la visión directa de la fuente de luz, suprimiendo los rayos luminosos que formen con la vertical un ángulo de  $75^\circ$ . Su zona brillante no se extiende muy lejos a ambos lados del poste que soporta la luminaria. Para obtener un reparto correcto de luz, estas deben ser colocadas próximas entre si. Son utilizadas en autopistas y en vías de circulación rápida.
  
- b) Luminaria semiCut-off (haz semi-recortado): En este caso se suprimen totalmente los rayos luminosos emitidos por encima de un ángulo entre  $80^\circ$  y  $85^\circ$  respecto a la vertical. Se aplican en calles, avenidas de menor importancia, transito mediano y velocidad media y se puede distanciar más.
  
- c) Luminaria non Cut-off (haz no recortado): En este tipo de luminaria la intensidad luminosa alcanza un valor que oscila entre 0.5 y 0.75 del valor máximo en una dirección que forma un ángulo aproximado de  $85^\circ$  con la vertical, lo que se traduce en un mayor deslumbramiento. La zona brillante obtenida con esta luminaria sobre la calzada, es en forma de T, obteniéndose una mayor extensión a ambos lados del poste que para luminarias Cut-Off, lo que quiere decir que para lograr una misma iluminación, estas luminarias deben instalarse a mayores distancias entre si. Este tipo

de luminaria no es recomendable en disposición axial, ya que las superposiciones de las zonas brillantes producirían una luminancia exagerada, así como también, dejando a oscura gran parte de las zonas laterales, por lo tanto se recomienda para disposiciones bilaterales, es decir, a ambos lados de la calzada. Son destinadas para ser usadas en calles secundarias, urbanizaciones y barrios con poca circulación a baja velocidad.

Así mismo, en la actualidad las luminarias se pueden clasificar según los siguientes parámetros:

- a) Alcance: Es la distancia determinada por el ángulo  $\gamma_{max}$ , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de  $I_{max}$  que corresponde al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.

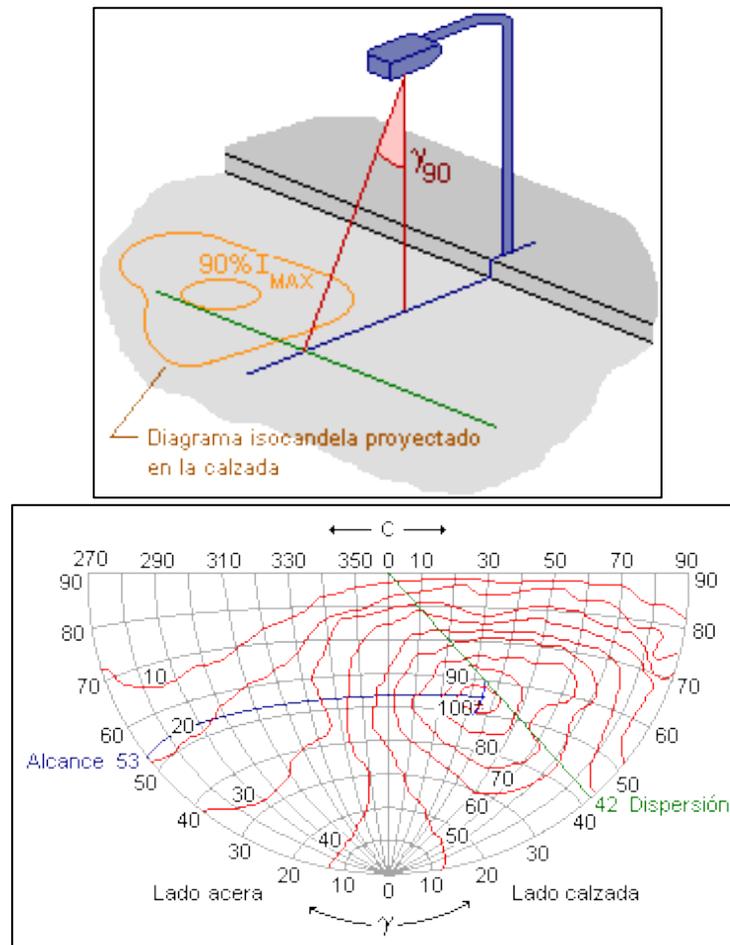


**Figura 2.26:** Diagrama polar de  $I_{max}$

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

Alcance corto	$\gamma_{max} < 60^\circ$
Alcance intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{max} \leq 70^\circ$
Alcance largo	$\gamma_{max} > 70^\circ$

- b) **Dispersión:** Es la distancia determinada por el ángulo  $\gamma_{80}$ , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de  $I_{max}$  proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



**Figura 2.27:** Ilustración del diagrama isocandela proyectado en la calzada a través del diagrama isocandela y la dispersión de una luminaria

**Fuente:** <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html> [1]

- c) Control: Permite conocer, o dar una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Control limitado	$SLI < 2$
Control medio	$2 \leq SLI \leq 4$
Control intenso	$SLI > 4$

### 2.2.16 Tipos de fuente de luz usados en sistemas de alumbrado público:

Las lámparas utilizadas en los sistemas de alumbrado público de la zona servida de la Electricidad de Caracas y sus filiales son las de Incandescentes, Luz mixta y las de descarga de alta intensidad (H.I.D) que son las de vapor de mercurio, vapor de sodio alta presión y metal halide.

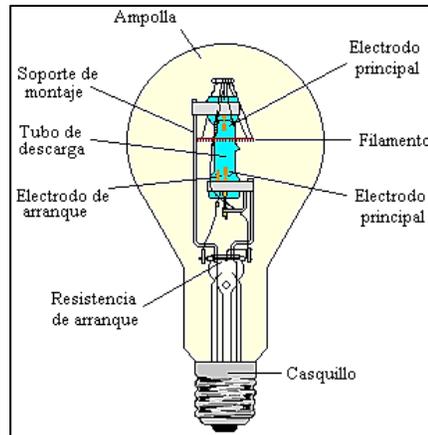
Las lámparas incandescentes y luz mixta se conectan directamente de la red, en cambio las de descarga llamadas H.I.D contienen los componentes auxiliares para su buen funcionamiento. Los componentes del circuito sería el balasto que su función es limitar la corriente de arranque de la lámpara, el arrancador que su función es la de entregar el pico de voltaje necesario (2,5 kV – 5 kV) para el encendido de las lámparas, y por último el condensador que va conectado paralelo a la red para el mejoramiento del factor de potencia del circuito.[12]

#### 2.2.16.1 Lámparas incandescentes

Son lámparas cuya luz es generada al pasar la corriente eléctrica por un filamento de tungsteno, hasta alcanzar una temperatura tan elevada que emite radiaciones visibles. Para evitar que el filamento haga combustión, se cubre con una ampolla de vidrio sellada al vacío o rellena con gas. En general, el rendimiento de este tipo de bombillo es bajo puesto que la mayor parte de la energía se convierte en calor su ventaja es que garantiza la reproducción de colores de los objetos iluminados.

### 2.2.16.2 Lámparas luz mixta

En una combinación de bombillo de mercurio con bombillo incandescente. La vida útil de este tipo de bombillo viene limitada por el filamento. Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto, ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente.

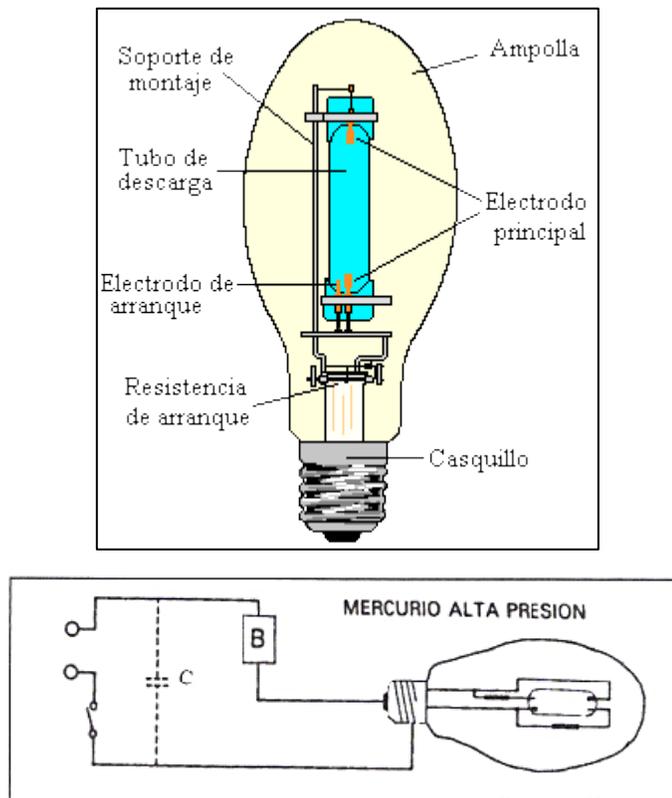


**Figura 2.28:** Lámpara luz mixta.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

### 2.2.16.3 Lámparas de vapor de mercurio

La luz emitida por esta lámpara es de color azul verdoso, característico de la alta presión. Su eficiencia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales, el cual ioniza el contenido de la capsula facilitando la descarga y por consiguiente el encendido de la lámpara. Este proceso tiene una duración aproximada de 4 minutos durante la cual la lámpara va pasando del tono violeta al blanco azulado, a medida que va encendiendo se necesitan de equipos auxiliares tales como un balasto (inductancia) para regular la corriente de encendido y evitar la ruptura de la capsula de cuarzo, además de un condensador para mejorar su factor de potencia.



**Figura 2.29:** Parte constructiva de la lámpara de vapor de mercurio y su circuito de conexión.

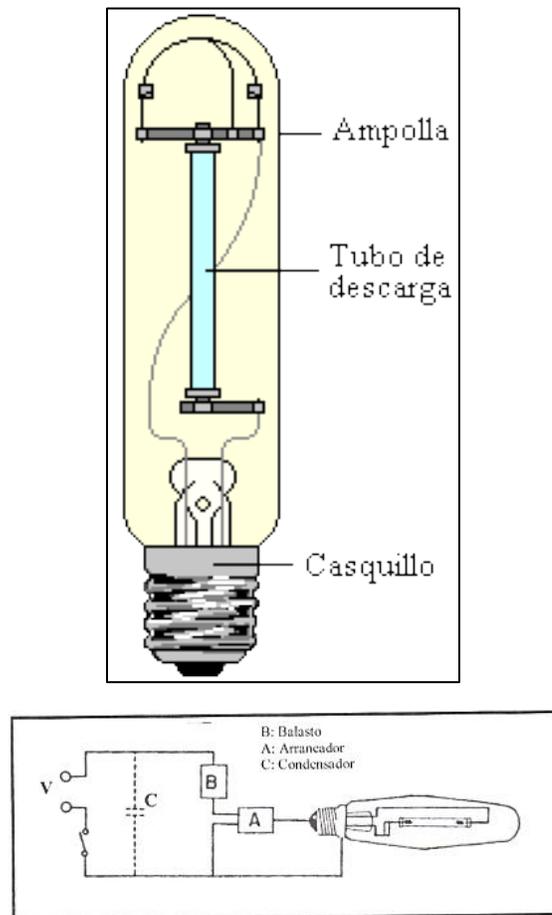
**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

#### 2.2.16.4 Lámparas de vapor de sodio alta presión

Estos bombillos contienen un exceso de sodio en comparación con los de baja presión poseen además Mercurio y Xenón para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a las paredes del tubo de descarga. Este tipo de bombillo abarca casi todo el espectro visible y es ampliamente usado en iluminación de exteriores por su capacidad de acentuar los elementos iluminados. Utiliza equipos auxiliares para su encendido tales como la inductancia para estabilizar la corriente, el arrancador o ignitor para el arranque que le suministra el pico de alto voltaje entre 2,5 Kv a 5 Kv en un tiempo muy pequeño en  $\mu s$  y un condensador para mejorar su factor de potencia.

Eventualmente, el voltaje de operación de la lámpara se incrementa a un nivel mas allá del voltaje que el balasto pueda sostener, y cuando esto sucede, la lámpara arrancara calentándose hasta lograr su completa brillantez para luego extinguirse. Esto se llama voltaje de extinción de la lámpara de sodio de alta presión y solamente a este tipo de lámpara le sucede este fenómeno.

Cuando esta secuencia de operación se repite regularmente, se dice que esta cicleando, y es característica de cuando la lámpara ha llegado al final de su vida útil. Se ha determinado experimentalmente que el voltaje de operación de estas lámparas aumenta en 1.5 V por cada 1000 horas de funcionamiento.



**Figura 2.30:** Parte constructiva de la lámpara de sodio alta presión y su circuito de conexión.

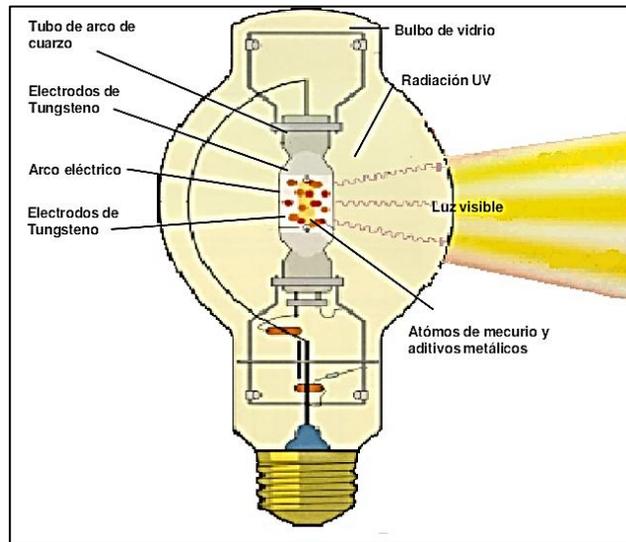
**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

#### 2.2.16.5 Lámpara de aditivos y Halogenuros metálicos

Estas lámparas son básicamente lámparas de vapor de mercurio a alta presión a las que se les han añadidos otros metales. Corresponde a la familia de las lámparas de alta intensidad de descarga (HID) y es la fuente de luz blanca más eficiente disponible hoy en día. Además, incorpora todas las características deseables de otras fuentes luminosas: alta eficacia, vida razonablemente económica, excepcional rendimiento de color y buena reproducción de color y mantenimiento de lúmenes. Actualmente se fabrican dos tipos de lámparas: Lámparas de aditivos metálicos fabricadas en América del Norte y lámparas de halogenuros metálicos fabricadas en Europa.

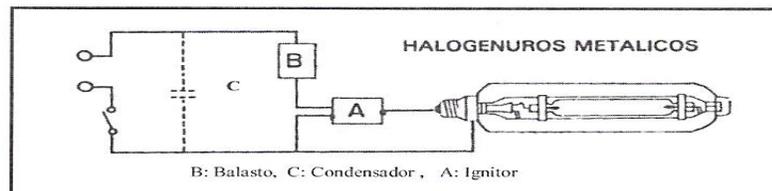
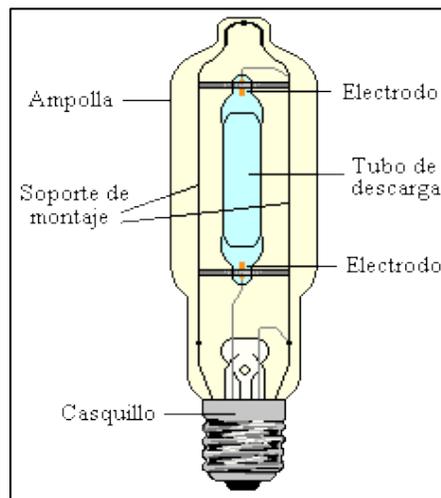
La lámpara de aditivos metálicos tienen un tubo de descarga de cuarzo, ligeramente menor que el correspondiente a una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia. El tubo de arco contiene gas argón y mercurio, mas yoduro de torio, sodio y escandio. El principio y funcionamiento es similar a las lámparas de aditivos que para su arranque necesitan de un dispositivo como el ignitor o arrancador.

Las lámparas de halogenuros metálicos en si, son lámparas de mercurio a alta presión que contienen halogenuros de las tierras raras, Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y Tulio (Tm), consiguiéndose así un rendimiento luminoso mas elevado y mejores propiedades de reproducción cromática que las mismas lámparas de vapor de mercurio y las de aditivos metálicos estudiadas anteriormente. Para su funcionamiento utilizan balasto, ignitor y condensador. Cabe destacar que es muy importante que el fabricante especifique la posición óptima de operación de la lámpara para su buen funcionamiento.[12]



**Figura 2.31:** Parte constructiva de la lámpara de aditivos metálicos.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]



**Figura 2.32** Parte constructiva de la lámpara de halógenos metálicos.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

### 2.2.17 Sistema Eficiente De Iluminación:

Es un sistema de iluminación que tiene como objetivo proveer de condiciones de visión, de seguridad y de comodidad a los ambientes. En la medida que se puedan lograr estas metas minimizando los costos tanto iniciales como operativos se obtendrá un sistema eficiente.

#### 2.2.17.1 Eficiencia energética:

La eficiencia energética del sistema de iluminación depende tanto de la eficiencia de la instalación como de su uso.

- a) Eficiencia de la instalación: implica el uso de lámparas, equipos auxiliares y luminarias de alto rendimiento, para lograr las condiciones de iluminación deseadas. Dicha eficiencia depende también del diseño de la instalación y del espacio donde este colocado.
- b) Eficiencia en el uso: depende de la posibilidad de reducir el consumo energético de las instalaciones, mediante el aprovechamiento de la luz natural y también, utilizando un sistema de control que apague las luces cuando el espacio se encuentra desocupado.

[11]

#### 2.2.17.2 Factor de mantenimiento

La depreciación de los sistemas de iluminación a lo largo de su tiempo de vida útil es uno de los factores más importantes a tener en consideración en cualquier proyecto luminotécnico y tiene un enorme impacto en el consumo energético. El factor de mantenimiento (MF) cualifica y cuantifica esta depreciación, teniendo en consideración los factores siguientes (este factor incide directamente sobre el flujo inicial):

- La depreciación del flujo luminoso de las lámparas utilizadas (LLMF- *Factor Mantenimiento del Lumen de las Lámparas*). Esta depreciación está fuertemente condicionada por la temperatura de funcionamiento de la lámpara en el interior de la

luminaria y por las condiciones de funcionamiento en términos eléctricos. Cuanto mayor sea la temperatura de funcionamiento y las fluctuaciones de la tensión de alimentación de las lámparas provocadas por las perturbaciones existentes en la red eléctrica, mayor será la depreciación, en consecuencia, menor el factor.

- La tasa de supervivencia de las lámparas utilizadas (*LSF- Factor de Supervivencia de la Lámpara*). Las lámparas tradicionales presentan siempre una tasa de mortalidad (cuando ocurre un fallo catastrófico, la lámpara se desconecta por completo), siendo el tiempo de vida útil de la lámpara medido en función de esta tasa de mortalidad (especificado en el nivel de los 50%). Paralelamente, se considera la depreciación del valor medio del flujo luminoso de toda la instalación, reflejo de esta tasa de mortalidad. Concretamente, cuanto mayor sea la tasa de mortalidad, mayor será la depreciación de este valor medio y, en consecuencia, menor el LSF. En la iluminación, pública, teniendo en cuenta la distribución regular de luminarias, la falta de una de las lámparas provoca la aparición de una región oscura (sin iluminación), lo que corresponde directamente a una reducción del nivel medio del flujo luminoso y, en consecuencia, del nivel de iluminación en el plano. Más grave aún, perjudica gravemente los niveles de uniformidad exigidos por la norma (EN13201-2).
- La depreciación de las luminarias (*LMF- Factor de Mantenimiento de la Luminaria*). Este factor es fuertemente condicionado por las condiciones de mantenimiento de las luminarias, principalmente al nivel del sistema óptico. En este sistema se incluye los reflectores y las protecciones a través de los cuales la luz es emitida. Todas las lámparas tradicionales emiten cantidades bastante grandes de radiación UV e IR, las cuales (en especial la UV) contribuyen fuertemente a la degradación de los reflectores y de las protecciones (más allá de la radiación presente en la luz solar). Cuanto mayor sea esta degradación, menor será el factor LMF. Por otro lado, la radiación emitida atrae generalmente insectos, lo que contribuye también a la degradación del LMF. A eso podemos añadir la suciedad que se acumula naturalmente en las protecciones, con los mismos resultados prácticos.

En condiciones normales de funcionamiento, teniendo en cuenta su casi total independencia de las condiciones de funcionamiento, la tecnología LED presenta niveles de depreciación de flujo luminoso bastante reducidos, del orden del 1 a 2%. La tecnología HPS tiene depreciaciones de 20 a 30%.

En cuanto a la tasa de supervivencia, en el caso de la tecnología LED no se aplica. De hecho, como esta tecnología no presenta un final de vida catastrófico (o sea, los LEDs no se apagan por completo), ha sido necesario encontrar una nueva forma de cuantificar su tiempo de vida útil. La ASSIST (*Alliance for Solid-State Illumination Systems Technologies*) determinó que 70% es el límite máximo a partir del cual, es posible, al ojo humano detectar una reducción del flujo luminoso (está relacionado con la integración logarítmica de nuestro ojo, menos sensible en los niveles de flujo más elevado). Así, se quedó especificado que una reducción efectiva del 30% del flujo luminoso en relación al valor inicial define el fin del tiempo de vida útil de un LED. Dicho de otra manera, cuando se dice que un LED alcanza el fin de vida a las 50.000h, estamos en la práctica diciendo que tiene, aún, por lo menos 70% del flujo inicial de cuando fue conectado por primera vez. Actualmente, se trabaja con niveles de B10/L70, lo que corresponde a una reducción efectiva del flujo luminoso de 30% pero solo en 10% de los LEDs.

En términos de depreciación de la luminaria (LMF), al no ser utilizado ningún tipo de reflector, el nivel de degradación en el caso de la tecnología LED es siempre inferior. Por otro lado, como no emiten radiación UV ni IR, no dañifican las protecciones (solamente la luz solar podrá contribuir a ello, pero también aquí el efecto será mínimo teniendo en cuenta que serán utilizados materiales con tratamiento anti-UV) ni atraen insectos. Para la suciedad, se recurre a tratamiento anti-estático, minimizando de esta forma su efecto.

En resumen, el factor de mantenimiento es mucho más elevado en los sistemas de LED, rondando el 75 al 80%. Al contrario, en el caso de la tecnología HPS, el factor de mantenimiento ronda habitualmente el 45% (o aun menos, pudiendo llegar al 33%). Teniendo en cuenta la disparidad de valores, se traduce en un nivel de iluminación mucho más estable por parte de los LEDs en relación a los niveles iniciales y en una degradación acentuada por parte de la tecnología HPS. Dicho de otra manera, en un proyecto de iluminación, la utilización de la

tecnología HPS obliga a su excesivo sobredimensionamiento, lo que se traduce en pérdidas energéticas innecesarias de forma a compensar la degradación acentuada y conseguir que se cumpla con los niveles especificados por las normas. Considerando un MF de 45% significa que es necesario más del doble de la energía desde el primer instante para que se pueda asegurar este factor de mantenimiento. Desde otra perspectiva, inicialmente son considerados niveles de iluminación muy superiores a los necesarios. Más allá del enorme desperdicio de energía que representa, esto solo contribuye para aumentar la incomodidad en la utilización de los espacios públicos iluminados de esta forma, puesto que se irán registrando variaciones acentuadas de los niveles de iluminación, lo que deteriora la calidad de la iluminación.

## **2.2.18 Especificaciones de GE EVOLVE LED serie Cobrahead R150 (ERMC) iluminación media.**

### **2.2.18.1 Características generales**

Este avanzado sistema óptico LED ofrece una mejor uniformidad horizontal y vertical, menor deslumbramiento y control de la iluminación mejorado. La carcasa Cobrahead curvilínea se asemeja mucho a las luminarias del mercado actual, incorpora un disipador de calor en forma de aleta, que no solamente ofrece un excelente manejo térmico optimizando la larga vida útil del LED, sino que también permite que el agua escurra para minimizar la acumulación de suciedad en el exterior de la luminaria. El diseño del disipador de calor y la tecnología GE ofrecen una gestión térmica del calor generado en los terminales del LED, sin importar la temperatura del disipador. Esta luminaria ofrece hasta un 50% de reducción de consumo de energía comparado con los sistemas estándar HID dependiendo de la aplicación. Además, este confiable sistema ofrece más de 11 años de vida útil para reducir significativamente la frecuencia del mantenimiento y gastos de operación, basado en una vida útil de 50.000 horas y 12 horas de operación diaria.



**Figura 2.33:** Luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).

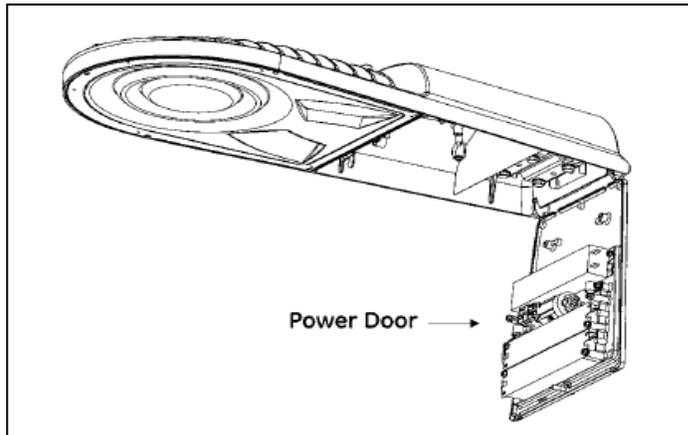
**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

#### 2.2.18.2 Aplicaciones

Este sistema ofrece un avanzado sistema óptico LED de alta uniformidad, control de deslumbramiento, mejorada distribución de iluminación vertical, y menor incidencia de luz en zonas no deseadas, para una efectiva iluminación en vías públicas.

#### 2.2.18.3 Carcasa

- La carcasa es de aluminio fundido.
- Inspirada estéticamente por una luminaria de carretera tradicional (cobrahead), incorpora un disipador de calor directamente en la unidad garantizando la máxima transferencia de calor, una larga vida útil de los LEDs y una reducida área proyectada efectiva (EPA).
- La puerta del compartimiento eléctrico tiene un pasador de retención.



**Figura 2.34:** Parte interna de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

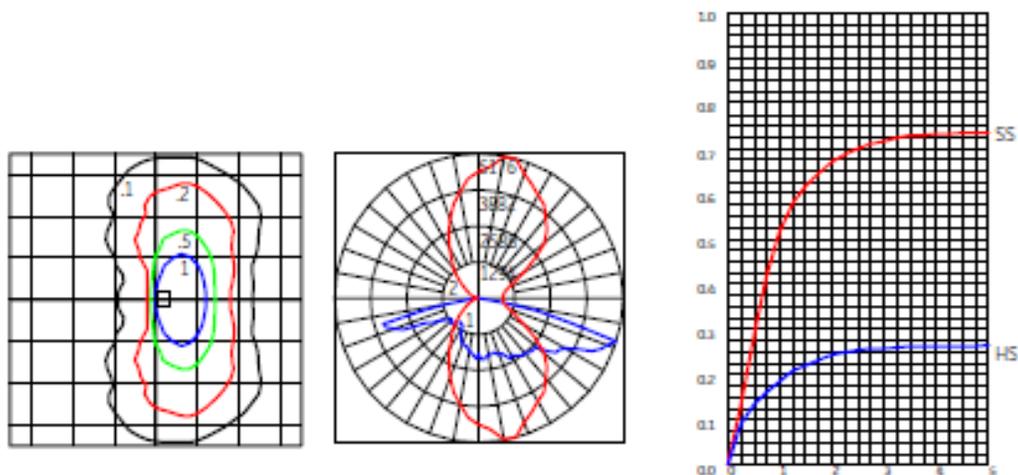
#### 2.2.18.4 Ensamblaje óptico y LED

- Arreglos de LEDs diseñado para optimizar la distribución fotométrica sobre la carretera o autopista.
- La fuente de luz consta de reflectores direccionales concéntricos diseñados para optimizar la eficiencia de la aplicación y reducir al mínimo el deslumbramiento.
- Utiliza LEDs de alta luminosidad, con CRI de 70 a 4300K, 6000K y 6500K.
- las pruebas e informes se realizan de acuerdo con el estándar IESNA LM-79.

Modelo	Voltaje	Fotometría	Lúmenes	Watts	Color del LED
ERMC	120-277V 347-480	A1 = Asimétrica ancho	6,000	95-100W	60=6000K
		A2 = Asimétrica ancho	8,700	142-149W	
		A3 = Asimétrica ancho	9,600	157-165W	
		A4 = Asimétrica corto	5,100	80-84W	
		A5 = Asimétrica corto	7,000	115-121W	
		A6 = Asimétrica corto	7,800	127-133W	

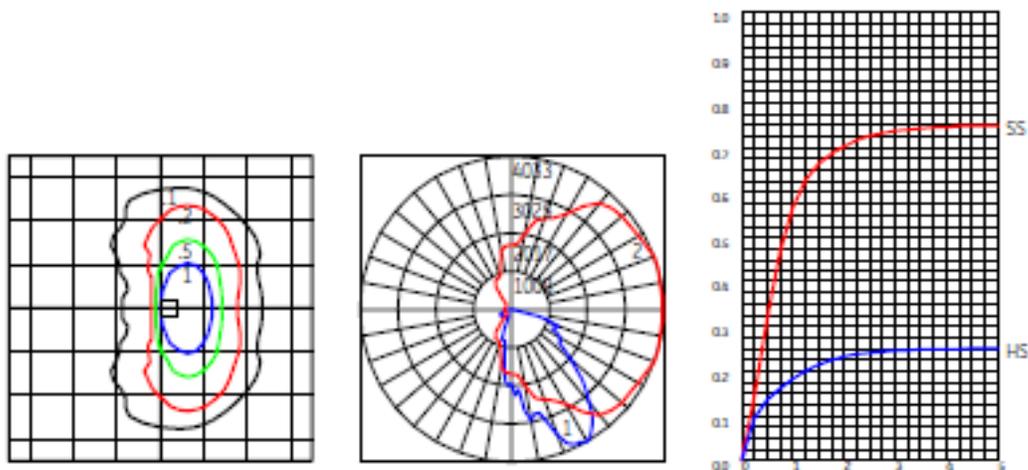
**Tabla 2.8:** Clasificación de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 2.35:** Asimétrica ancho (A3) de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC); primera gráfica: cuadrícula de distancia en unidades de altura de montaje para 30 pies, valorado candela-pie. Segunda gráfica: diagrama polar horizontal y vertical a través del máximo ángulo horizontal de candela-vatios. Tercera gráfica: coeficientes de utilización (ancho de la calle/ altura de montaje)

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 2.36:** Asimétrica corto (A6) de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC); primera gráfica: cuadrícula de distancia en unidades de altura de montaje para 30 pies, valorado candela-pie. Segunda gráfica: diagrama polar horizontal y vertical a través del máximo ángulo horizontal de candela-vatios. Tercera gráfica: coeficientes de utilización (ancho de la calle/ altura de montaje)

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

### 2.2.18.5 Mantenimiento Lumínico

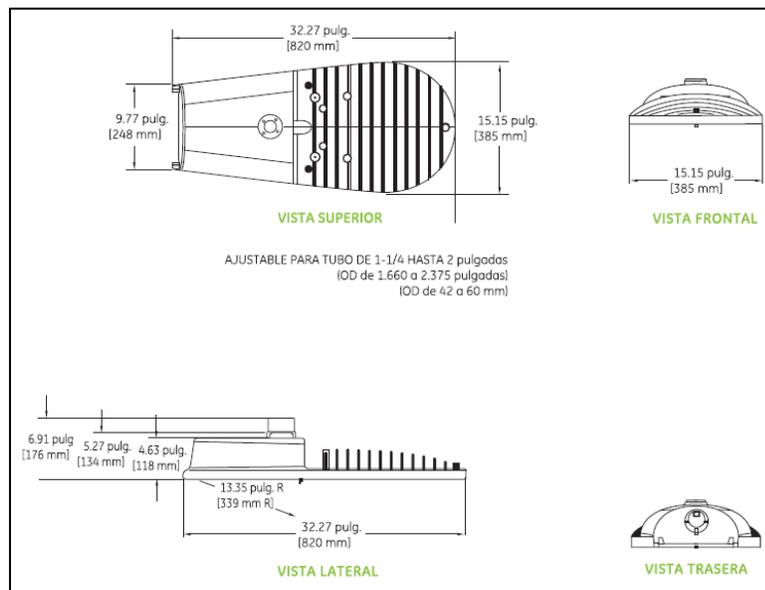
- La vida estimada del sistema es de 50.000 horas con un mantenimiento de flujo luminoso del 85% (L85).

### 2.2.18.6 Certificaciones

- Ensamblaje óptico con índices IP 65 de acuerdo con el estándar ANSI C136.25-2009.
- Apto para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ .
- Cumple con RoHS (no contiene plomo ni mercurio).

### 2.2.18.7 Montaje

- Vástago deslizante de 4 pernos con  $\pm 5$  grados de ajuste de nivelación.
- Tope para el brazo fundido con la luminaria.
- Brazo de montaje con protector contra la entrada de objetos pequeños.
- Ajustable para tubo de 1.25 pulg. o 2 pulg.



**Figura 2.37:** Dimensiones de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

### 2.2.18.8 Acabado

- Pintura anticorrosiva de poliéster, con un espesor mínimo de 2.0 mm.
- Colores estándar: negro y gris; y colores RAL.

<b>D A T O S</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Peso aproximado:<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 120-277 V; &lt;100 W = 12.5Kg.</li><li>➤ 120-277 V; &gt;100 W = 13.2Kg.</li><li>➤ 347-480 V;&lt;100 W = 14.0Kg.</li><li>➤ 347-480 V; &gt;100 W =14.9Kg.</li></ul></li><li>• Área proyectada efectiva (EPA) = 1.1 pies cuadrados máximo (0.10 metros cuadrados)</li></ul>
----------------------------------	--

**Tabla 2.9:** Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead R150 (ERMC).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

### 2.2.18.9 Características eléctricas

- Disponible en 120-277 VAC y 347-480VAC 60Hz.
- Corriente nominal LED  $\leq 467\text{mA}$
- 123 LEDs de 1.1 W c/u
- Factor de potencia del sistema es 90% y THD <20%.
- Índice sonoro clase ``A``.
- Protección integral contra picos de voltaje en luminarias no dimerizables:
  - Para 120-277VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 4kV/2kA categoría B2 (120 Eventos)
  - Para 347-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 6kV/3kA categoría B3 (120 Eventos)
- Protección integral contra picos de voltaje en luminarias dimerizables:
  - Para 120-277VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2-2002, 6kV/3kA categoría B (120 Eventos)

- Protección contra alto voltaje de gran capacidad, opcional de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2.-2002
  - Clasificación 1-10kV/5kA Categoría por ubicación (120 Eventos)
  - Clasificación 2-6kV/3kA categoría C (5000 Eventos)
- EMI: FCC 47 CFR 15 clase A
- Sensores Fotoeléctricos (PE) disponible para todos los voltajes [16]

## **2.2.19 Normativas que se refieren a iluminación en Venezuela**

### 2.2.19.1 Iluminación para el ahorro energético.

Según el ministerio de poder popular para la energía eléctrica el 10 de junio del 2011 en la resolución N° 73,201° y 152°

#### **CONSIDERANDO**

Que, en relación con el Producto Interno Bruto, el consumo de energía eléctrica de la población en nuestro país, es más alto que el promedio de América Latina, lo que indica un patrón de consumo ineficiente, que Pueblo y Gobierno deben revertir.

#### **CONSIDERANDO**

Que la demanda de energía eléctrica nacional ha experimentado en los últimos años un crecimiento excesivo muy superior a los requerimientos reales de energía eléctrica, acentuándose aún más en el presente año.

#### **CONSIDERANDO**

Que pese a las importantes inversiones realizadas para satisfacer el crecimiento de la demanda, desde el momento en que cesaron las medidas para el ahorro de energía aplicadas durante 2010, se ha registrado un repunte excesivo en el consumo de electricidad, lo cual exige al Ejecutivo

Nacional el establecimiento de estrategias y lineamientos que promuevan el uso eficiente de la Energía Eléctrica en las Áreas y Zonas Servidas por la Corporación Eléctrica Nacional S.A. (CORPOELEC).

## **CONSIDERANDO**

Que en el territorio nacional existen diferentes patrones de consumo producto de las condiciones climáticas y culturales propias de cada región, encontrándose entre los valores más altos de toda Latinoamérica.

## **RESUELVE**

Artículo 1. La presente Resolución tiene por objeto regular y promover el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en los sistemas de publicidad contenidos o promovidos en vallas y avisos publicitarios luminosos. En tal sentido, se prohíbe el uso de lámparas, bombillas incandescentes o halógenos en vallas y avisos publicitarios, debiendo sustituirse por lámparas y bombillos ahorradores.

Asimismo, se deberán sustituir todos los tubos fluorescentes de tipo T12 (40W o 20W) por tubo fluorescentes tipo T8 (32W o 17W), utilizados en esos medios publicitarios.

**Artículo 2.** Los medios publicitarios exteriores (avisos luminosos y vallas publicitarias) ubicados en las distintas vías públicas del país, así como los avisos luminosos de los establecimientos y empresas, utilizados por personas jurídicas de carácter privado, sólo podrán estar encendidos en el horario comprendido entre las 7:00 y las 12:00 de la noche, debiendo permanecer apagadas el resto del día.

En caso de que existan razones técnicas o de seguridad que impidan el cumplimiento de estas acciones, requiriendo implantarse algunas distintas a las aquí expuestas, deben ser autorizadas por este Ministerio, previa evaluación de informe presentado por el solicitante.

**Artículo 3.** Quedan exceptuados de la medida establecida en el artículo anterior, las farmacias, los centros de salud y las instalaciones de seguridad ciudadana, instalaciones en las cuales deberán usar preferiblemente sistemas de iluminación tipo LEDs o bombillos ahorradores.[17]

En la resolución N° 77,201° y 152° en el artículo 4 describen las actividades que se deben realizar para el uso eficiente de la energía eléctrica y describe lo siguiente en Iluminación:

- A. Se prohíbe el uso de lámparas o bombillas incandescentes o halógenos, las cuales deben ser sustituidas por lámparas o bombillas ahorradoras.
- B. Se deberán sustituir todos los tubos fluorescentes de tipo T12 (40W O 20W) por tubos fluorescentes tipo T8 (32 W O 17W)
- C. Se deberán sustituir todos los balastos magnéticos por balastos electrónicos al final de su vida útil.
- D. Deberán permanecer apagados los sistemas de iluminación interna de las edificaciones fuera de los horarios laborales, exceptuando las luces de emergencia y de seguridad.
- E. Se deben instalar sistemas o mecanismos de control de iluminación.
- F. Eliminar el uso de iluminación ornamental.
- G. Utilizar sólo iluminación exterior estrictamente necesaria, la cual deberá contar con sistemas o mecanismos de control para su encendido y apagado.
- H. Ajustar los niveles de iluminación o apagarlas en aquellas oficinas, instalaciones o áreas con suficiente iluminación natural, de acuerdo a las tareas realizadas en cada área, según la Norma COVENIN 2249:93, “Iluminación en Tareas y áreas de Trabajo”.
- I. Apagar los avisos luminosos y vallas publicitarias.
- J. Apagar la iluminación de las fuentes ornamentales públicas en el horario de 12:00a.m. A 6:00 a.m.
- K. Deberá de manera progresiva, utilizarse tecnología de luminarias de vapor de sodio o de mayor eficiencia, en áreas exteriores, estacionamientos de vehículos y alumbrado público.[18]

2.2.19.2 Característica de iluminación de vías según normas Venezolanas (COVENIN 3290-1997)

Clasificación			Luminancia				Iluminancia			Índice de Deslumbramiento
Calidad de iluminación	Tipo de vía	Tipo de zonas	Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Um	Ug	UL	Em (Lux)	U1	U2	G
A1	Autopista y vías expresa	Todas	2	0,4	0,30	0,70	25-30	0,40	0,30	7
A2	Principales y recolectoras	A	2	0,4	0,30	0,70	20-25	0,40	0,30	7
		B	2	0,4	0,30	0,70	15-20	0,33	0,25	6
		C	1,8	0,33	0,25	0,70	15-20	0,33	0,25	6
B1	Vías secundarias	A	1,5	0,33	0,25	0,80	15	0,33	0,20	5
		B	1,5	0,33	0,25	0,80	10	0,33	0,20	5
		C	1	0,30	0,20	0,80	10	0,30	0,15	5
B2	Vías locales	A	-	-	-	-	10-15	0,30	0,15	5
		B	-	-	-	-	10	0,30	0,15	5
		C	-	-	-	-	6	0,10	0,10	5

**Tabla 2.10:** Vías urbanas

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Notas:

- Los valores indicados en esta tabla son valores mínimos recomendados con factores de mantenimiento de 0,8 y para pavimentos claros. En caso de pavimentos oscuros deben incrementarse los valores de L y E en un 30% al menos.
- Ug: Uniformidades general  $Ug = L_{min}/L_{max}$
- Um: Uniformidad media  $Um = L_{min}/L_{med}$
- UL: Uniformidad longitudinal  $UL = L_{min}/L_{max}$
- U1: Uniformidad media  $U1 = E_{min}/E_{med}$ , U2: Uniformidad general  $U2 = E_{min}/E_{max}$
- Em: Iluminancia promedio, Lm: Luminancia promedio

Clasificación		Luminancias				Iluminancias			Índice de deslumbramiento G
Calidad de iluminación	Tipo de vía	Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Um	Ug	UL	Em (Lux)	U1	U2	
A1	Autopista y vías expresa	2	0,40	0,30	0,70	25	0,40	0,30	7
A2	Principales y recolectoras	1,5	0,40	0,30	0,70	20	0,33	0,25	6
B1	Vías secundarias	1	0,30	0,25	0,60	15	0,30	0,20	5
B2	Vías locales	-	-	-	-	10	0,20	0,10	4

**Tabla 2.11:** Vías rurales

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Calidad de iluminación	Tipo de área			Em (Lux)	U1
D1	Estacionamiento (Ver nota 1)	Exterior	Con acomodador	25	0,20
			Sin acomodador	15	0,20
		interior	Entradas (ver nota 3)	550	0,20
			Circulación	120	0,15
			Puestos	60	0,15
D2	Estación de servicio y miradores (ver nota 4)	Accesos y salidas (ver nota 1)		20(40)	0,20
		Vías		20(60)	0,15
		Isla de bomba		250(350)	0,20
		Zona de servicio		35(75)	0,20
		Fachadas de edificio sin vidrio (nota 2)		110(320)	-
D3	Plazas de Peaje	Cabinas		350	0,20
		Zonas de pago		250	0,20
		Zonas de acceso		30	0,15
D4	Alcabalas	Zona de control		150	0,20
		Zona de acceso		25	0,15

**Tabla 2.12:** Áreas públicas para estacionamiento de vehículos

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Notas:

1. Los accesos y salidas deben tener un nivel igual a 2 veces el de la vía en que se encuentren
2. Iluminación vertical
3. Este nivel es el mínimo para el puesto de control, en la entrada se deben tomar las medidas necesarias para evitar el efecto de entrada oscura.
4. Los valores entre paréntesis se deben usar cuando los alrededores estén iluminados, los otros cuando no lo están.

Calidad de iluminación	Tipo de área			Em (Lux)	U1
	Uso	Tipo	Zona		
C1	Vías de peatones	Acera	A1	15	0,20-0,30
			B2	10	0,20
			C3	5	0,20
		Veredas	A1	25	0,20
			B2	15	
			C3	10	
		Puentes y pasarelas	A1	25	0,20
			B2	15	
			C3	10	
		Túneles y pasajes cubiertos	A1	80	0,20
			B2	80	
			C3	80	
C2	Parque y Plazas	Áreas de circulación	A1	25	0,15
			B2	15	
			C3	15	
		Zona verde	-	10	-
C3	Terminales de pasajero	Pasajeros y carga	-	250	0,20
			-	220	
		Vías	-	25	0,20

**Tabla 2.13:** Áreas públicas de circulación de peatones

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

### 2.2.20 Normativas que se refieren a iluminación en otros países

Categoría	Alrededores	Nivel de Luminancia	Factores de uniformidad		Restricción del deslumbramiento	
		Luminancia media de la superficie del camino <b>Lmed</b> (cd/m <sup>2</sup> )	Factor de uniformidad total <b>Uo</b>	Factor de uniformidad longitudinal <b>UI</b>	Índice de control del deslumbramiento, <b>G</b>	Incremento del Umbral, <b>TI</b> (%)
		≥	≥	≥	≥	≤
A	Cualquiera	2	0,4	0,7	6	10
B 1	Claro	2			5	10
2	Oscuro	1			6	10
C 1	Claro	2		0,5	5	20
2	Oscuro	1			6	10
D	Claro	2			4	20
E 1	Claro	1	0,5	4	20	
2	Oscuro	0,5		5	20	

**Tabla 2.14:** Valores mantenidos recomendados de los parámetros de alumbrado público según la C.I.E

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Tipo de disposición	Relación = (Altura de montaje de la luminaria/ Ancho de la calle)	
	Valor mínimo	Valor recomendado
Unilateral	0,85	1
Bilateral al tresbolillo	0,5	0,66
Bilateral pareadas	0,33	0,5

**Tabla 2.15:** Recomendaciones Europeas para la disposición de las luminarias

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Lúmenes de la lámpara	Altura de las luminaria (metros)
3000 a 10000	6 a 7,5
10000 a 20000	7,5 a 9
20000 a 40000	9 a 12
40000 a 50000	12 a 15
Mayor a 50000	> 15

**Tabla 2.16:** Altura recomendable de las luminarias de acuerdo a la emisión de lúmenes de la lámpara (Recomendaciones Europeas)

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

Iluminación media en luxes	Relación = $\frac{\textit{Distancia interpostal}}{\textit{Altura de montajes}}$
2 a 7	4 a 5
7 a 15	3,5 a 4
15 a 30	2 a 3,5

**Tabla 2.17:** Recomendaciones Europeas de la relación entre la distancia interpostal sobre la altura de montaje de la luminaria.

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

## CAPÍTULO 3

### 3. MARCO METODOLOGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Con respecto a los esquemas metodológicos la presente investigación se identifica como un **diseño de campo** que a juicio de Arias, F. (1997) plantea que:

“Consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar una variable alguna”.

El tipo de investigación que se establece en el presente trabajo es de **carácter descriptivo**, que a juicio de Tamayo, M. (1998), establece que:

“Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y a la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre las conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”.

#### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la presente investigación, es la siguiente:

- Arqueo bibliográfico de los aspectos que contemplan la investigación.
- Análisis documental en lo referente a la actividad que se realizará.
- Investigación documental acerca de los diversos componentes que conforman el sistema objeto de investigación y desarrollo.
- Visita al lugar de medición con el fin de ejecutar los objetivos y realizar las comparaciones asociadas al objeto de investigación.

### 3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La información objetiva y ordenada se obtendrá a través de las técnicas e instrumentos utilizados por los investigadores. Con relación a esto Morles (1994), señala acerca de las técnicas de recolección de datos, “se explica aquí el procedimiento, lugar y condiciones de recolección de datos. Esta acción es la expresión operativa del proceso de investigación, la especificación concreta de cómo se hará la investigación”.

En tal sentido las técnicas utilizadas serán: *La observación directa*, por medio de la cual se tomarán datos para la comprensión del problema y para distinguir aspectos significativos que deben tomarse en cuenta al momento de diseñar la alternativa propuesta.

Según Méndez, C. (1994), la observación directa “es el proceso mediante el cual se perciben deliberadamente ciertos rasgos existentes en la realidad por medio de un esquema conceptual previo y con base en ciertos propósitos definidos generalmente por una conjetura que se quiere investigar”.

*El análisis documental* juega un papel muy importante dentro de la presente investigación puesto que esta ayuda a la ubicación en el contexto y a la orientación en la totalidad del trabajo de grado.

Según Hurtado, de B.(1998):

“se entiende por revisión documental el proceso mediante el cual el investigador recopila, revisa, selecciona y extrae información de diversas fuentes, acerca de un tema en particular (su pregunta de investigación), con el propósito de llegar a un conocimiento y comprensión mas profundo”.

Adicionalmente, es indispensable considerar los instrumentos más convenientes a utilizar para obtener información. Según Morles (1994):

“En la mayoría de las investigaciones es menester utilizar objetos materiales (instrumentos) para medir las observaciones. Estos instrumentos pueden ser:

- a) de lápiz y papel (test, cuestionarios, fichas, escalas de estimación);
- b) Aparatos (dinamómetros, polígrafos, microscopios, electrocardiógrafos, entre otros)”.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron:

- Internet.
- Libros.
- Notas.
- Normas.
- Luxómetro

## **3.4 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.4.1 Documentación**

En esta etapa de documentación, en primer lugar se buscará toda la información referente a las luminarias LEDs, de manera de tener un conocimiento claro y conciso de cuales son sus principios de funcionamiento, cuáles y cuántos son los elementos que lo componen. Esta investigación previa, consecuentemente lleva a la búsqueda de trabajos presentados con anterioridad en el área de iluminación, ahorro energético y luminarias LEDs. Así mismo, en el transcurso de la documentación, es necesario buscar de ser posible, toda la información de tipo técnico suministrada por el fabricante.

#### **3.4.1.1 Recorridos en campos**

En los recorridos de campo, se efectuarán observaciones directas a efectos de proyectar una comparación entre el sistema de iluminación convencional y el sistema de iluminación a través de tecnología LED. Este recorrido se efectuara en la Av. Monseñor Adams del sector el viñedo estado Carabobo (calle los cafés) el cual se realizara en dos etapas, la primera se

efectuaron mediciones correspondientes a las luminarias actuales (vapor de sodio) y la segunda etapa se realizaron mediciones correspondientes a las luminarias LEDs.

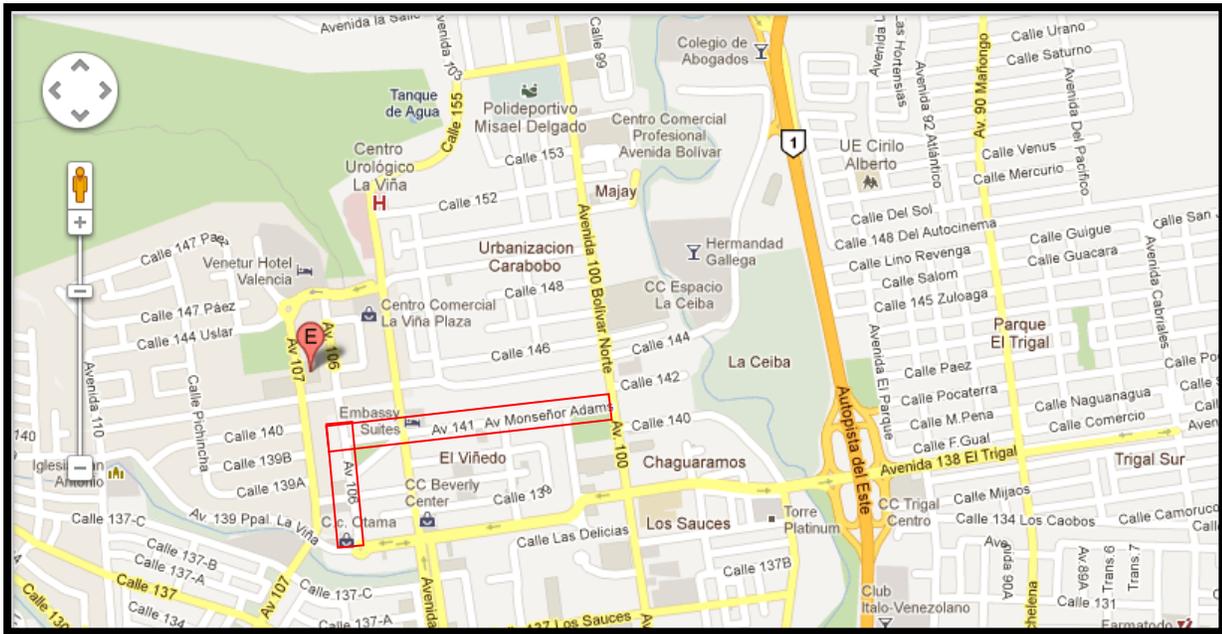


FIGURA 3.1 lo señalado en color rojo es la avenida donde se realiza la corrida piloto.

### 3.4.2 Análisis y evaluación de los sistemas existentes

Se realizará una pre evaluación del sistema de iluminación actual en el país, a través del análisis de información documental y de recorridos en campo, identificando con ello los requerimientos generales del sistema de iluminación vial basándonos en las normativas nacionales como internacionales.

#### 3.4.2.1 Metodología y cálculos

En este punto se desarrollarán mediciones basadas en recomendaciones prácticas Europeas, Americanas de la I.E.S. (Illuminating engineering society) y normativas Venezolanas, que nos permitirá evaluar de manera sencilla la propuesta. El método a realizar es el de los nueve puntos en un lugar en específico de la avenida ya mencionada anteriormente y además una corrida piloto a través de un software (Dialux).

El método de los nueve puntos se utilizara para la primera etapa de las mediciones con la finalidad de medir la iluminancia a través de un luxómetro y este dentro de los límites que establezca la norma. Para la segunda etapa se seguirán las normativas de las normas IES LM 80 y IES LM 79 con las cuales fijan los parámetros para poder realizar las mediciones correspondientes a las luminarias LEDs y así poder realizar una buena comparación entre las distintas fuentes de luz.

### **3.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS**

Entra aquí todos los materiales, equipos y personal que se encuentran involucrados en las etapas de las mediciones de campo correspondientes a un lugar en específico de la avenida ya anteriormente mencionada cuya realización se llevara de la siguiente forma:

Obtención de equipos de medición (luxómetro, cinta métrica), herramientas y señalización de seguridad (conos) ya que esta se realizara permitiendo el paso de un solo carril de la calzada de manera simultánea.

## CAPÍTULO 4

### 4.1 LUMINARIAS UTILIZADAS EN ALUMBRADO PÚBLICO

#### 4.1.1 Luminaria OV- 25 250/400 W Na

- Refractor de cristal de borosilicato prismático que proporciona alta reflectancia.
- Reflector de lámina de aluminio hidroformada y anodizado de alta brillantez.
- Fundición de aluminio inyectado con baja aleación de cobre, brinda servicio liviano, fuerte y confiable.
- Acabado de pintura poliéster en polvo, aplicado electrostáticamente proporciona superior resistencia contra la corrosión.
- Brinda una selección de distribuciones de luz para cada aplicación.
- Sistema fotométrico por computadora para óptimo rendimiento.
- Montaje para brazo con abrazadera de 4 tornillos, brinda el montaje mas seguro de la industria.
- Porta-lámpara de cerámica con rango de tensión de 5kv.
- Cierre con seguro de gatillo inyectado en la parte inferior, permite abrirlo fácilmente con una sola mano para su mantenimiento y cambios de la lámpara.[19]



**Figura 4.1:** luminaria OV- 25

**Fuente:** [19]

[http://www.prosime.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83&Itemid=64](http://www.prosime.com/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=64)

#### 4.1.2 Luminaria SRP 822/250 W – 400 W Na

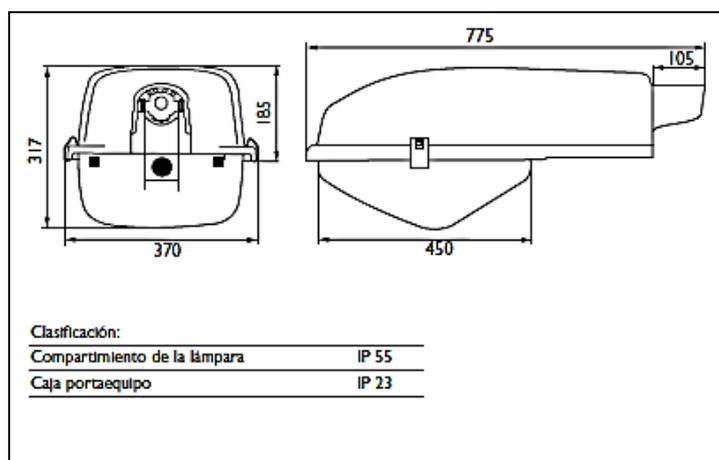


**Figura 4.2:** Luminaria SRP

**Fuente:** Catalogo de luminarias para alumbrado público Philips [20]

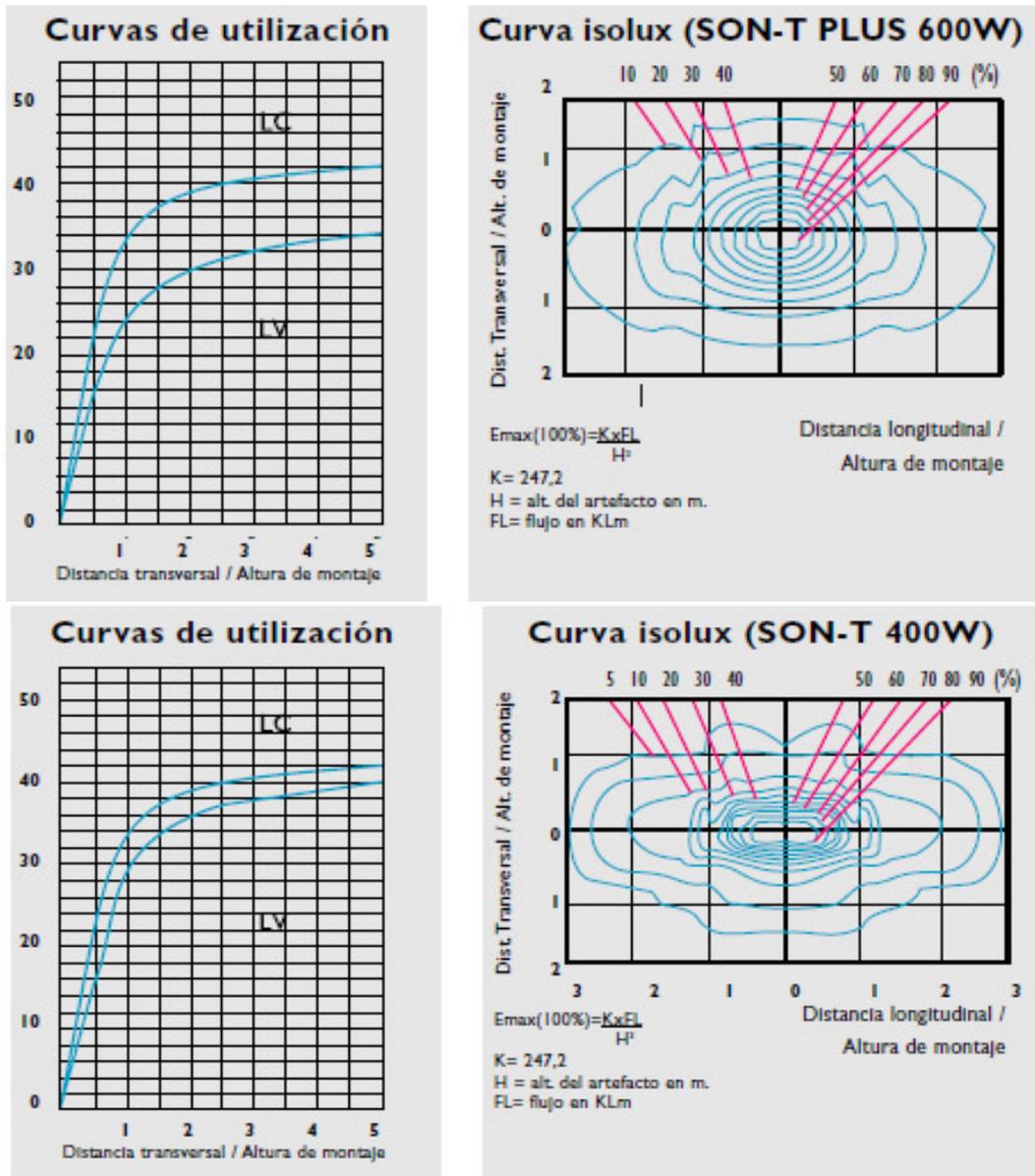
El modelo SRP 822 es una luminaria robusta, de grandes dimensiones, para ser utilizada con lámparas de descarga hasta 600W. El cuerpo y caja porta equipos están confeccionados en aluminio inyectado de alta resistencia a la corrosión; la caperuza de policarbonato transparente posee una gran resistencia al choque térmico y a la acción de los rayos UV, y se abre sin desprenderse, facilitando el recambio de la lámpara al liberar tres clips de acero inoxidable.

El reflector interno de aluminio anodizado de alta pureza posee un diseño de cavidad profunda, optimizado para lámparas tubulares. El equipo auxiliar está montado sobre una bandeja para facilitar el mantenimiento. La posición de la lámpara y del reflector son variables, obteniendo distribuciones lumínicas apantalladas o semi apantalladas y logrando la mejor performance con cada potencia. [20]



**Figura 4.3:** Dimensiones

**Fuente:** Catalogo de luminarias para alumbrado público Philips [20]



**Figura 4.4:** Curvas Isolux y Factor de utilización de lampara de 400 W y 600 W

**Fuente:** Catalogo de luminarias para alumbrado público Philips [20]

### 4.1.3 Luminaria M-400 400 W Na



**Figura 4.5:** Luminaria M – 400

**Fuente:** Corporación OBRAMAT,

<http://www.obramat.com.ve/Luminaria-M-400-Importada.html>

Luminaria de exteriores, construida en aluminio inyectado, con difusor lumínico de vidrio plano. Para ser colocada en poste con brazo generalmente de mas de seis metros de altura o en torres de iluminación. Cuerpo basculante con gancho de presión para cierre hermético. Utiliza bombillo de Vapor de Sodio o Metal Halide, rosca E-40. [21]

Modelo	Tipo de Bombillo	Potencia	Voltaje
M-400	Vapor de Sodio o Metal Halide	250W	208-240V 277V
M-400	Vapor de Sodio o Metal Halide	400W	208-240V 277V

**Tabla 4.1:** Tipo de lámpara para luminaria M-400

**Fuente:** Corporación OBRAMAT, <http://www.obramat.com.ve/Luminaria-M-400-Importada.html> [21]

### 4.1.4 Luminaria EX - 48 250/400 W Na

Luminaria de exteriores para ser colocadas en postes de brazo de  $\Phi$  2'' con cuerpo abatible, carcasa inferior en aluminio inyectado, carcasa superior en aluminio embutido al horno, reflector de aluminio embutido anodizado y difusor de vidrio templado. Utiliza bombillo de Sodio o Metal Halide con sócate E40. [22]

IP: 43/66

Clase I

Altura de montaje: 8 – 12 m

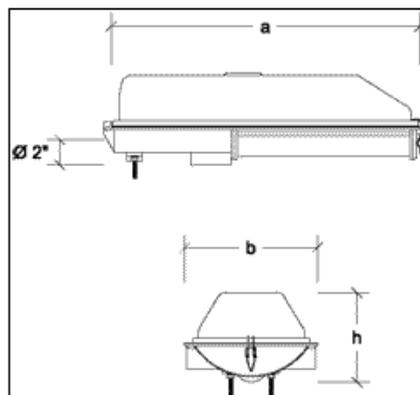
Separación máx: 3 x Hm



**Figura 4.6:** Luminaria EX – 48

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]



**Figura 4.7:** Dimensiones de la luminaria EX – 48

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

Tipo deBorbillo	Voltaje	Tipo de Balasto	Dimensiones (mm)			Peso (Kg)
	(V)		a	b	h	
1x250w SAP	208/240/277	M	605	260	210	8,50
1x400w SAP	208/240/277	M	605	260	210	10,25
1x250w MH	208/240/277	M	605	260	210	7,60
1x400w MH	208/240/277	M	605	260	210	8,40

**Tabla 4.2:** Tipo de lámpara para luminaria EX-48

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

#### 4.1.5 Luminaria EX - 42 175/150 W

Luminaria para exteriores construida de aluminio fluido acabado al horno en texturizado, para ser instalada en poste de  $\Phi 1 \frac{1}{4}$ ". Pantalla reflectora en aluminio repujado acabado al horno y difusor lumínico de vidrio traslucido. Utiliza bombillo de Sodio o Metal Halide con sócate E40. [21]

IP: 65

Clase I

Altura de montaje: 3 – 6 m

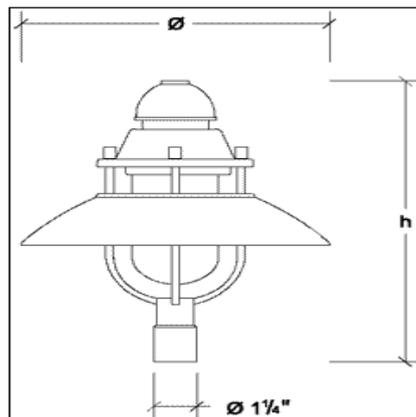
Separación máx: 3 x Hm



**Figura 4.8:** Luminaria EX – 42

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]



**Figura 4.9:** Dimensiones de la luminaria EX – 42

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

Tipo de Bombillo	Voltaje	Tipo de Balasto	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)
	(V)		h	Ø	
1x150w SAP	208/240	M	490	520	11,63
1x70w MH	208/240/277	M	490	520	10,70
1x150w MH	208/240/277	M	490	520	11,80

**Tabla 4.3:** Tipo de lámpara para luminaria EX-42

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

#### 4.1.6 Luminaria Capri EX – 07

Luminaria para exteriores de cuerpo cónico, construida en aluminio repujado. Consta de reflector de aluminio repujado y difusor lumínico de plástico blanco opalino. Sócate de porcelana. Utiliza bombillo incandescente, compacto fluorescente integrado o luz mixta, con sócate E27. [21]

IP: 53

Clase I

Altura de montaje: 3 – 5 m

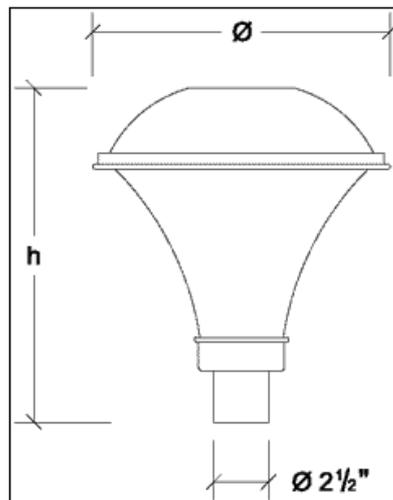
Separación máx: 3 x Hm



**Figura 4.10:** Luminaria EX – 07

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]



**Figura 4.11:** Dimensiones de la luminaria EX – 07

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

Tipo de Bombillo	Voltaje	Tipo de Balasto	Dimensiones (mm)		Peso (Kg)
	(V)		h	ø	
1x100w INC	120	-	375	330	1,30
1x26w CFI	120	-	375	330	1,30
1x150w INC	120	-	460	410	1,45
1x160w LM	120/220	-	460	410	1,45
1x250w LM	120/220	-	610	510	2,30

**Tabla 4.4:** Tipo de lámpara para luminaria EX-07

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

#### 4.1.7 Luminaria EX - 39

Luminaria de exteriores, construida en aluminio acabado al horno, para ser colocada en poste con brazo de  $\Phi 1 \frac{1}{2}$  ”, reflector de aluminio anodizado y difusor lumínico de vidrio templado. Cuerpo basculante con gancho para cierre, posee sócate de porcelana y utiliza bombillo de sodio con sócate E40. [22]



**Figura 4.12:** Dimensiones de la luminaria EX – 39

**Fuente:** Catalogo de Obralux

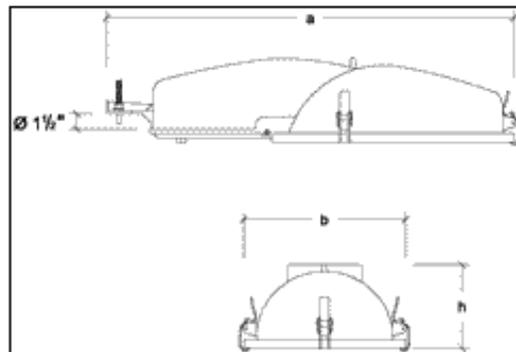
<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

IP: 65

Clase I

Altura de montaje: 4 – 6 m

Separación máx: 3 x Hm



**Figura 4.13:** Luminaria EX – 39

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

Tipo de Bombillo	Voltaje	Tipo de Balasto	Dimensiones (mm)			Peso (Kg)
	(V)		a	b	h	
1x70w SAP	220	M	595	238	125	3,90
1x100w SAP	120	M	595	238	125	4,10

**Tabla 4.5:** Tipo de lámpara para luminaria EX-39

**Fuente:** Catalogo de Obralux

<http://www.obralux.com/catalogo.asp-categoria=EX.htm> [22]

## 4.2 LUMINARIAS GE LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO

### 4.2.1 Luminaria Evolve LED Area light

Cumple fácilmente los requisitos de iluminancia horizontal de acuerdo con IESNA RP-20 excediendo los requisitos de uniformidad. Esta elegante y resistente luminaria ofrece niveles de iluminación desde 5.400 hasta 19.000 lm.

#### 4.2.1.1 Aplicaciones

- Avanzado sistema óptico LED para iluminación de sitios y áreas en general ofrece una alta uniformidad, excelente distribución vertical de la luz en zonas no deseadas, reducido resplandor en el sitio y niveles de la luz para controles de seguridad.
- Ideal para centros médicos, centros comerciales e hipermercados.

#### 4.2.1.2 Carcasa

- Carcasa de aluminio fundido.
- Sobrio diseño arquitectónico que incorpora un disipador de calor directamente sobre la unidad cuyo diseño auto limpiante garantiza una máxima transferencia de calor, larga vida a sus LEDs, y menor Área Proyectada Efectiva (EPA en inglés).
- Cumple con los estándares de vibración ANSI 2G C136.32-2001.

#### 4.2.1.3 Ensamble del sistema óptico LED

- Arreglo de los LEDs optimizado con base en el patrón de distribución requerido.
- Utiliza LEDs de alto brillo, disponible en 4000K y 5700K (para modelos D5) y 6000k (para los demás modelos). Se rige de acuerdo al estándar ANSI (Instituto Nacional de Normalización Estadounidense).
- IRC (Índice de Reproducción de Color) =70.

- Las pruebas y reportes de fábrica se desarrollan de acuerdo con el estándar IESNA LM 79-2008.

#### 4.2.1.4 Mantenimiento lumínico

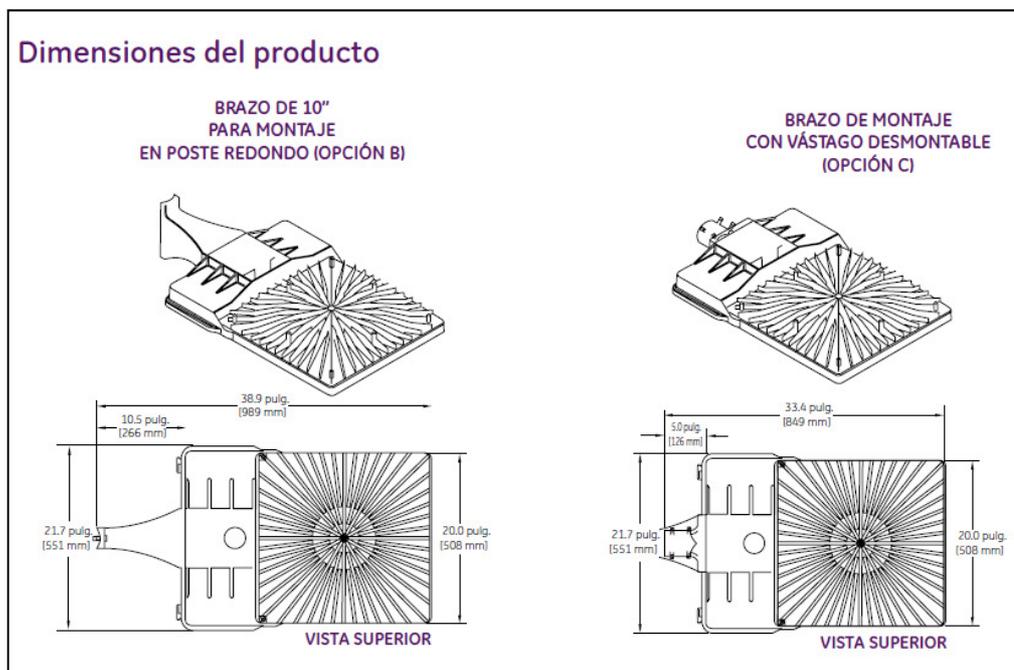
- La vida estimada del sistema es de 50.000 horas con mantenimiento de flujo luminoso del 85 (L85).

#### 4.2.1.5 Certificaciones

- Aprobado UL/cUL, para lugares húmedos.
- Ensamble óptico con índice IP 65 ANSI C136.25-2009.
- Apto para trabajo en temperaturas entre -40° C y +50° C.
- Cumple RoHS (no contiene plomo ni mercurio).

#### 4.2.1.6 Montaje

- Opción A: Brazo de 10-pulg. (254 mm) para poste redondo con terminal de fácil conexión.
- Opción B: Brazo de 10-pulg. (254 mm) para poste redondo con terminal de fácil conexión.
- Opción C: Montaje de vástago deslizante para tubo con un diámetro total de 2-3/8-pulg. (610 mm) pre alambrados con cables de 24-pulg. (610 mm).



**Figura 4.14:** Dimensiones de la luminaria GE EVOLVE LED Area Light.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

#### 4.2.1.7 Acabado

- Pintura anticorrosiva de polvo y poliéster, con un espesor mínimo de 2.0 mm.
- Colores estándar: negro y bronce oscuro.
- También se ofrece en colores RAL.

D A T O S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso aproximado: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 23-26Kg.</li> </ul> </li> <li>• Área proyectada efectiva (EPA) con brazo de montaje de 10": 1.35 pies cuadrados máximo (0.13 metros cuadrados)</li> <li>• Área proyectada efectiva (EPA) con vástago desmontable : 1.19 pies cuadrados máximo (0.11 metros cuadrados)</li> </ul>
-----------------------	---

**Tabla 4.6:** Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Area Light.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

#### 4.2.1.8 Características eléctricas

- Disponible en 120-277VAC y 347-480VAC 60Hz.
- Factor de potencia del sistema es >90% y THD <20%.
- Índice sonoro Clase “A”.
- Protección integral contra picos de voltaje en luminarias no dimerizables:
  - Para 120-277VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 4kV/2kA Categoría B2 (120 Eventos).
  - Para 347-480VAC de acuerdo con el estándar IEE/ANSI C62.41.-1991, 6kV/4kA Categoría B3 (120 Eventos).
- Protección integral contra picos de voltaje en luminarias dimerizables:
  - Para 120-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2-2002, 6kV/3kA Categoría B (120 Eventos).
- EMI: FCC 47 CFR 15 Clase A.
- Sensores fotoeléctrico (PE) disponibles para todos los voltajes.

### **4.2.2 Luminaria Evolve LED Floyd Light (Reflectores para paredes y pasos subterráneos EASM & EAMM)**

#### 4.2.2.1 Aplicaciones

- Módulos individuales y dobles para iluminación general de sitios y áreas, utilizando un avanzado sistema LED óptico que ofrece una alta uniformidad, excelente distribución de la iluminación vertical, reducida visibilidad compensada, reducido deslumbramiento en el sitio y efectivos altos niveles de seguridad.
- El diseño escalable hace que este producto sea ideal para tiendas pequeñas y medianas, para propiedades comerciales y médicas, centros comerciales pequeños o grandes y almacenes grandes.

#### 4.2.2.2 Carcasa

- Carcasa de aluminio fundido
- Sobrio diseño arquitectónico que incorpora un motor de iluminación con disipador de calor modular directamente en la unidad, garantizando la máxima transferencia de calor, una larga vida al LED y una menor Área Proyectada Efectiva (EPA)
- Cumple con los estándares de vibración ANSI 2G C136.32-2001.

#### 4.2.2.3 Ensamblaje LED y óptico

- Disposición estructurada del LED para optimizar la distribución fotométrica de la iluminación del área.
- El motor de iluminación modular Evolve consta de reflectores direccionales concéntricos diseñados para optimizar la eficiencia de la aplicación y minimizar el deslumbramiento.
- Utiliza LEDs de alto brillo, 70 CRI a 4000K y 5700K típico, se rige de acuerdo al estándar ANSI (Instituto Nacional de Normalización Estadounidense) C78.377-2008.
- Las pruebas LM-79 y los informes son realizados de acuerdo a los estándares IESNA.

#### 4.2.2.4 Mantenimiento lumínico

- La vida estimada del sistema es de 50.000 horas a L85.

#### 4.2.2.5 Certificaciones

- Aprobado UL/cUL, para lugares húmedos.
- Ensamblaje óptico con índice IP 65 por ANSI C136.25-2009.
- Para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+50^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.2.6 Montaje

- Opción A: Brazo de montaje de 10-pulg. (254 mm) para poste cuadrado con tablero de terminales de fácil conexión.
- Opción B: Brazo de montaje de 10-pulg. (254mm) para poste redondo con tablero de terminales de fácil conexión.
- Montaje con vástago deslizable para tubo con un diámetro total de 2-3/8-pulg. (60 mm) pre alambrado con cables de 24-pulg. (610 mm).

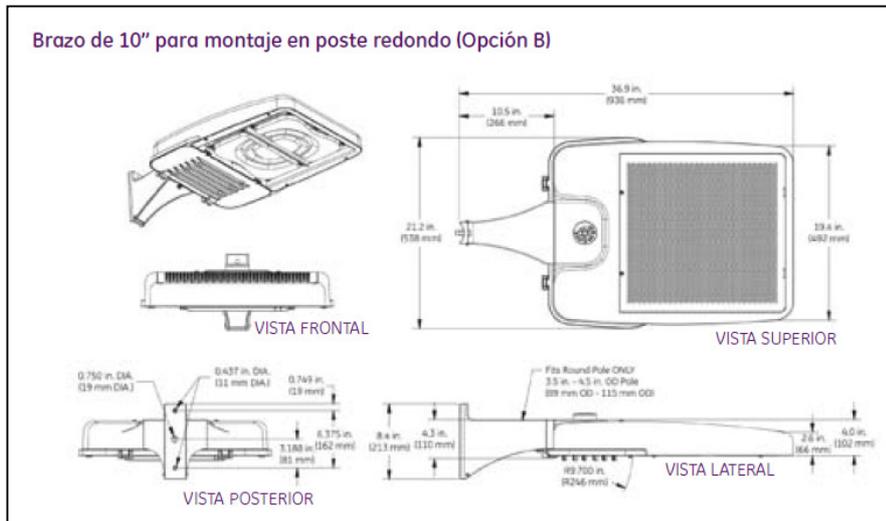
#### 4.2.2.7 Acabado

- Pintura anticorrosiva de poliéster en polvo, con un espesor mínimo de 2.0 mm.
- Colores estándares: Negro y bronce oscuro.
- También se ofrece en colores RAL e individualizados.

#### 4.2.2.8 Características eléctricas

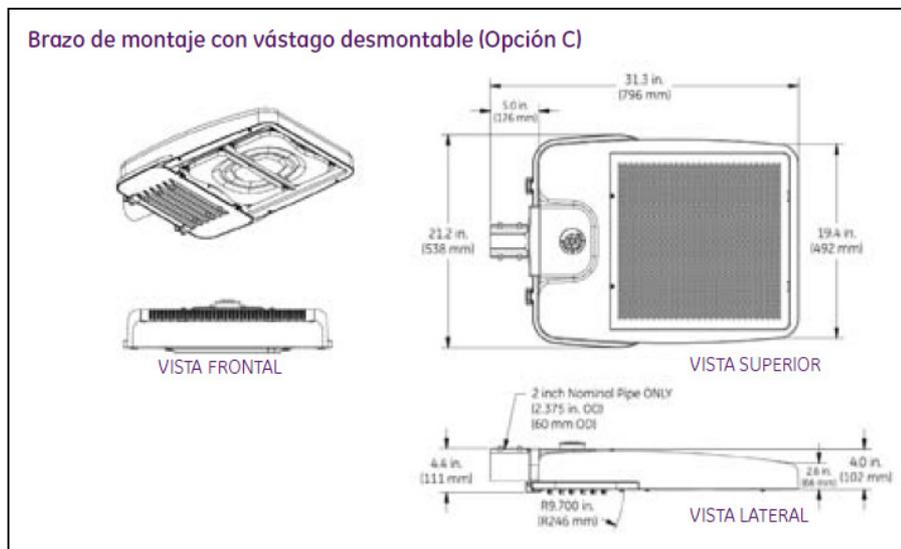
- Disponible en 120-277 voltios y 347-480 voltios.
- Factor de potencia del sistema es >90% y THD <20%.
- Índice sonoro Clase “A”.
- Protección integral contra alto voltaje no oscuro:
  - Para 120-277VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 4kV/2kA Categoría de Ubicación B2 (120 Eventos).
  - Para 347-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 6kV/3kA Categoría de Ubicación B3 (120 Eventos).
- Protección integral contra alto voltaje GE oscuro:
  - Para 120-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2-2002, 6kV/3kA Categoría de Ubicación B (120 Eventos).
- Protección contra alto voltaje de alta capacidad (opcional) de acuerdo al estándar IEEE/ ANSI C62.41.2-2002

- Clasificación 1 - 10kV/5kA Categoría de Ubicación (120 Eventos)
- Clasificación 2 - 6kV/3kA Categoría de Ubicación C-baja (5.000 Eventos).
- EMI: FCC 47 CFR 15 Clase A.
- Sensores fotoeléctricos (PE) disponibles para todos los voltajes.



**Figura 4.15:** Dimensiones de la luminarias medianas Modulares dobles (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light opción B.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



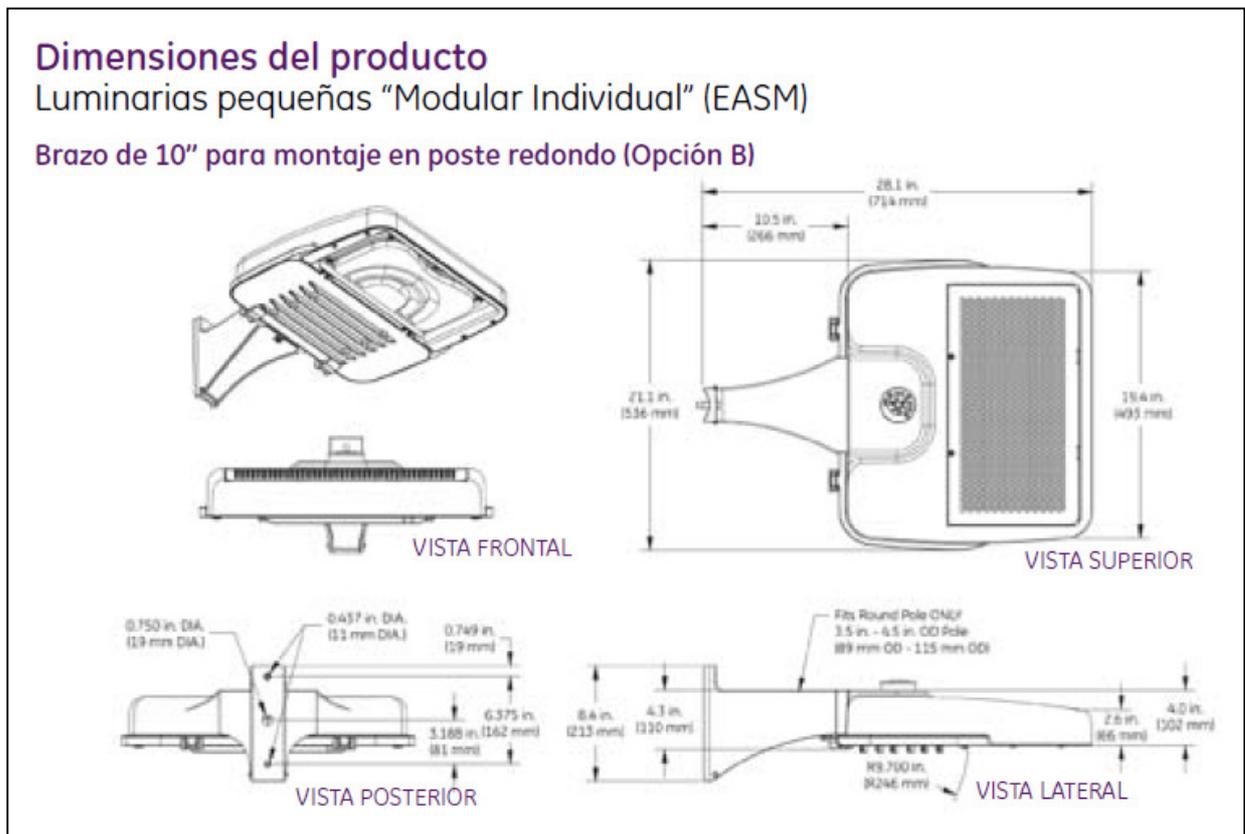
**Figura 4.16:** Dimensiones de la luminarias medianas Modulares dobles (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light opción C.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

- Peso aproximado:
  - 21-22 Kg.
- Área proyectada efectiva (EPA) con brazo de montaje de 10": 1.35 pies cuadrados máximo (0.13 metros cuadrados)
- Área proyectada efectiva (EPA) con vástago desmontable : 0.86 pies cuadrados máximo (0.08 metros cuadrados)

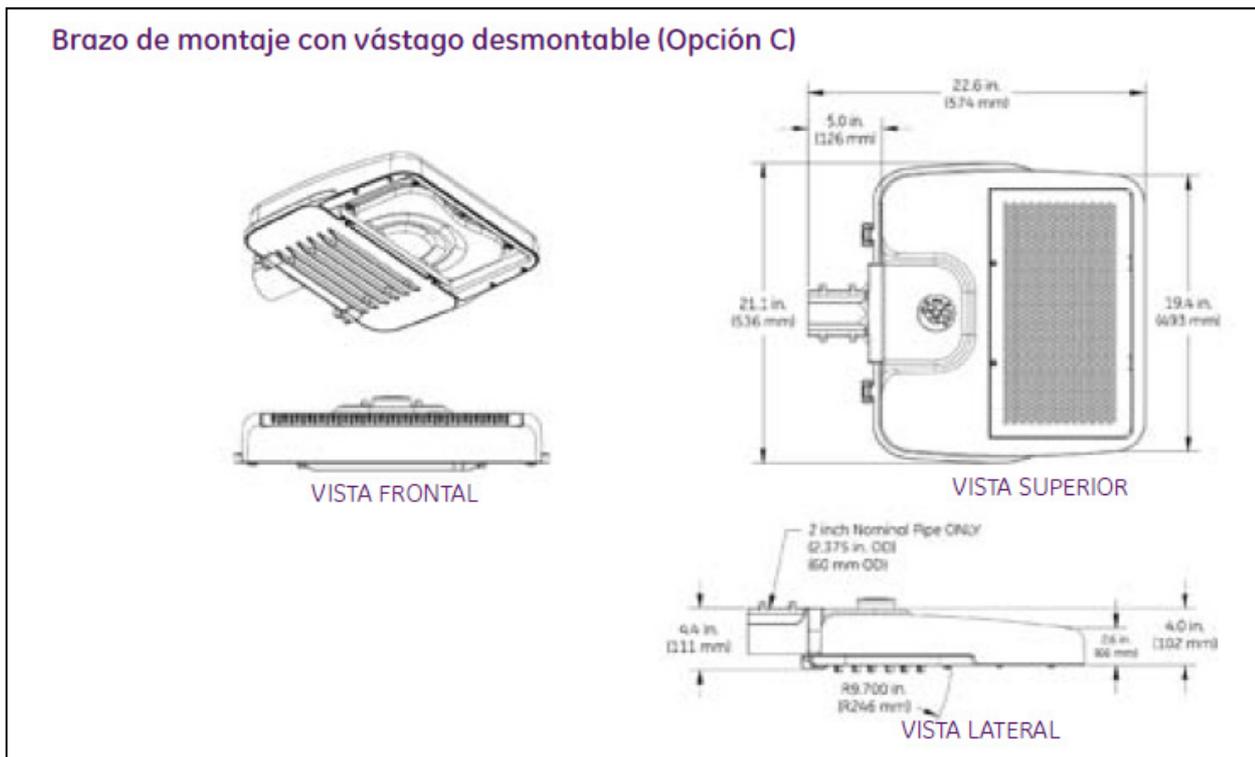
**Tabla 4.7:** Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Floyd Light opción B.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.17:** Dimensiones de la luminarias medianas Modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light opción B.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



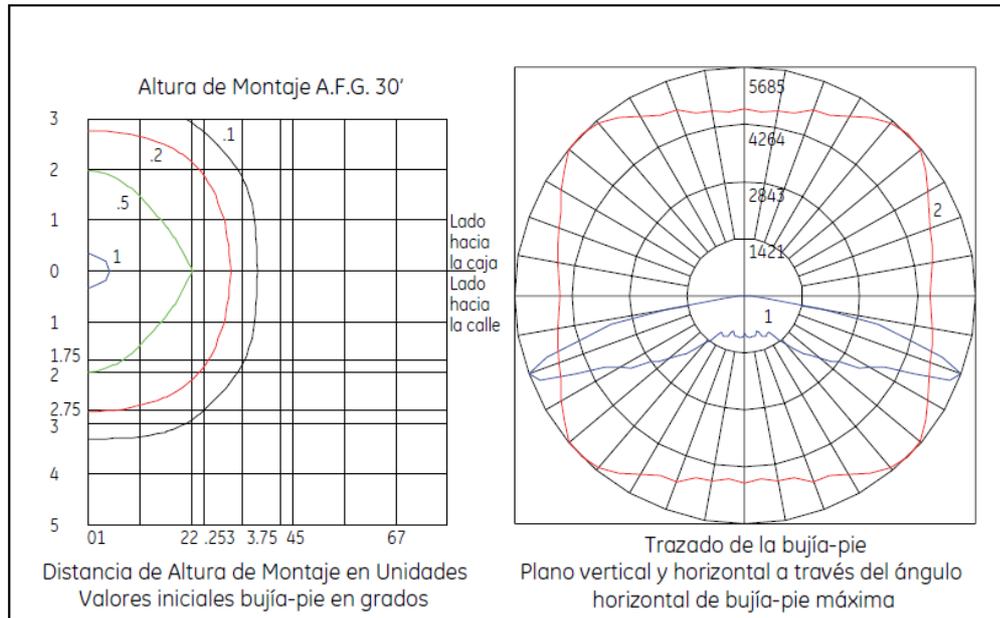
**Figura 4.18:** Dimensiones de la luminarias medianas Modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light opción C.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

D A T O S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso aproximado:             <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 14-15 Kg.</li> </ul> </li> <li>• Área proyectada efectiva (EPA) con brazo de montaje de 10` :1.11 pies cuadrados máximo (0.10 metros cuadrados)</li> <li>• Área proyectada efectiva (EPA) con vástago desmontable :0.62 pies cuadrados máximo (0.06 metros cuadrados)</li> </ul>
-----------------------	---

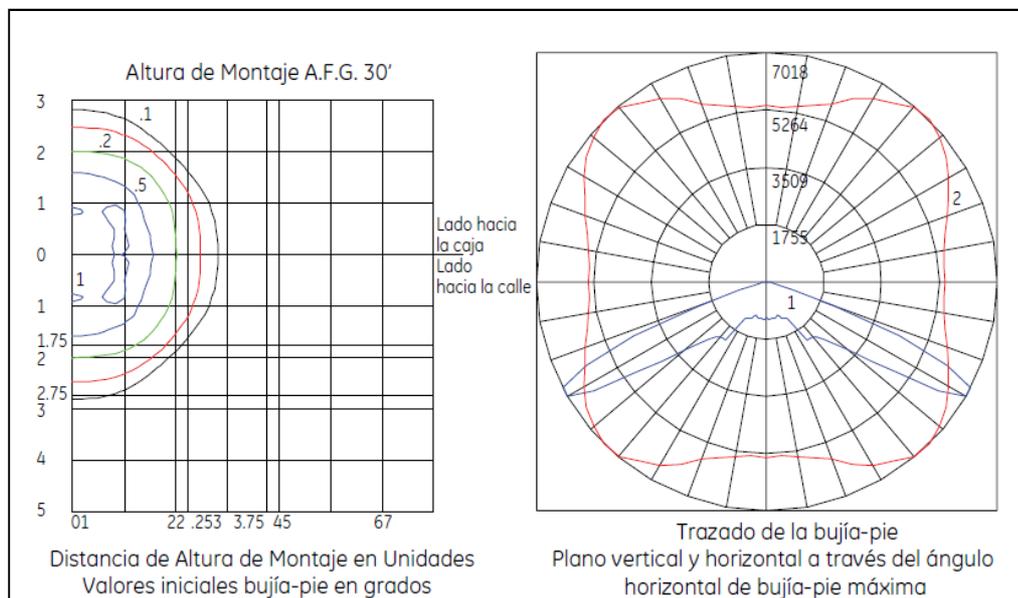
**Tabla 4.8:** Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Floyd Light opción C.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



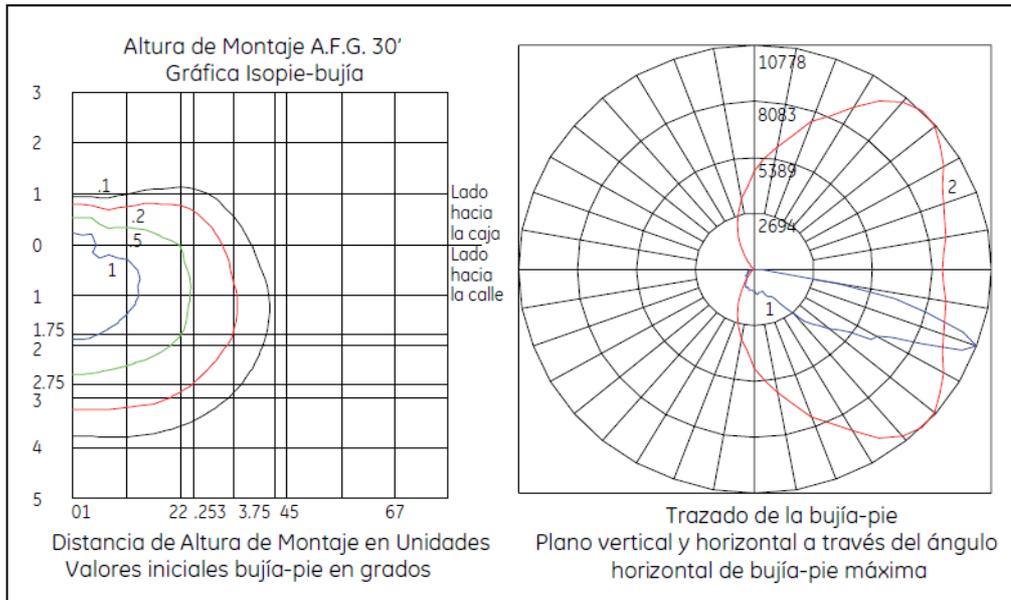
**Figura 4.19:** Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V 14.800 lúmenes (GE454491.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



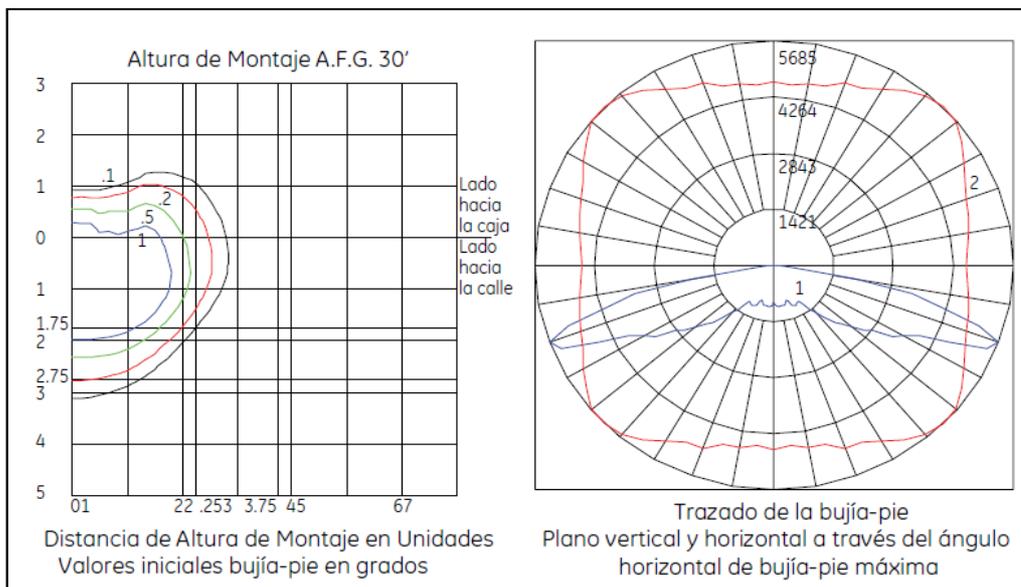
**Figura 4.20:** Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V, simétrica corta 14.800 lúmenes (GE454517.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



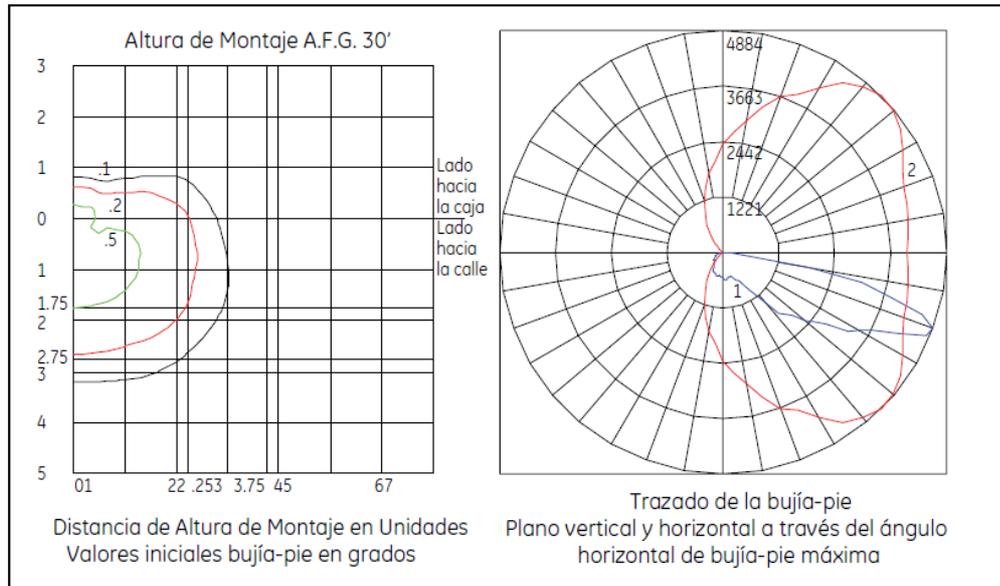
**Figura 4.21:** Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EASM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V 14.800 lúmenes (GE454491.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



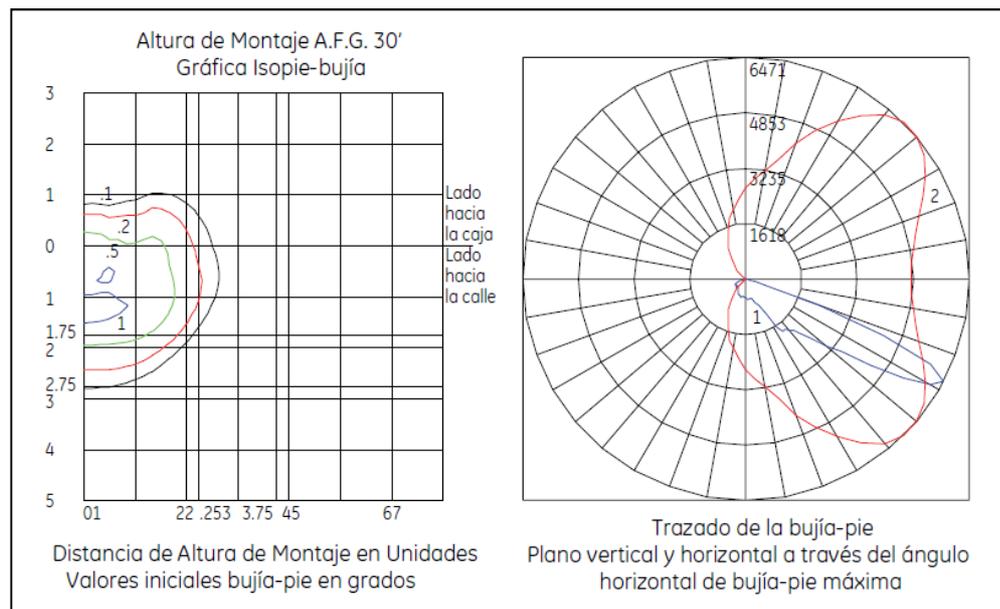
**Figura 4.22:** Fotometría de la luminarias medianas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo III- Asimétrica ancha 14.800 lúmenes (GE454510.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.23:** Fotometría de la luminarias pequeñas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V- Simétrica mediana 14.800 lúmenes (GE454491.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.24:** Fotometría de la luminarias pequeñas Modular individual (EAMM) GE EVOLVE LED Floyd Light tipo V- Simétrica corta 14.800 lúmenes (GE454517.ies).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

### 4.2.3 Luminaria Evolve LED Área Light (Contemporary Domed EAMD)

Luminaria de elegante diseño con tecnología LED de 95W de potencia con distribución simétrica y asimétrica. Su aplicación se dirige a zonas peatonales, plazas, calles y redomas.

#### 4.2.3.1 Estructura y material

- Carcasa elíptica formada por un aro central de fundición de aleación de aluminio inyectado, el cual se fija a una cúpula elíptica de fundición de aluminio inyectado y una puerta que servirá como sustento al conjunto óptico.
- Color estándar gris óxido.
- Sistema de montaje con múltiples configuraciones.
- Grupo óptico sellado herméticamente obteniendo un grado de protección IP65.

#### 4.2.3.2 Equipo eléctrico

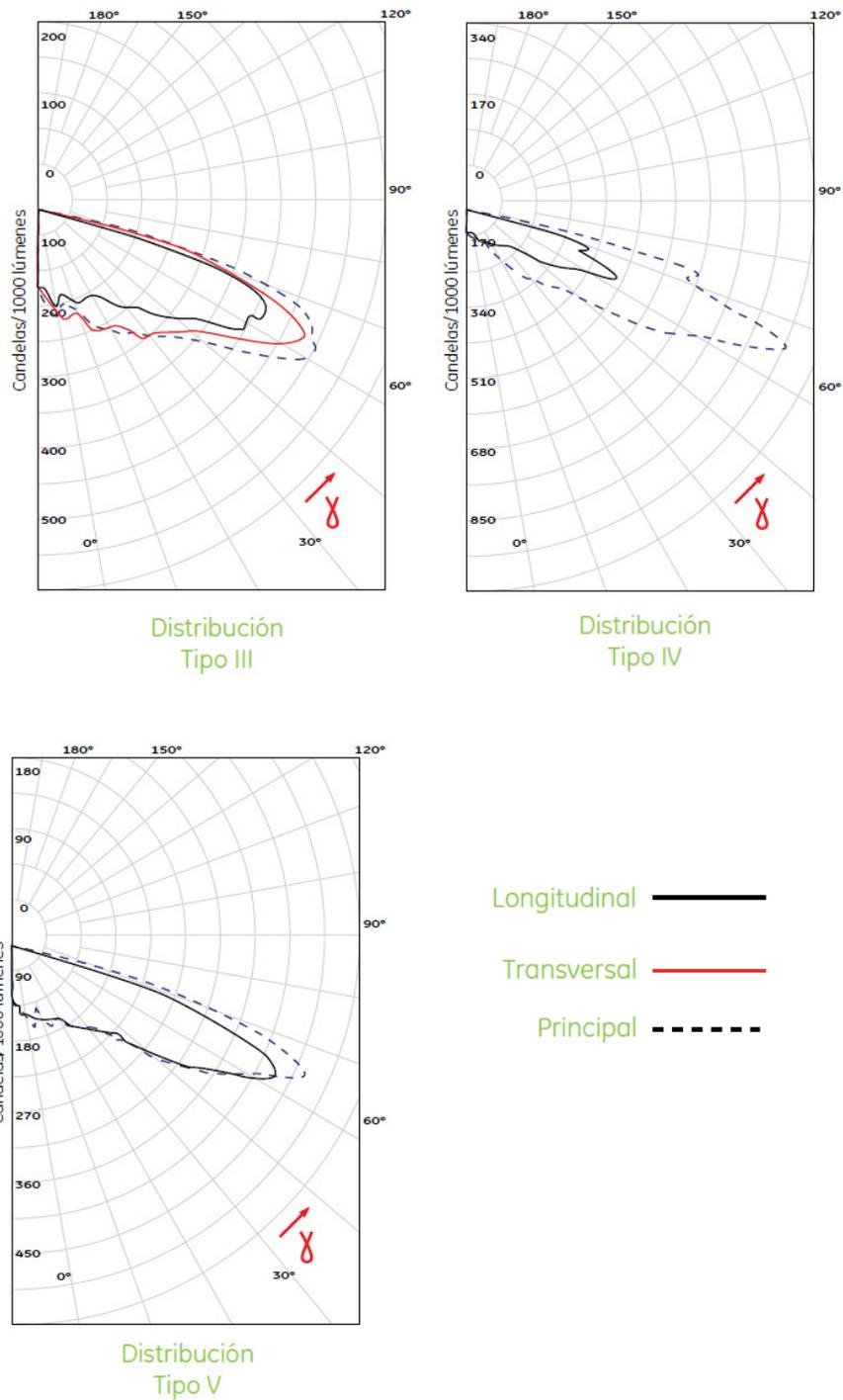
- Situado bajo la carcasa con grado de estanqueidad IP44.
- Bandeja porta equipos fabricada en chapa galvanizada, montada en el aro central, fácilmente desmontable. Los elementos eléctricos se montan sobre esta bandeja.

#### 4.2.3.3 Óptica

Avanzado sistema óptico de LED que asegura una alta uniformidad y mejora de la distribución vertical de la luz. CRI70, CCT 4100 y 5700 Kelvin.

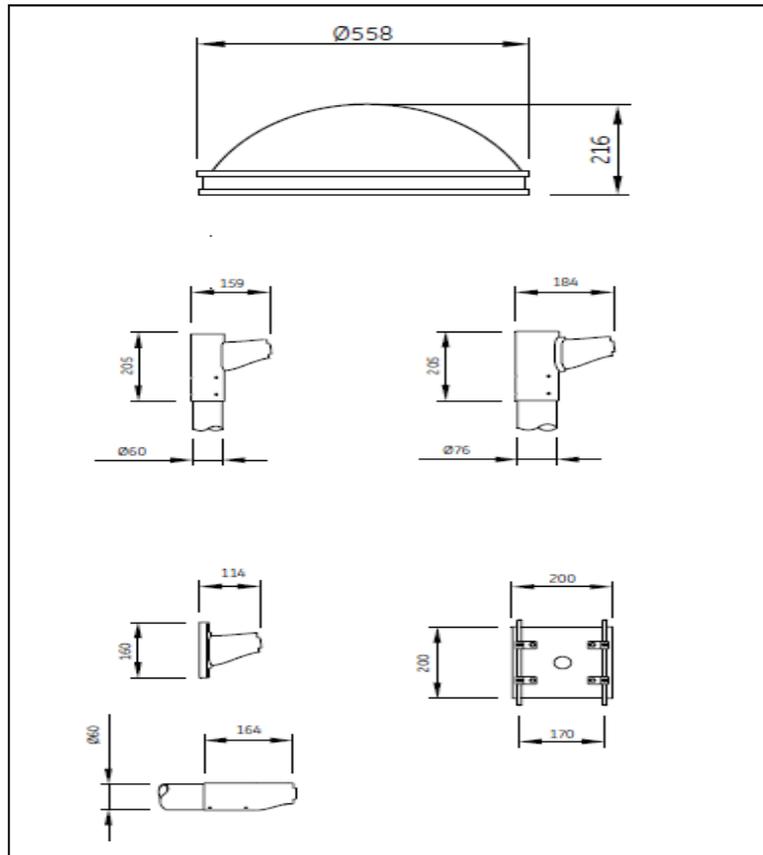
#### 4.2.3.4 Tipo de distribución

- Asimétrica Tipo III (tipo calle).
  - 95W consumo del sistema.
- Asimétrica Tipo IV - 65W consumo del sistema.
- Simétrica Tipo V - 95W consumo del sistema.



**Figura 4.25:** Fotometrías de la luminarias: Tipo III distribución asimétrica (tipo calle), Tipo IV distribución asimétrica, Tipo V distribución asimétrica. Luminaria Evolve LED Área Light (Contemporary Domed EAMD)

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.26:** Montaje de la luminaria Evolve LED Área Light (Contemporary Domed EAMD)

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

#### 4.2.4 Luminaria Evolve LED Post Top (para iluminación de postes decorativos Avery Street Dreams EPAS)

El avanzado sistema óptico LED ofrece una uniformidad horizontal y vertical mejorada, reduce el deslumbramiento y brinda un mejor control de iluminación. La excepcional tecnología de aro óptico de GE dirige la iluminación a donde se necesita de forma efectiva, al mismo tiempo que elimina los círculos de sombras no deseados, los cuales se observan comúnmente en la parte de abajo de otros postes de las luminarias LED.

El poste Avery ofrece un ahorro de energía de hasta un 60% en todo el sistema, comparado con los sistemas tradicionales de HID, dependiendo de las aplicaciones. Este confiable sistema opera bien en bajas temperaturas y ofrece más de 11 años de vida útil

reduciendo la frecuencia y gasto en el mantenimiento, basado en una vida útil de 50.000 horas a 12 horas de operación diaria. No contiene mercurio ni plomo, este producto es amigable al medio ambiente y cumple con los estándares RoHS (Restricciones de Sustancias Peligrosas).

#### 4.2.4.1 Aplicaciones

Calles peatonales, calzadas, en iluminación de área utilizando el avanzado sistema óptico LED que ofrece una alta uniformidad, excelente iluminancia vertical, reducida visibilidad compensada y reduciendo el deslumbramiento en el sitio.

#### 4.2.4.1 Carcasa

- Carcasa de aluminio fundido.
- El diseño nostálgico clásico incorpora un disipador de calor directamente en la unidad para garantizar la máxima transferencia de calor y una larga vida del LED.
- Las características adicionales incluyen faroles y rebordes Scroll y Medalian.
- Cumple con los estándares de vibración ANSI 2G C136.32-2001.

#### 4.2.4.2 Ensamble del sistema óptico LED

- Disposición estructurada del LED para optimizar la fotometría y distribución de la carretera/ acera.
- La fuente de iluminación modular Evolve consiste de reflectores direccionales concéntricos diseñados para optimizar la eficiencia de la aplicación y minimizar el deslumbramiento.
- Utiliza LEDs de alto brillo, 65 CRI a 4100K típico.
- Las pruebas LM-79 y los informes son realizados de acuerdo a los estándares IESNA (Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norteamérica).

#### 4.2.4.3 Certificaciones

- Aprobado UL/cUL, para lugares húmedos.
- Ensamblaje óptico con índice IP 65 por ANSI C136.25-2009.
- Para temperaturas entre -40° C y +50° C.

#### 4.2.4.4 Montaje

Montaje en báculo de 3-pulg. (76mm) sostenido en su lugar por cuatro tornillos cabeza cuadrada.

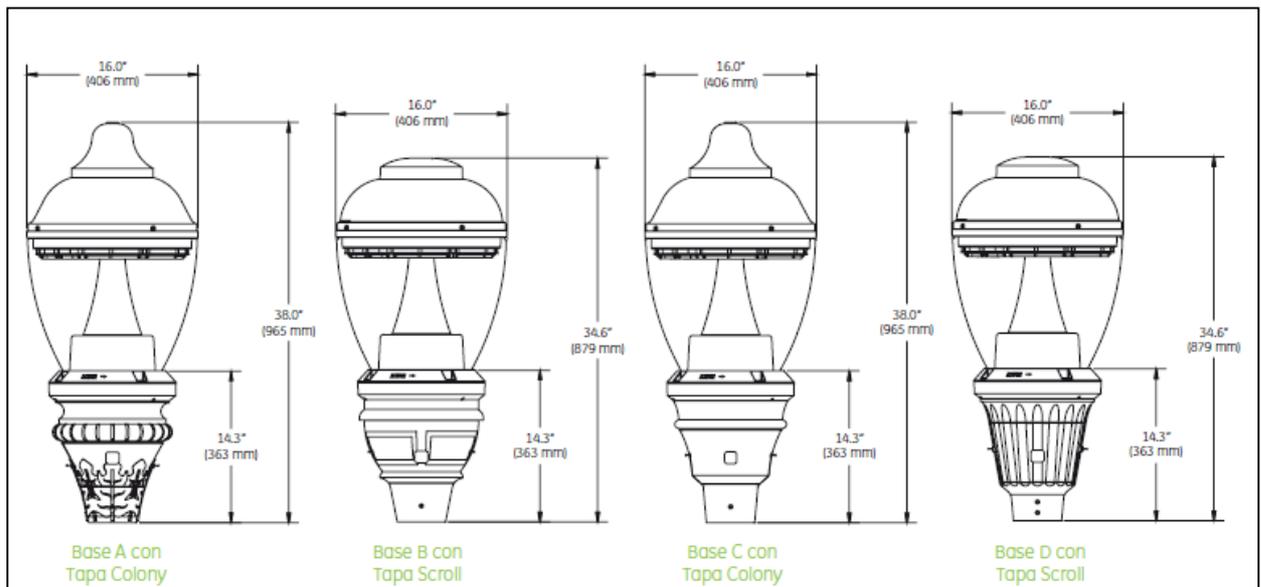
#### 4.2.4.5 Acabado

- Pintura anticorrosiva de poliéster en polvo, con un espesor mínimo de 2.0 mm.
- Colores estándares: Negro y bronce oscuro.
- También se ofrece en colores RAL e individualizados.

#### 4.2.4.6 Características eléctricas

- Disponible en 120-277 voltios y 347-480 voltios.
- Factor de potencia del sistema es >90% y THD <20%.
- Índice sonoro Clase “A”
- Protección integral contra alto voltaje no dimerizable:
  - Para 120-277VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 4kV/2kA Categoría de Ubicación B2 (120 Eventos)
  - Para 347-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.-1991, 6kV/3kA Categoría de Ubicación B3 (120 Eventos)

- Protección integral contra alto voltaje GE dimerizable:
  - Para 120-480VAC de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2-2002, 6kV/3kA Categoría de Ubicación B (120 Eventos)
- Protección contra alto voltaje de alta capacidad (opcional) de acuerdo al estándar IEEE/ANSI C62.41.2-2002
  - Clasificación 1 - 10kV/5kA Categoría de Ubicación (120 Eventos)
  - Clasificación 2 - 6kV/3kA Categoría de Ubicación C-Baja (5.000 Eventos)
- EMI: FCC 47 CFR 15 Clase A



**Figura 4.27:** Dimensiones de la luminaria Evolve LED Post Top (para iluminación de postes decorativos Avery StreetDreams EPAS)

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

## D A T O S

- Peso aproximado:
  - 20 Kg.
- Altura de montaje sugerida: 8-16 pies max (2.5-5 mm)
- Área Proyectada Efectiva (EPA): 1.4 pies cuadrados max (0.13 metros cuadrados)

**Tabla 4.9:** Datos de la luminaria GE EVOLVE LED Post Top (para iluminación de postes decorativos Avery Street Dreams EPAS).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

### 4.2.5 Luminaria Evolve LED Flood Light (Reflectores para paredes y pasos subterráneos ETLB)

#### 4.2.5.1 Aplicaciones

Requerimientos generales de proyectores, carreteras con pasos subterráneos y túneles peatonales que utilizan el sistema óptico LED refractivo que ofrece una alta uniformidad y excelente distribución de la iluminación.

#### 4.2.5.2 Carcasa

- Carcasa de aluminio fundido
- El diseño funcional incorpora un disipador de calor para garantizar la máxima transferencia de calor y una larga vida del LED
- Cumple con los estándares de vibración ANSI 2g C136.32-2001

#### 4.2.5.3 Ensamblaje LED y óptico

- Disposición estructural del LED para optimizar los patrones fotométricos
- Refractores para optimizar la eficiencia de la aplicación
- Utiliza LEDs de alto brillo, 70 CRI en 6000K

- Las pruebas LM-79 y los informes son realizados de acuerdo a los estándares IESNA (Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norteamérica)

#### 4.2.5.4 Mantenimiento lumínico

- La vida estimada del sistema es de 50.000 horas a L70

#### 4.2.5.5 Certificaciones

- Aprobado UL/cUL, para lugares húmedos
- Ensamblaje óptico con índice IP 66 por ANSI C136.25-2009.
- Para temperaturas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$

#### 4.2.5.6 Montaje

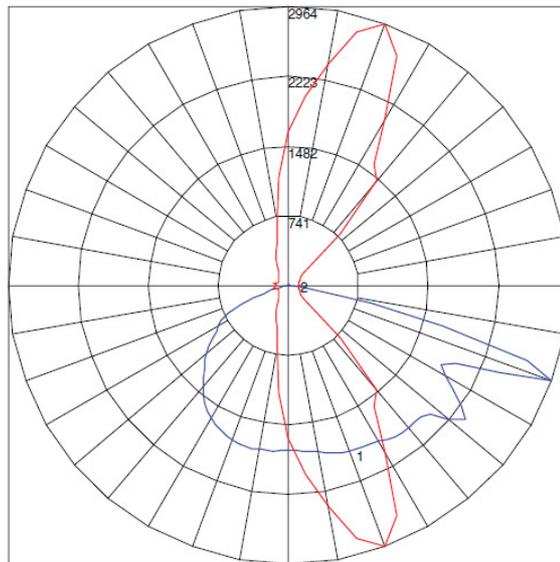
- Montaje en la pared o en el techo

#### 4.2.5.7 Características eléctricas

- Impulsor electrónico de 120 voltios. Disponible en 200-277 voltios con un tiempo de entrega extendida
- Factor de potencia del sistema es  $>90\%$  y THD  $<20\%$
- Índice sonoro Clase “A”
- Protección integral contra alto voltaje de acuerdo con el estándar IEEE/ANSI C62.41.2 2002 6kv/3ka categoría de ubicación C-Bajo

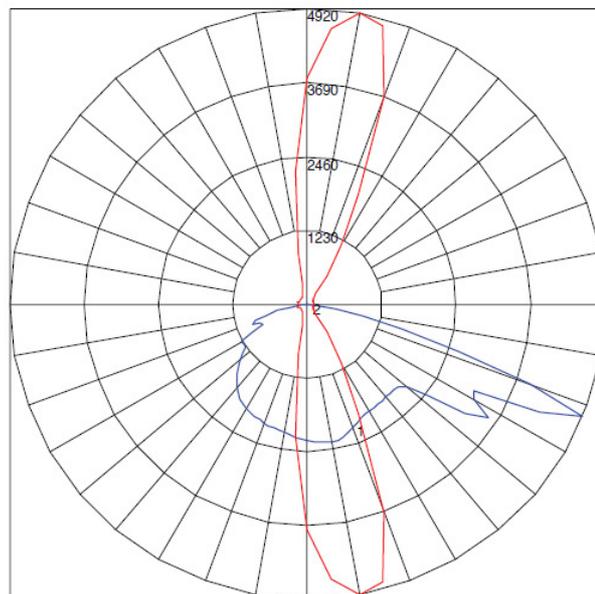
#### 4.2.5.8 Acabado

- Pintura anticorrosiva de poliéster en polvo con un espesor mínimo de 2.0 mm
- Color estándar: Gris



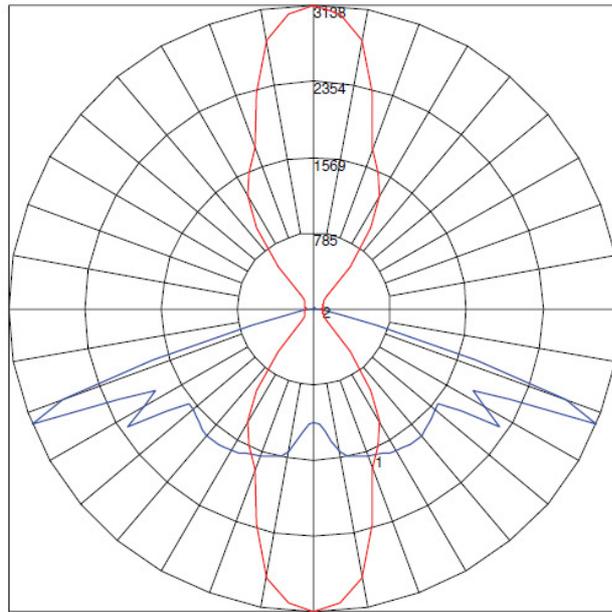
**Figura 4.28:** Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) – Asimétrico medio, candela máxima = 2964 ubicada en ángulo horizontal = 70, ángulo vertical = 70.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



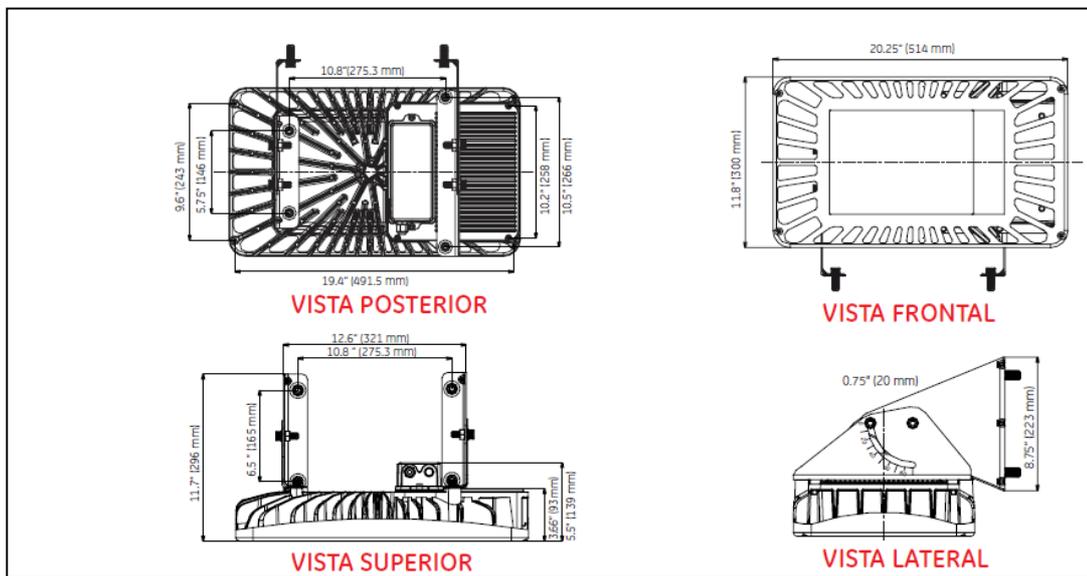
**Figura 4.29:** Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) – Asimétrico ancho, candela máxima = 4920 ubicada en ángulo horizontal = 80, ángulo vertical = 67.5.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



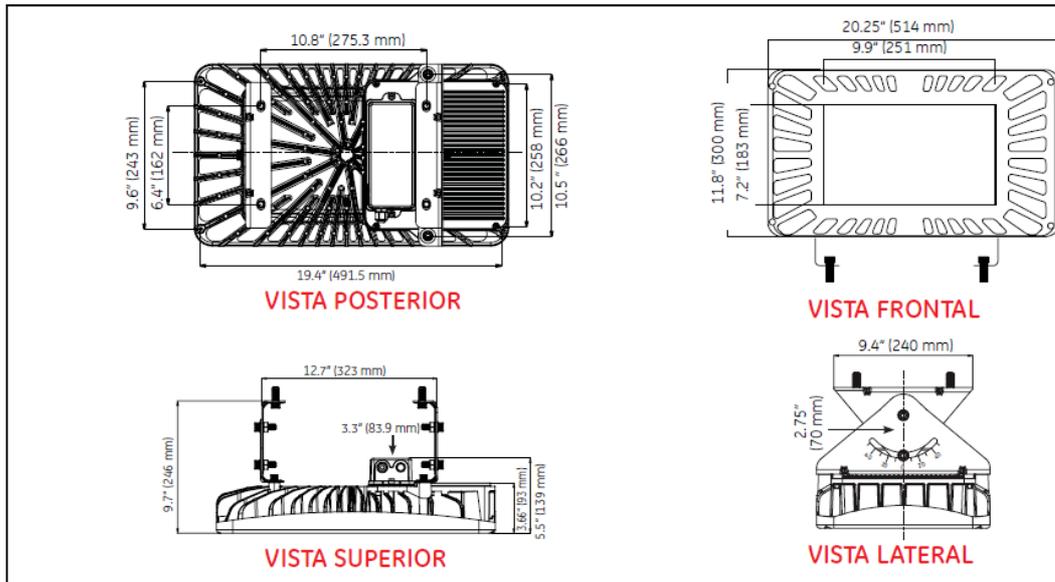
**Figura 4.30:** Fotometría de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) – Asimétrico ancho, candela máxima = 3138 ubicada en ángulo horizontal = 90, ángulo vertical = 67.5.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.31:** Dimensiones de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) - montados en pared.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]



**Figura 4.32:** Dimensiones de la luminaria Evolve LED Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB) – montados al techo.

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

D A T O S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso aproximado: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 20 Kg.</li> </ul> </li> <li>• Área Proyectada Efectiva (EPA) : 0.95 pies cuadrados max (0.19 metros cuadrados)</li> </ul>
-----------------------	--

**Tabla 4.10:** Datos de la luminaria Flood Light Reflectores para paredes y pasos subterráneos (ETLB).

**Fuente:** <http://www.gelighting.com.ve/industrial/pdf.aspx?id=22&id2=41> [16]

## **4.2   NORMATIVAS INTERNACIONALES APLICADAS A LOS SISTEMAS DE ILUMINACION LEDs**

### **4.3.1   IESNA LM – 79. Método aprobado para la medición eléctrica y fotométrica de iluminación LED**

Este método aprobado es una guía desarrollada para la medición de la iluminación de productos de estado sólido (SSL). Mientras que muchas otras normas para las mediciones fotométricas de fuentes de luz y luminarias están disponibles, estas normas están separadas para la medición de lámparas o luminarias. Puesto que la corriente de los productos SSL están en las formas de luminarias o lámparas, y fuentes de luz LED de las luminarias no son fácilmente separados como lámparas reemplazables, estos estándares existentes no se puede aplicar directamente a los productos de SSL. Para ello es necesario el uso de fotometría absoluta. Véase el anexo de este documento para obtener una descripción de cómo la fotometría absoluta varía de una familia de fotometrías, que históricamente ha sido la iluminación estándar de la industria. Por lo tanto, esta norma ofrece métodos para hacer frente a los requisitos para la medición de los productos de SSL. Puesto que las tecnologías SSL está todavía en sus primeras etapas, los requisitos para la medición condiciones adecuadas puede estar sujeto a cambios en cualquier momento por ser la SSL una tecnologías avanzada.

#### **4.3.1.1   Introducción**

##### **4.3.1.1.1   Alcance**

Este método aprobado describe los procedimientos a seguir y las precauciones que deban observarse en la realización de mediciones para el flujo luminoso, la energía eléctrica, la intensidad luminosa, la distribución, y la cromaticidad, de iluminación de estado sólido(SSL) los productos para fines de iluminación en condiciones estándar. Este método aprobado cubre a los productos basados en LED (SSL) con la electrónica de control y disipadores de calor incorporados, es decir, los dispositivos que sólo requieren de alimentación de ``AC`` o de una tensión continua para funcionar. Este documento no cubre los productos SSL que requieren de

control externo o sumideros de calor externos (por ejemplo, chips LED, paquetes LED y módulos LED). Este documento cubre Productos SSL en una forma de luminarias (accesorios y la incorporación de fuentes de luz), así como integrar las lámparas LED (ver sección 4.3.1.1.3 -3 f). En este documento no se cubre accesorios diseñados para los productos de SSL vendidos sin una fuente de luz. Este documento describe la prueba de métodos para los distintos productos de SSL, y no se refiere a la determinación de la calificación del desempeño del productos, las variaciones individuales entre en los productos deben ser considerados.

#### 4.3.1.1.2 General

Productos SSL tal como se define en este documento utilizan LEDs (incluyendo los LED orgánicos e inorgánicos) como fuentes de radiación óptica para generar luz para la iluminación. Un LED es un semiconductor p-n que emite la radiación óptica incoherente en la dirección de avance. La luz blanca es producida por los LEDs mediante dos métodos: espectro visible de dos o más colores producida por los LEDs, la emisión (en la región azul o ultravioleta) de los LED se utiliza para excitar a una o más emisiones de fósforo para producir una banda ancha en la región visible (de emisión viscosidad). Una descripción general de los LEDs y la iluminación está disponible en Ref. 1. Esta trata sobre los productos integrados de la incorporación de SSL al dispositivo semiconductor nivel actual de control, por lo tanto los parámetros eléctricos de interés son el de productos SSL de parámetros de entrada de corriente.

Para fines especiales, que pueden ser útiles para determinar las características de los productos SSL cuando es operado a otros que es descrito en, las condiciones estándar de este método aprobado. Cuando esto se ha hecho, los resultados serán significativos sólo para las condiciones particulares en las que se obtuvieron y estas condiciones se harán constar en el informe de la prueba.

La información fotométrica que suele ser necesarias en los productos de SSL es el flujo luminoso total (lúmenes), eficacia luminosa (lm /W), la intensidad luminosa (candela) en una o más direcciones, coordenadas cromáticas, correlación de temperatura de color, y la

representación de color índice. A los efectos de este método aprobado, la determinación de estos datos se considerará mediciones fotométricas

Las variables eléctricas AC para productos SSL son tensión de entrada alterna RMS, corriente de entrada alterna RMS, alimentación AC, frecuencia y factor de potencia. Para productos SSL DC, serán: voltaje de entrada DC, corriente DC y la potencia de entrada. A los efectos de este método aprobado, la determinación de estos datos se considerará mediciones eléctricas.

#### 4.3.1.1.3 Definiciones y nomenclatura

- a. Las unidades de medida eléctrica son la tensión, la corriente y la potencia.
- b. Las unidades de medición fotométrica son el lumen y la candela. Las coordenadas de cromaticidad están especificada en términos del procedimiento recomendado por la "CIE". El  $(x, y)$  o el  $(u', v')$  sirven como las coordenadas de cromaticidad. Para especificar la tolerancia de la cromaticidad independiente de la temperatura de color correlacionada (CCT), las coordenadas a ser utilizadas serán  $(u', v')$ . La cromaticidad también puede ser expresada por CCT y Duv (firmado distancia desde el locus planckiano sobre la CIE  $(u', 2/3 u')$  el diagrama; se define en la referencia. 4).
- c. La regulación se refiere a la constancia del voltaje aplicado al producto SSL bajo prueba. Sesión de tiempo se refiere a la operación antes de la prueba del producto SSL para una cifra dada en horas de la condición de nuevo. Los datos fotométricos obtenido inmediatamente después de este tiempo es la sesión a que se refiere como "inicial" de datos
- d. Estabilización se refiere a la operación de prueba a productos SSL para un período de tiempo suficiente tal que los valores eléctricos y fotométricos estén estable. A veces se denomina tiempo de calentamiento.
- e. Lámpara LED integrado se refiere a un dispositivo LED con un controlador integrado y estandarizado base que está diseñado para conectarse a una rama del circuito a través de un portalámparas estándar o toma corriente, (por ejemplo, la sustitución de lámparas incandescentes por tornillo de la base).

- f. Luminarias LED se refiere a una completa unidad de iluminación LED que consta de una fuente de luz y conductores, para conectarse a la fuente de un circuito derivado además de protecciones para proteger la fuente de luz. La fuente de luz en sí puede ser una matriz de LED, un módulo LED, o una lámpara LED
- g. Preburning se refiere a la operación de una fuente de luz antes de montar sobre un instrumento de medición, para acortar el tiempo de estabilización requerida sobre el instrumento.
- h. Fotómetro se refiere a una unidad que contiene un detector, un filtro de corrección V ( $\lambda$ ), y cualquier paquete adicional (apertura, difusor, amplificador, etc.) dentro de la unidad.

#### 4.3.1.2 Condiciones ambientales

##### 4.3.1.2.1 General

Los valores fotométricos y características eléctricas de los Productos SSL son sensibles a los cambios de temperatura en el ambiente o al movimiento del aire debido a las características térmicas de los LED.

##### 4.3.1.2.2 Temperatura Ambiente

La temperatura ambiente en el que las mediciones se están tomando se mantuvo a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , medido en un punto no más de 1 m del producto SSL y a la misma altura del producto SSL. El sensor de temperatura deberá estar protegido de la radiación óptica directa a partir del producto SSL y radiación óptica de cualquier otra fuente. Si las mediciones se realizan en otro marco diferente a la recomendada deberá señalarse en el informe de la prueba.

##### 4.3.1.2.3 Condiciones térmicas para el montaje de los productos SSL

El método de montaje puede ser la ruta primaria para el flujo de calor lejos del dispositivo y puede afectar los resultados de medición de manera significativa. El producto SSL bajo prueba se montará en el instrumento de medida (por ejemplo, la integración de esfera) de modo que la

conducción del calor mediante el apoyo a los objetos cause efectos insignificantes de enfriamiento. Por ejemplo, cuando un techo-montado producto se mide mediante el montaje en una pared de la esfera, el producto puede ser suspendido en el aire abierto en lugar que directamente montado en contacto térmico cercano con la pared de la esfera. O bien, el producto puede ser considerado por el apoyo materiales que tiene baja conductividad térmica (por ejemplo, Teflón). Cualquier desviación de este requisito será evaluado para el impacto en resultados de la medición. También, se debe tener cuidado para que los objetos de apoyo no perturben el flujo de aire alrededor del producto. Si el producto SSL bajo prueba está provisto de una estructura de apoyo que está designado para ser utilizado como un componente del sistema de gestión térmica luminaria, el producto deberá ser probado con la estructura de soporte adjunta. Cualquier estructura de apoyo tal incluido en la medición se informó.

#### 4.3.1.2.4 Movimiento del aire

La incidencia de los movimientos del aire en la superficie de un producto SSL bajo prueba puede alterar sustancialmente valores eléctricos y fotométricos. El flujo de aire alrededor del producto SSL que está siendo probado debe ser tal que el flujo normal de aire inducido por el dispositivo bajo prueba no se ve afectada.

#### 4.3.1.3 Características de la fuente suministrada

##### 4.3.1.3.1 Forma de onda de la fuente de poder AC

La fuente de alimentación AC, deberá tener una forma de onda de tensión senoidal en la frecuencia prescrita (típicamente 60 Hz o 50Hz) tal que la suma RMS de los componentes armónica no supere el 3 por ciento de la fundamental durante el funcionamiento del producto de ensayo.

##### 4.3.1.3.2 Regulación de voltaje

El voltaje de una fuente de alimentación de AC (voltaje RMS) o fuente de alimentación DC (voltaje instantáneo) aplicado al dispositivo bajo prueba se regulará dentro de  $\pm 0,2$  por ciento bajo carga.

#### 4.3.1.3.3 Estabilización de los productos LED

Antes de que se tomen medidas, el producto SSL bajo prueba deberá ser operado el tiempo suficiente para llegar a la estabilización y equilibrio de temperatura. El tiempo requerido para la estabilización depende del tipo de productos SSL sometidos a prueba. El tiempo de estabilización general está desde 30 min (pequeñas lámparas LED integrados) a 2 horas o más para las grandes luminarias SSL. El producto SSL durante la estabilización deberá ser operado en la temperatura ambiente como se especifica en la sección 4.3.1.2.2 y en la orientación de operación como se especifica en 6. Se puede ser juzgada que la estabilidad se alcanza cuando la variación (máximo - mínimo) de al menos 3 lecturas de la salida de luz y energía eléctrica durante un período de 30min, tomada 15 minutos aparte, es inferior a 0,5%. La estabilización de tiempo para cada producto SSL deberá ser informada.

Para la medición de una serie de productos de el mismo modelo, los métodos de estabilización que no sean descrito anteriormente (por ejemplo, preburning del producto visto en la sección 4.3.1.1.3 h) puede ser utilizado si ha sido demostrado que el método produce la misma condición de estabilización (medido el flujo luminoso total en un 0,5%).

#### 4.3.1.4 La orientación de funcionamiento

El producto SSL bajo prueba deberá ser evaluado en la orientación operativa recomendado por el fabricante para un uso previsto del producto SSL. Las mediciones fotométricas y de estabilización de los productos SSL se hará en la orientación de funcionamiento

Nota: El proceso de emisión de luz de un LED no es afectado por la orientación. Sin embargo, la orientación de un producto SSL puede causar cambios en las condiciones térmicas de los LED utilizados en el producto, y por tanto la luz puede ser afectada por la orientación del producto SSL. La orientación del producto SSL montado para la medición se informará en los resultados.

#### 4.3.1.5 Ajustes eléctricos

El producto SSL bajo prueba se pondrá en funcionamiento con la tensión nominal (AC o DC) de acuerdo con la especificación del producto SSL para su uso normal. El pulso de la fuente y las mediciones de sincronizadas con ciclo reducido por parte de la fuente entrada pretende reducir la temperatura de unión p-n inferiores a los alcanzado con potencia eléctrica continua y no deberá ser utilizado para pruebas de productos SSL.

Si el producto ha regulado la capacidad, se llevará medidas a cabo con la condición de la potencia máxima de entrada. Si el producto tiene múltiples modos de operación incluyendo la variable CCT, medidas podrán efectuarse en los diferentes modos de operación (CCT) si es necesario, y tales condiciones de ajuste deberán ser claramente informadas.

#### 4.3.1.6 Instrumentación eléctrica

##### 4.3.1.6.1 Circuitos

Para productos SSL con entrada DC, un voltímetro DC y un amperímetro DC estarán conectados entre la alimentación DC y el producto SSL bajo prueba. El voltímetro deberá ser conectado a través de los insumos de energía eléctrica del producto SSL. La medida de voltaje y la corriente ofrece como resultado la potencia de los productos SSL alimentadas por corriente continua

##### 4.3.1.6.2 Incertidumbres

Las incertidumbres de calibración (ver nota abajo) del instrumento para voltaje y corriente AC deben ser menor al 0.2%. Las incertidumbres de calibración para el vatímetro AC debe ser menor al 0.5% y para corrientes y voltajes DC un 0.1%

Nota: La incertidumbre se refiere aquí a la relación de incertidumbre ampliada con un intervalo de confianza del 95%, normalmente con un factor de cobertura  $k = 2$ , como se prescribe en Refs.

5 y 6. Si las especificaciones del fabricante no especifican la incertidumbre de esta manera, entonces debe ser contactado los fabricantes para una conversión adecuada.

#### 4.3.1.7 Métodos para las mediciones del flujo luminoso total

El flujo luminoso total (lumen) de los productos SSL deberá ser medido con un sistema de esfera de integración o un goniómetro. El método puede ser elegido dependiendo de qué cantidades de medición (el color, la distribución de intensidad) necesitan ser medidos, el tamaño de los productos SSL, y otros requisitos. Algunas orientaciones sobre el uso de cada método se dan a continuación.

##### 4.3.1.7.1 La integración de sistema de esferas

La integración de sistema de esfera es adecuada para el flujo luminoso total y la medición del color de la gestión integrada Las lámparas LED y de tamaño relativamente pequeño (véase la sección 4.3.1.8.2 de las directrices sobre el tamaño de los Productos SSL que se pueden medir en un integrador esfera de un tamaño dado). La integración de sistema esfera tiene la ventaja de medición rápida y no requiere una habitación oscura. El movimiento del aire es minimizado y la temperatura dentro de la esfera no es sujeta a las fluctuaciones potencialmente presentes en una temperatura controlada en una habitación. Cabe señalar que el calor del producto SSL montado sobre la esfera de integración se pueden acumular para aumentar la temperatura ambiente del producto bajo prueba (ver la sección 4.3.1.8.1 para más detalles).

Dos tipos de sistemas de esfera de integración son usados, uno emplea una  $V(\lambda)$  corrección fotómetro (esfera-fotómetro, ver sección 4.3.1.9), y el otro emplea un espectro-radiómetro como el detector (esfera espectro-radiómetro, ver sección 4.3.1.8). Desajuste de errores espectrales (véase la sección 4.3.1.9.6) se producen con el primer método debido a la desviación de la capacidad de respuesta relativa espectral de la esfera de integración fotómetro de la  $V(\lambda)$ , mientras que teóricamente no hay errores de incompatibilidad espectrales con el segundo método. El método espectro-radiómetro se prefiere para la medición de productos SSL porque los errores de incompatibilidad espectral con el fotómetro (véase la sección 4.3.1.1.3 i)

tienden a ser más significativa de las emisiones de LED y la corrección no es trivial, requiere el conocimiento de la capacidad de respuesta espectral sistema así como la del dispositivo espectro bajo prueba. Además, con el método espectro-radiómetro, las cantidades de color pueden ser medidas al mismo tiempo como flujo luminoso total. Ver las secciones 4.3.1.8 y 4.3.1.9 para una descripción más en ambos métodos. Las recomendaciones generales para la medición con la integración de la esfera son los fotómetros disponibles en las referencias. 7 y 8.

#### 4.3.1.7.2 Goniofotómetro

Goniofotómetros proporciona una medición de la distribución de intensidad luminosa, así como el flujo luminoso total. Los Goniofotómetro pueden medir el flujo luminoso total de productos SSL de tamaño relativamente grande (correspondiente a las dimensiones de las tradicionales luminarias fluorescentes), mientras que ellos pueden medir pequeños productos SSL. Un goniofotómetro está instalado en una habitación oscura, normalmente con temperatura controlada, y no está sujeto a la acumulación de calor desde una fuente que se mide. Se debe tener cuidado, sin embargo, las corrientes de aire de ventilación que podrían afectar a la medición de productos SSL que son sensibles a temperatura. La temperatura ambiente debe estar mide y se mantiene tal como se especifica en la sección 4.3.1.2. Las mediciones con un goniofotómetro son en comparación con un fotómetro de esfera. Goniofotómetro son usados detectores fotónicos que son susceptibles al desajuste de errores tipo espectral. De hecho, la corrección para este desajuste puede ser más difícil si no significativa la variación en el color con el ángulo. Vea la sección 4.3.1.10 de la utilización de goniofotómetros para la medición de productos SSL. Recomendaciones generales sobre el goniofotómetro están disponibles en las referencias.8 y 9.

#### 4.3.1.8 La integración de esfera con un espectro-radiómetro (sistema de Esfera espectro-radiómetro)

Este tipo de instrumento mide el flujo de espectro radiante total (unidad: W/nm), de la cual el flujo luminoso total y las cantidades de color se calculan mediante el uso de una matriz espectro-radiómetro, la velocidad de medición puede ser de la misma magnitud como para un fotómetro.

#### 4.3.1.8.1 Integración de la esfera

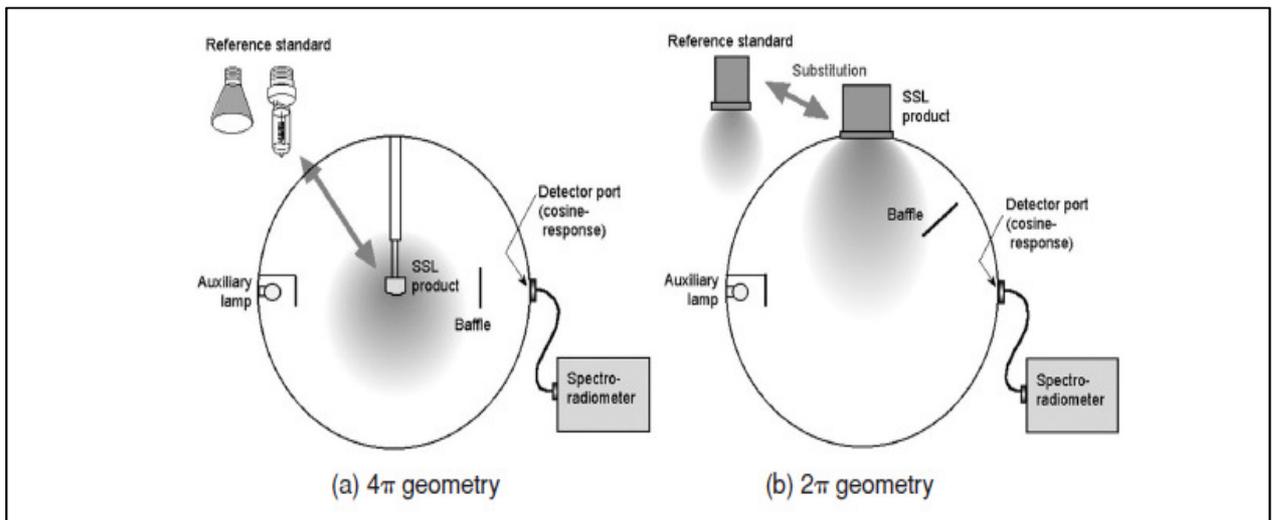
El tamaño de la integración de la esfera debe ser lo suficientemente grande para garantizar que los errores de medida debidos a efectos de deflector y la auto-absorción (ver sección 4.3.1.8.5) para la prueba de producto SSL no son significativas. Vea la sección 4.3.1.8.2, la orientación sobre el tamaño de la esfera requerida relativa para el tamaño de los productos SSL para ser medidos. En general, el tamaño de la esfera es de 1 m o más grande, se utiliza normalmente para lámparas compactas (tamaño de la típica lámpara incandescente y fluorescentes compactas), y 1,5 m o más grande para lámparas más grandes. La esfera también debería ser lo suficientemente grande para evitar la temperatura excesiva que aumentará debido al calor de la fuente de luz, para. 2 m, o más grande esferas se utilizan normalmente para la medición de fuentes de luz de 500 W o más grande.

La esfera de integración deberá estar equipada con una lámpara auxiliar para la medición de la auto-absorción (ver la sección 4.3.1.8.5). La lámpara auxiliar para una esfera-espectro-radiómetro debe emitir una radiación de banda ancha en todo el rango espectral del espectro-radiómetro. Así, una lámpara halógena de cuarzo se utiliza normalmente para este propósito. La lámpara auxiliar de salida de luz tiene que ser estable a lo largo de las mediciones para toda la auto-absorción.

Un recubrimiento interior de reflectancia de 90% a 98% es recomendada para la pared de la esfera, dependiendo de la esfera de tamaño y uso de la esfera. Una reflexión más alta es ventajosa para una mayor señal obtenida, y los errores más pequeños asociados con la no uniformidad espacial de la respuesta de esfera y la intensidad de variaciones de distribución para los productos SSL medido. Mayor reflectancia se prefiere particularmente para un sistema esfera espectro-radiómetro para asegurar una buena señal de ruido en la región visible total, sin embargo con mayor reflectancia, la capacidad de respuesta se vuelve más sensible a la absorción de auto-efectos a largo plazo y también habrá más variación en el rendimiento espectral. Si hay una abertura en la esfera, el promedio de reflexión debe ser considerado, y un mayor recubrimiento de reflectancia será ventajoso para compensar la disminución de la reflectancia promedio.

#### 4.3.1.8.2 Geometría de la esfera

La **Figura 4.33** muestra las geometrías de esfera recomendado de un sistema esfera-espectro radiómetro para la medición total del flujo luminoso para productos SSL. Las normas de referencia son para un flujo total radiante espectral. La geometría  $4\pi$  (a) es recomendado para todos los tipos de productos SSL incluyendo los que emiten luz en todas direcciones ( $4\pi$  sr) o sólo en una dirección hacia adelante (independientemente de la orientación). La geometría  $2\pi$  (b) es aceptable para los productos SSL sólo en direcciones hacia adelante (sin tener en cuenta la orientación), y puede ser utilizado para los productos SSL que son demasiado grandes para utilizar la geometría  $4\pi$ . En cualquiera geometría, el tamaño del producto SSL bajo prueba debe ser limitada para un dado tamaño de la esfera para garantizar suficiente espacio de uniformidad para la integración de la luz y la corrección precisa para la auto-absorción. Para la medición de la gestión integrada, la esfera puede estar equipada con una lámpara titular con un enchufe tornillo-base.



**Figura 4.33:** Recomendaciones de la geometría de la esfera para mediciones de flujo luminoso total usando espectro-radiómetro. (a) Para todo tipo de productos LED, (b) Para productos LEDs que tienen solamente una emisión hacia adelante.

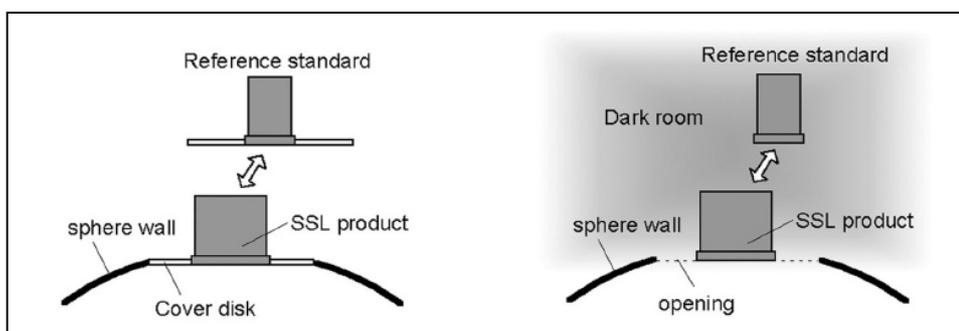
**Fuente:** IESNA LM – 79

En la geometría  $4\pi$ , como directriz, la superficie del área total de un producto SSL debería ser inferior al 2% del área total de la pared de la esfera. Esto corresponde a, por ejemplo, un

objeto esférico de menos de 30 cm de diámetro en una esfera integradora de 2 m. la dimensión más larga física de un producto lineal debe ser menos de 2/3 del diámetro de la esfera.

En la geometría  $2\pi$ , el diámetro de apertura para montar un Producto SSL debe ser menor que 1/3 del diámetro de la esfera. El producto SSL deberá estar montado dentro de la apertura circular y que de tal manera sus bordes delanteros estén al ras con los bordes de la apertura (o puede ser ligeramente dentro de la esfera para garantizar que toda la luz emitida es atrapada en la esfera).

En este caso, las brechas entre los bordes de la apertura y el producto SSL (o norma de referencia) puede ser cubierto con una superficie (lado interior es de color blanco) en orden a la medición se puede hacer en una habitación con la iluminación ambiental normal como la esfera es completamente blindada desde el exterior (Ver **Figura 4.34** (a)). Si esta no es conveniente y las brechas se mantienen abiertas, un acuerdo de cuarto oscuro (en por lo menos en torno a la apertura) pueden ser necesarios para que ninguna luz externa o luz reflejada entre en la esfera (Ver **Figura 4.34** (b)). En cualquier caso, el producto SSL bajo prueba deberá ser montado a la esfera para que el material de apoyo o estructura no conduzca el calor desde el producto SSL a la pared de la esfera. Ver también la sección 4.3.1.2.3.



**Figura 4.34:** Condiciones de montaje de productos LEDs bajo prueba. (a) Montaje de productos LED con espacio cerrado, (b) Montaje de productos LED con espacio abierto.

**Fuente:** IESNA LM – 79

En cualquier geometría, el tamaño del deflector debería ser tan pequeño como sea posible para blindar el puerto detector a partir de iluminación directa del producto SSL a prueba más

grande a medir o la lámpara estándar. Se recomienda que el deflector este situado en  $1/3$  a  $1/2$  del radio de la esfera desde el puerto del detector. La lámpara auxiliar debe tener un escudo de manera que su luz directa no choque con ninguna parte del producto SSL a prueba o el puerto del detector.

Las lámparas estándar para el flujo total radiante espectral son normalmente lámparas de cuarzo halógenas incandescentes que tienen espectro de banda ancha para calibrar el espectro radiómetro para la región visible total. Para la geometría  $2\pi$ , teniendo sólo las lámparas estándar que tienen distribuciones hacia adelante son requeridas. Por ejemplo, una lámpara de cuarzo-halógeno con un reflector que proporcionar una intensidad de distribuciones apropiada puede ser utilizada como un estándar de referencia. Para la geometría  $4\pi$ , las lámparas estándar omnidireccionales distribuciones de intensidad son normalmente usadas pero las lámparas estándar que tienen delante distribuciones también pueden ser necesarias. Tenga en cuenta que la luz de lámparas incandescentes cambia si su posición de funcionamiento se cambia.

Cabe señalar que la integración de las esferas no tiene perfectamente uniforme su capacidad de respuesta sobre las superficies interna de la esfera. La capacidad de respuesta de la esfera tiende a ser ligeramente inferior a la mitad interna de la esfera debido a la contaminación por polvo que cae, y también alrededor de la costura de la esfera en donde existen pequeños espacios. Por lo tanto, si una esfera ( $4\pi$  geometría) se calibra con una lámpara estándar omnidireccional y mide un producto SSL que tiene las distribuciones de intensidad baja, el flujo luminoso tiende a ser medida ligeramente inferior lo que este es. Este error tiende a ser más importante para las fuentes de luz que tienen distribuciones de haz estrecho. La magnitud de los errores depende de qué tan bien la esfera está diseñada y mantenida, y se cancelará si las distribuciones de intensidad angular de la lámpara y los productos SSL de prueba son los mismos. Para asegurarse de que este error no es significativo, las luces estándar que tienen diferentes distribuciones de intensidad (omnidireccional, a la baja / amplia, a la baja / estrecho) puede ser preparado y elegida para el tipo de productos SSL a medir. O, si sólo las lámparas omnidireccional estándar son utilizadas, los factores de corrección deben ser estabilizados y aplicados cuando los productos SSL con diferentes distribuciones de intensidad se miden. Tales factores de corrección pueden ser establecidos para medir lámparas o productos SSL que tengan

diferentes distribuciones de intensidad calibrados para el flujo luminoso total utilizando otros medios precisos (por ejemplo, la calibración trazable a patrones del instituto nacional de medición (NMI), o el uso de goniómetro bien diseñado.

La temperatura ambiente en una esfera se controlará de acuerdo a la sección 4.3.1.2.2. Una sonda de temperatura a menudo se monta detrás del deflector que protege al detector del puerto de la fuente de luz si el deflector es montado en la misma altura que el centro de la esfera (caso de la **Figura 4.33 a**). Cuando un producto SSL está montado sobre la pared de la esfera (por ejemplo, caso de la **Figura 4.33 (b)**), la temperatura ambiente se medirá detrás del deflector (lado de espectralómetro) en la esfera, además la temperatura en las cercanías de producto (siga la sección 4.3.1.2.2). Ambas lecturas deben cumplir con el  $25 \pm 1$  ° C Consumo.

Si la temperatura ambiente en el ámbito cerrado excede de  $25 \pm 1$  °C debido al calor generado por el producto SSL bajo prueba, el producto SSL puede ser estabilizado con la esfera parcialmente abierta para lograr la requerida temperatura ambiente dentro de  $25 \pm 1$  °C hasta que la medición este hecha con la esfera cerrada. Cuando la medición este tomada, la esfera se debe cerrar suavemente para evitar el movimiento del aire dentro de la esfera. Nótese que, si la estabilidad del flujo salida del producto se controla con el fotómetro cuando la esfera está abierta, las luces de la habitación deben estar apagadas y la posición de los hemisferios no se debe mover.

#### 4.3.1.8.3 principio de medición

El instrumento (esfera de integración, más espectralómetro) debe ser calibrado frente a un estándar de referencia calibrado para el flujo total radiante espectral. Puesto que la integración de la esfera se incluye en esta calibración, el rendimiento espectral de la esfera no necesita ser conocida. El flujo radiante total espectral  $\Phi_{\text{Prueba}}(\lambda)$  de un producto SSL bajo prueba es obtenido por comparación de una referencia estándar  $\Phi_{\text{ref}}(\lambda)$ .

$$\Phi_{\text{TEST}}(\lambda) = \Phi_{\text{REF}}(\lambda) \cdot \frac{Y_{\text{TEST}}(\lambda)}{Y_{\text{REF}}(\lambda)} \cdot \frac{1}{\alpha(\lambda)} \quad (4.1)$$

Donde  $Y_{TEST}(\lambda)$  y  $Y_{REF}(\lambda)$  son las lecturas del espectroradiómetro de los productos SSL bajo prueba y con referencia estándar, respectivamente, y  $\alpha(\lambda)$  es el factor auto absorción (ver sección 4.3.1.9.5)

De las mediciones de flujo radiante espectral total  $\theta_{Prueba}(\lambda)$  [W/nm], el flujo luminoso total  $\theta_{Prueba}$ [lm] es obtenido a través de:

$$\Phi_{TEST} = K_m \int_{\lambda} \theta_{TEST}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (4.2)$$

$(K_m = 683 \text{ lm/W})$

#### 4.3.1.8.4 Espectroradiómetro

Cualquier tipo de escaneo mecánico o matriz de tipo espectroradiómetro puede ser utilizado. La matriz espectroradiómetro tiene la ventaja de que el tiempo de medición es más corto debido a la múltiple naturaleza de las matrices. El espectroradiómetro tendrá un rango mínimo espectral de 380 nm a 780 nm. La región del espectro visible definida es de 360 nm a 830nm<sup>2</sup>.

Espectroradiómetro calibrados para medir cantidades fotométricas sin errores por diferencias espectrales, siguen habiendo muchas otras fuentes de error asociados con espectroradiómetro. Tenga en cuenta que los errores en algunas matrices espectroradiómetro de mala calidad puede ser más grande que los fotómetros de alta calidad. Los errores pueden ser significativos cuando la distribución espectral de un producto SSL de una prueba es diferente a la fuente estándar (fuente de tungsteno). Las principales fuentes de error son ancho de banda, el intervalo de barrido, la exactitud de longitud de onda, espectral de la luz parásita, la no linealidad del detector, y la entrada geométrica. Por la colorimetría precisa, un ancho de banda y un intervalo de barrido de 5 nm o más pequeños son necesarios para métodos espectro radiométricos. Siga las recomendaciones de otros En la Ref. 3 y 22 para minimizar los errores y evaluar las incertidumbres de medida.

#### 4.3.1.8.5 Corrección de auto absorción

Auto-absorción es el efecto, en el que la capacidad de respuesta del sistema de esfera cambia debido a la absorción de la luz de la misma lámpara en la esfera. Los errores pueden producirse si el tamaño y la forma de la fuente de luz de prueba es diferente de aquellas fuentes de luz estándar. La corrección de la auto-absorción es crítica, ya que el tamaño físico y la forma de los productos SSL bajo prueba suelen ser muy diferentes desde el tamaño estándar de referencia y forma. La auto-absorción es dependiente de la longitud de onda porque la reflectancia espectral de la capa esfera no es espectralmente plana. El factor de auto-absorción viene dada por:

$$\alpha(\lambda) = \frac{y_{\text{aux,TEST}}(\lambda)}{y_{\text{aux,REF}}(\lambda)} \quad (4.3)$$

Donde  $Y_{\text{aux,TEST}}(\lambda)$  y  $Y_{\text{aux,REF}}(\lambda)$  son las lecturas del espectroradiómetro para lámparas auxiliares cuando los productos SSL bajo prueba o la referencia del radiante espectral total estándar, respectivamente, son montados sobre la esfera (geometría  $4\pi$  o  $2\pi$ ). En este caso, el producto SSL y la referencia no son utilizados. Solo la lámpara auxiliar es utilizada.

#### 4.3.1.8.6 Calibración

El instrumento (esfera de integración más espectroradiómetro) deben ser calibrados en contra del flujo radiante espectral total de las normas trazables a un NMI.

#### 4.3.1.9 La integración de esfera con fotómetro (sistema de Esfera-fotómetro)

Este método es un método tradicional de la integración fotométrica de la esfera, utilizando un fotómetro como el detector para una esfera de integración. Este método es aceptable, pero menos preferidos debido a la posibilidad de que grandes errores de incompatibilidad espectral en la medición de flujo luminoso de productos SSL (si el desajuste de correcciones no se aplican) y

también debido a una necesidad para los instrumentos de medición separadas por cantidades de color.

#### 4.3.1.9.1 Integración de la esfera

Vea las descripciones que figuran en 4.3.1.8.1, que también se aplican a este método, a excepción de una diferencia en el requisito de lámpara auxiliar. Para un sistema de esferas-fotómetro, la lámpara auxiliar no tiene que estar limitada a las lámparas incandescentes. Más bien, es ventajoso utilizar una lámpara auxiliar que tiene una distribución espectral similar a las de los productos SSL típicamente medidos, de modo que la auto absorción se mide con precisión, especialmente cuando la auto-absorción es muy grande ( $\alpha < 0,8$ ) o cuando la carcasa del producto SSL bajo prueba es grande y fuertemente coloreado. La lámpara auxiliar tiene que ser estable a lo largo de la medición de auto-absorción de todos los productos SSL bajo prueba. Una fuente LED blanco, por ejemplo.

#### 4.3.1.9.2 Geometría de la esfera

Las recomendaciones de geometrías para la integración de esfera se muestran en la **Figura 4.35**. La diferencia de la **Figura 4.33** es que un fotómetro se utiliza como el detector. Vea la sección 4.3.1.8.2 de las recomendaciones y los requisitos usando geometrías  $4\pi$  y  $2\pi$ . Todas las descripciones en la sección 4.3.1.8.2 se aplican para este método, salvo las diferencias en los requisitos de referencia de la lámpara estándar.

Las lámparas estándar de referencia son asignadas al flujo luminoso total, y con los mismos requisitos que se indican en la sección 4.3.1.8.2 sobre las diferentes distribuciones de intensidad aplicada. Por ejemplo, para un producto SSL de haz estrecho, lámparas estándar teniendo la misma intensidad de distribución de haz estrecho debe ser utilizado. Si sólo lámparas omni-direccional se utilizan, los factores de corrección deben ser establecidos para los diferentes tipos de distribución de la intensidad.

Si bien las normas de referencia son tradicionalmente para lámparas incandescentes, no tienen que limitarse a las lámparas incandescentes para un sistema de esferas-fotómetro. Productos SSL estable y reproducible (ejemplo, con temperatura controlada fuentes de LED blancos) puede ser utilizado como referencia estándar de flujo luminoso total. Es ventajoso, en la reducción de errores espectrales por desajuste, para que la distribución espectral del estándar de referencia que sea similar a la de los típicos Productos SSL medidos. El uso de productos SSL como referencia estándar también puede ser ventajoso en lograr distribuciones angulares de intensidad similares a las de los productos SSL a ser medidos.

#### 4.3.1.9.3 Principio de mediciones

El flujo luminoso total del dispositivo de ensayo se obtuvo por comparación con la de un patrón de referencia:

$$\Phi_{\text{TEST}} = \Phi_{\text{REF}} \cdot \frac{Y_{\text{TEST}}}{Y_{\text{REF}}} \cdot \frac{F}{\alpha} \quad (4.4)$$

Donde  $\Phi_{\text{REF}}$  es el flujo luminoso total (lumen) de la referencia,  $Y_{\text{TEST}}$  y  $Y_{\text{REF}}$  son las señales del fotómetro para los productos SSL bajo prueba y para la referencia respectivamente,  $F$  es el factor de corrección para del desajuste espectral (ver sección 4.3.1.9.6) y  $\alpha$  es el factor de auto absorción (ver sección 4.3.1.9.5) si el factor  $F$  no es determinado,  $F=1$  deberá ser usado.

#### 4.3.1.9.4 Fotómetro

El fotómetro (ver la sección 4.3.1.1.3 i) tendrá respuesta espectral relativa bien adaptado a la función  $V(\lambda)$ , mientras que el rendimiento espectral de la esfera también afecta al respuesta espectral total. El 'valor de  $F_1$ ' (se define en el CIE Pub. 69) del sistema de esfera total (fotómetro, más esfera de integración) deberá ser inferior a 3%. Para reducir aún más la incertidumbre de las mediciones, una corrección de desajuste espectral puede ser aplicada. Ver la sección 4.3.1.9.6 para los procedimientos de determinación del valor  $F_1$  ' ' y el factor de corrección espectral de desajuste.

El fotómetro debe tener un aproximado de respuesta cosenoidal con el valor  $f_2$  (índice de respuesta direccional) de menos de 15%, y el difusor superficie debe ser montado a ras de la capa de la superficie de la esfera. Si una esfera satélite se utiliza para una respuesta cosenoidal, su apertura no será rebajada, los bordes de la abertura de la esfera de satélite estará al mismo nivel a la superficie de revestimiento esfera integradora.

#### 4.3.1.9.5 Corrección de auto absorción

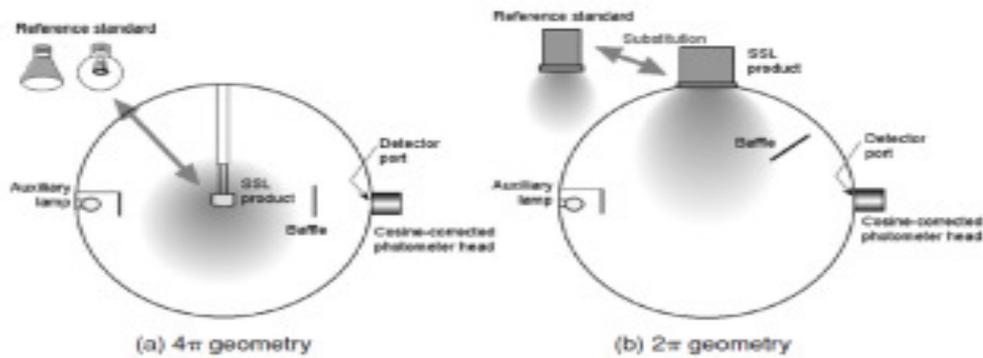
La corrección de auto-absorción se aplicará a menos que el producto SSL de prueba y el flujo luminoso de referencia sean del mismo modelo y del mismo tamaño (sustitución estricta). El factor auto-absorción puede ser medido a través de:

$$\alpha = \frac{Y_{aux,TEST}}{Y_{aux,REF}} \quad (4.5)$$

Donde  $Y_{aux, TEST}$  y  $Y_{aux, REF}$  son señales del fotómetro para lámparas auxiliares cuando el productor SSL bajo prueba, o el flujo luminoso total de la referencia respectivamente, este montado sobre la esfera (geometría  $4\pi$  o  $2\pi$ ). Ellos no son utilizados, únicamente la lámpara auxiliar es utilizada. La lámpara auxiliar puede ser incandescente o de halógeno o una fuente de luz LED blanca.

#### 4.3.1.9.6 Determinación de $f_1'$ y factor de corrección del desajuste espectral

La capacidad de respuesta espectral del sistema esfera fotómetro integrado no puede ser perfectamente igualado a la función  $V(\lambda)$ . Un error (llamado error de desajuste espectral) se produce cuando un producto SSL bajo prueba tiene una distribución diferente del potencial espectral que el de la fuente estándar. Valor de  $F_1'$  es un índice que indica el grado de desajuste en la respuesta espectral, y el valor (en%) da una indicación aproximada de la magnitud de los errores que pueden ocurrir en general para fuentes de luz blanca, pero los errores pueden ser mayor que el valor de la  $F_1'$  'para los productos SSL que consta de sólo unas pocas emisiones de banda estrecha.



**Figura 4.35:** Recomendaciones geométricas de la esfera para una medición total del flujo luminoso. (a) Para todo tipo de productos LEDs, (b) Para productos LED que tengan solamente una emisión en una dirección.

**Fuente:** IESNA LM – 79

Para determinar el valor de la  $F1'$ , la respuesta espectral relativa de la esfera total del sistema  $S_{rel}(\lambda)$  debe ser obtenido.  $S_{rel}(\lambda)$  se da como un producto de capacidad de respuesta espectral relativa del fotómetro de Sph,  $s_{ph,rel}(\lambda)$  y el rendimiento espectral relativa de la esfera  $T_{rel}(\lambda)$ :

$$S_{rel}(\lambda) = s_{ph,rel}(\lambda) T_{rel}(\lambda) \quad (4.6)$$

El  $s_{ph,rel}(\lambda)$  se debe medir en geometría de iluminación hemisférica. Si se mide sólo en dirección normal, la incertidumbre debe determinarse.  $T_{rel}(\lambda)$  es teóricamente dado por:

$$T_{rel}(\lambda) = k \cdot \frac{\rho_a(\lambda)}{1 - \rho_a(\lambda)} \quad (4.7)$$

Donde  $\rho_a(\lambda)$  es la reflectancia promedio de toda la superficie de la esfera interna (incluyendo  $\rho=0$  para una abertura, si la hubiera) y  $k$  es un factor de normalización. Si  $\rho_a(\lambda)$  de la esfera integrada en uso es medida precisamente,  $T_{rel}(\lambda)$  puede ser obtenido usando esta ecuación. Sin embargo, dicha esfera en uso está más o menos contaminada y los datos de las muestras de capa tienden a desviarse de la reflectancia de la superficie de la esfera real.

Por lo tanto, se recomienda que  $T_{rel}(\lambda)$  sea directamente medida sobre la esfera integrada usando los procedimientos dado en el anexo B de la referencia 7.

Una vez que  $S_{rel}(\lambda)$  es determinado,  $f_1$  es calculado por:

$$f_1 = \frac{\int_{\lambda} |s_{rel}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_{\lambda} V(\lambda) d\lambda} \times 100\% \quad \text{with} \quad (4.8)$$

$$s_{rel}^*(\lambda) = \frac{\int_{\lambda} S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} S_A(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda} \bullet s_{rel}(\lambda)$$

Donde  $S_A(\lambda)$  es la distribución espectral iluminante CIE y  $V(\lambda)$  es la función eficaz del espectro luminoso. Conociendo a  $S_{rel}(\lambda)$  y la distribución de energía espectral relativa  $STEST(\lambda)$  el producto SSL bajo prueba, el factor de corrección de desajuste espectral  $F$  es dado por:

$$F = \frac{\int_{\lambda} S_{REF}(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_{TEST}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} S_{REF}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \int_{\lambda} S_{TEST}(\lambda) s_{rel}(\lambda) d\lambda} \quad (4.9)$$

Donde,  $S_{REF}(\lambda)$  es la distribución espectral e la fuente e referencia. Los errores de desajuste espectral pueden r corregidos por una multiplicación del factor  $F$  del valor de lumen medido del producto SSL. La precisión de  $STEST(\lambda)$  no es muy crítico generalmente. Y en consecuencia, la distribución espectral nominal de un producto puede ser usado. (Para más detalles ver referencia 10 y 7).

#### 4.3.1.9.7 Calibración

El sistema fotómetro de esfera debe ser calibrado contra el total de las normas de flujo luminoso trazable en NMI.

#### 4.3.1.10 Goniofotómetro

El Goniofotómetro se utiliza normalmente para la medición de distribución de intensidad luminosa, de la cual el flujo luminoso total se puede obtener.

#### 4.3.1.10.1 Tipo de goniómetro

Los goniofotómetros deberá ser del tipo que mantiene la posición sin cambios con respecto a la gravedad, por lo tanto, sólo Tipo C goniofotómetro son admisibles. Tipo C goniofotómetros incluyen detectores de movimiento goniómetros y moviendo goniofotómetros espejo. Se debe tener cuidado para evitar que la luz reflejada por la estructura mecánica del goniofotómetro o cualquier otra superficie incluyendo reflejos secundarios de las superficies del producto SSL mismo desde alcanzar el fotodetector. La velocidad de rotación del equipo de posicionamiento debe ser tal que pueda minimizar la perturbación del equilibrio térmico del producto SSL.

#### 4.3.1.10.2 Principio de medidas para el flujo luminoso total

Mediante la medición de la distribución de intensidad luminosa  $I(\theta, \phi)$  de la fuente, de flujo luminoso total se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$\Phi = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} I(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (4.10)$$

Si el fotómetro está calibrado para medir iluminancia  $E(i, z)$ ,

$$\Phi = r^2 \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} E(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (4.11)$$

Donde  $r$  es el radio de rotación del plano de referencia del fotómetro. Una distancia fotométrica suficientemente larga,  $r$ , es requerida para mediciones de distribución de intensidad luminosa (ver sección 4.3.1.10.1).

El requisito de la distancia no es crítico si sólo el flujo luminoso total se va a medir. Como se ha indicado por La ecuación. (4.11), mientras la iluminancia es medida con precisión, el flujo luminoso total puede ser medido con precisión incluso con un fotómetro relativamente corto de alcance de (radio  $r$ ), por lo tanto menos espacio para el goniofotómetro requerido para un determinado tamaño de fuente de luz para ser medido. En este caso, el detector debe tener capacidad de respuesta angular cosenoidal corregido dentro de su campo de vista del producto

SSL bajo prueba. Por definición en la ecuación. (4.11), la localización de la fuente de luz con relación a el centro de rotación no es teóricamente relevante, y por lo tanto, la alineación de la fuente de luz no es crítica para la medición de flujo luminoso total.

#### 4.3.1.10.3 Resolución de escaneo

La resolución de escaneo lo suficientemente fina para definir con precisión la muestra de prueba a ser utilizado. Para un ángulo típico, distribuciones de intensidad suave, un 22,5 lateral (horizontal) y 5 longitudinal (vertical) de la red puede ser aceptable. Un ángulo más fino de resolución (incrementos más pequeños de prueba) se utilizará donde la intensidad luminosa del producto SSL está cambiando rápidamente o es errático, como fuentes de haz formando. Una mayor orientación sobre la selección de la resolución de escaneado correcto, basado en la experiencia adquirida a lo largo de los años las pruebas de luminarias y otros los tipos de lámparas, están en las referencias.9, 11-17.

#### 4.3.1.10.4 Angulo de cobertura

La gama de la exploración angular debe cubrir todo el ángulo sólido al que el producto SSL emite la luz. Una desventaja de un goniofotómetro, es cuando se mide el flujo luminoso total, ya que un goniofotómetro en general tiene algunos regiones angulares donde la emisión de una fuente de luz bajo prueba está bloqueado por su mecanismo (por ejemplo, un brazo soporte para un producto SSL), de modo que la medición en esa dirección no se puede hacer (dicho ángulo se llama ángulo muerto). Esto no es un problema para los productos de SSL que emiten luz solamente en la dirección de avance similar a muchas luminarias existentes. Sin embargo, esto puede ser un problema para Productos SSL que emiten luz en todas direcciones (por ejemplo, Las lámparas LED integrados similares a lámparas fluorescentes compactas lámparas). Goniofotómetro con un gran ángulo muerto no son adecuados para la medición de flujo total de dichos Productos SSL. Si el ángulo muerto es pequeño (por ejemplo,  $\pm 10^\circ$  o menos), es posible para interpolar los datos que faltan puntos con una incertidumbre adicional.

#### 4.3.1.10.5 Polarización

Cabe señalar que el espejo goniofotómetros tienen un sistema de detección que es sensible a la polarización debido a las características de espejos ligeramente polarizante. Sensibilidad a la luz polarizada puede causar importantes errores en la medición del flujo luminoso total de Productos SSL que emiten luz polarizada. Para la medición de este tipo de productos SSL, los goniofotómetros que no utilicen un espejo son recomendados. Algunos goniofotómetros tipo espejo tiene la opción de montar un fotómetro directamente sobre el brazo giratorio para tales fines.

#### 4.3.1.10.6 Fotómetro

El fotómetro del goniofotómetro debe tener una capacidad de respuesta Espectral Relativa adaptada al estilo de la función  $V(\lambda)$ . El valor de  $f_l$  para la capacidad de respuesta Espectral deben ser menor a 3%. Además, es deseable aplicar correcciones de desajuste Espectral Para La Lectura del fotómetro. Para la determinación de  $f_l$  y el factor de corrección de desajuste Espectral, ver Las Ecuaciones (4.8) y (4.9) en la Sección 4.3.1.9.6, Con  $S_{rel}(\lambda)$  siendo la capacidad de respuesta Espectral Relativa del fotómetro, Medida en Dirección normal.

Para la medición de flujo luminoso total descrito en la sección 4.3.1.10.2, el fotómetro deberá tener una buena respuesta cosenoidal dentro del rango angular donde la luz es incidente, con el valor de  $\epsilon, \phi$  (desviación relativa a partir de la función coseno) de menos de 2% dentro del rango angular de aceptación. El campo de visión del fotómetro debe ser limitado (por ejemplo, utilizando pantallas de apertura) con el fin de proteger a la luz dispersa reflejada desde los ángulos que no sean de la fuente de luz que se mide. Para reducir al mínimo los errores de pérdidas de luz dentro del campo de visión del fotómetro, se recomienda usar una trampa de luz en el otro lado del brazo del detector y/o utilizar materiales de baja reflectancia (tales como terciopelo negro) para la pared y las superficies del suelo.

#### 4.3.1.10.7 Calibración

Los goniómetros para mediciones de distribución de intensidad luminosa deben ser calibrados contra la iluminancia o intensidad luminosa estándar para normas nacionales. En adición, los goniómetros para mediciones del flujo luminoso total deben ser validados por las mediciones del flujo luminoso total de lámparas estándar trazable a normas nacionales. Como medidas validas se debe usar lámparas estándar teniendo distribuciones de intensidad angular similares (direccional /omnidireccional) como cuanto tipos de producto SSL sean probados con el goniómetro.

#### 4.3.1.11 Distribución de la intensidad luminosa

Las recomendaciones dadas en la sección 4.3.1.10 se refieren a goniómetros utilizados para medir la distribución de intensidad luminosa así como el flujo luminoso total. Para la medición de la distribución de intensidad luminosa, una distancia fotométrica suficiente debe ser usada generalmente, a más de cinco veces de la dimensión más grande del producto SSL bajo prueba teniendo una amplia distribución angular. Una distancia mayor puede ser necesaria para fuentes de haz estrecho (por ejemplo, ver ref. 13).

El sistema de coordenadas y la geometría de montaje para Productos SSL deben seguir la práctica utilizada en las luminarias tradicionales bajo pruebas en aplicaciones en concreto. (Ref. 9,11-17). La distribución de intensidad luminosa absoluta (en lo sucesivo como método de fotometría absoluta en las luminarias tradicionales de pruebas, por ejemplo, ver Ref. 16) de mediciones de productos SSL debe ser reportado. Nótese que la presentación de normalización de los datos de intensidad luminosa con el método de fotometría relativa, comúnmente utilizado en las luminarias tradicionales de pruebas, no puede ser utilizada para los productos SSL. Si el cálculo del flujo zonal es necesario, la orientación esta En el Anexo A de ref. 16.

Los datos electrónicos de medición de las distribuciones de intensidad luminosa, si es necesario, se preparará en el IES " archivo "formato de fotometría absoluta se especifica en el IES LM-6318 el archivo IES es un formato de datos electrónico que pueden ser utilizados por los diseñadores y diseñadoras es una herramienta fiable predecir los niveles de iluminancia en las

aplicaciones de diseño. La datos, sin embargo, se debe utilizar con el entendimiento que el archivo fotométrico describe el rendimiento de una sola Luminaria y no necesariamente representan el rendimiento medio de un grupo de la mismas luminarias SSL.

#### 4.3.1.12 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa (lm/W) del producto SSL,  $\eta_v$ , se da como el cociente de medida del flujo luminoso total  $\phi_{TEST}$  (lumen) y la medida de la potencia de entrada eléctrica  $P_{test}$  (W) del producto SSL sometido bajo prueba como.

$$\eta_v = \frac{\Phi_{TEST}}{P_{TEST}} \text{ [lm/W]} \quad (4.12)$$

Obsérvese que la eficacia luminosa descrita anteriormente es eficacia luminosa de una fuente tal como se define en la ref.19. No debe confundirse con la eficacia luminosa de radiación, que es la relación de flujo luminoso (lumen) al flujo radiante (W) de la fuente.

#### 4.3.1.13 Métodos de prueba para la característica de color de productos SSL

Las características de color de los productos SSL incluyen las coordenadas de cromaticidad, temperatura de color correlacionada, y el índice de rendimiento de color. Estas características de productos SSL puede ser espacialmente no uniforme, y por lo tanto, a fin de que se pueda especificar con exactitud, las cantidades de color se mide como valores que son promediados espacialmente, ponderado con la intensidad, a lo largo el rango angular donde la luz es emitida intencionalmente a partir del producto SSL.

##### 4.3.1.13.1 Método usando un sistema esfera espectroradiómetro

El primer método recomendado para lograr esto es necesario medir el flujo total del espectro radiante con un sistema esfera espectroradiómetro como se describe en la sección 4.3.1.8. La medida total del flujo radiante espectral es una cantidad de espacio integrado, por lo

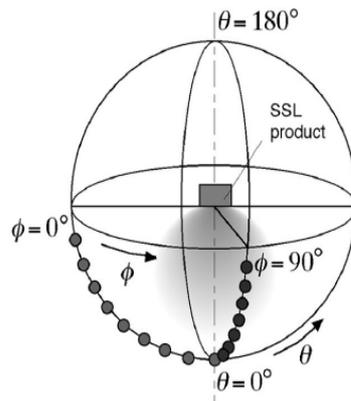
tanto las características de color calculado a partir de este ya están espacialmente promediadas. Siga las recomendaciones dadas en el apartado 4.3.1.8 para realizar mediciones con este método

Recomendaciones generales sobre el uso de espectroradiómetro para las mediciones de color están disponibles en las referencias. 20 y 21. Diversos análisis y corrección de error métodos en la medición del color espectral están disponibles en Ref.22.

#### 4.3.1.13.2 Método usando un espectroradiómetro o colorímetro espacialmente escaneados

Este método puede ser utilizado cuando un sistema de esfera-espectroradiómetro no está disponible, o cuando la prueba la muestra es demasiado grande para ser medida con un sistema esfera espectroradiómetro. Este método utiliza un espectroradiómetro y/o un colorímetro que mide la cromaticidad del producto SSL bajo prueba en diferentes direcciones. Esto se puede lograr más eficientemente mediante el montaje del instrumento de medición del color sobre un goniómetro (llamado gonio-espectroradiómetro, o gonio-colorímetro). La distribución de intensidad luminosa y las coordenadas de cromaticidad se puede medir al mismo tiempo, tomando lecturas a apropiado intervalos de ángulo (véase la sección 4.3.1.10.3) sobre la totalidad del Rango angular en el que la luz es intencionalmente emitida a partir del producto. A continuación, la cromaticidad promediada se obtiene a partir todos los puntos medidos usando la ecuación. (4.13) a continuación, o en base a espacialmente integrados valores triestímulo.

Si un gonio-espectroradiómetro y/o gonio-colorímetro no está disponible, esto también puede lograrse mediante manualmente la colocación del instrumento para instrucciones dadas a una distancia constante, como la precisión ángulo no es muy crítico en esta medición. La coordenadas de cromaticidad y la intensidad luminosa (o iluminación) se medirá a  $10^\circ$  o menos intervalos para el ángulo vertical  $\theta$  en el rango del ángulo donde la luz es intencionalmente emitida desde la fuente y al mínimo dos ángulos horizontales  $\theta = 0^\circ$  y  $90^\circ$  (ver **Figura 4.36**). Las mediciones de cromaticidad deben hacerse sólo para los ángulos  $\theta$ , donde la intensidad luminosa media es más del 10% de la intensidad del pico. El promedio coordenadas de cromaticidad (x, y) o (U', V') serán obtenidas como una media ponderada de todos los puntos medidos, ponderado por la iluminancia y el factor de ángulo sólido en cada punto de la siguiente manera.



**Figura 4.36:** Geometría de la medición de cromaticidad usando un goniofotómetro para un producto LED que tiene una emisión unidireccional

**Fuente:** IESNA LM – 79

Las coordenadas de cromaticidad y la intensidad luminosa para  $\theta=0^\circ$  y  $\theta=90^\circ$  (o más ángulos  $\theta$ ) son primero promediado en cada ángulo  $\theta$  y expresado como  $x(\theta_i)$ ,  $y(\theta_i)$  y  $I(\theta_i)$  cuando  $\theta_i = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \dots, 180^\circ$ . Entonces el promedio de coordenadas de cromaticidad  $x_a$  se calcula como una media ponderada

$$x_a = \sum_{i=1}^{19} x(\theta_i) \cdot w_i(\theta_i) \quad \text{with} \quad w_i(\theta_i) = \frac{I(\theta_i) \cdot \Omega(\theta_i)}{\sum_{i=1}^{19} I(\theta_i) \cdot \Omega(\theta_i)}$$

and

$$\Omega(\theta_i) = \begin{cases} 2\pi \left[ \cos(\theta_i) - \cos\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \right]; & \text{for } \theta_i = 0^\circ \\ 2\pi \left[ \cos\left(\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}\right) - \cos\left(\theta_i + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \right]; & \text{for } \theta_i = 10^\circ, 20^\circ, \dots, 170^\circ \\ 2\pi \left[ \cos\left(\theta_i - \frac{\Delta\theta}{2}\right) - \cos(\theta_i) \right]; & \text{for } \theta_i = 180^\circ \end{cases} \quad (4.13)$$

$$\Delta\theta = 10^\circ$$

Coordenadas de cromaticidad  $Y_a$  y otras cantidades de color promediadas son calculadas similarmente. Esta fórmula es una aproximación, que proporciona suficiente precisión para aplicaciones prácticas. En rigor, el espacio integrado las cantidades de color se calcula a partir de la geoméricamente flujo total de los valores triestímulo, X, Y, Z.

Si un colorímetro triestímulo se utiliza, debe ser calibrado contra el producto SSL bajo prueba en comparación con un espectroradiómetro, o se debe medir sólo las diferencias de colores desde un punto de referencia (por ejemplo, dirección perpendicular), y la cromaticidad del punto de referencia debe ser medida con un espectroradiómetro de modo que las cromaticidades absolutas en todo los puntos se obtienen a partir de la lectura del espectroradiómetro. La salida fotométrica (iluminancia) también necesita que se registren para calcular el promedio ponderado como se ha descrito anteriormente. Para esta medición la uniformidad del color, la distancia de medición será superior a 5 veces la dimensión más grande de la emisión de luz área del producto bajo prueba.

Si la no uniformidad espacial de color de un producto determinado Se ha determinado para ser despreciable ( $\Delta u'v' \leq 0,001$ , véase la sección 4.3.1.13.5), el promedio de cromaticidad del producto de mismo modelo se puede medir en una dirección cerca de la cima de su distribución de intensidad.

El espectroradiómetro utilizado en esta medición (descrito en la sección 4.3.1.13.2) se calibrará contra la irradiación espectral o las normas espectrales de radiancia trazables a un instituto nacional de metrología

#### 4.3.1.13.3 Parámetros de los Espectroradiómetros que afectan medidas características de color

El espectroradiómetro tendrá un espectro mínimo de rango de 380 nm y 780 nm. El espectroradiómetro utilizado en cualquiera de los métodos (secciones 4.3.1.13.1 o 4.3.1.13.2) deben ser seleccionados y configurado de manera que la relación de distribución espectral se mide con precisión incluso para Productos SSL con estrecha distribución espectral. Los intervalos de ancho de banda y la exploración son entre los parámetros importantes para la medición de distribuciones espectrales de las fuentes de luz en general. La intervalos de ancho de banda y longitud de onda de exploración deberá ser de 5 nm o más pequeños (menos corrección apropiada métodos se aplican) y deben ser emparejados a menos intervalos de longitud de onda son muy pequeñas (por ejemplo, 1 nm o menos). Más detalles están disponibles en las referencias. 3, 20, 21. Diversos análisis de error y los métodos de corrección (de paso de banda, la luz difusa, etc) en

las mediciones de color del espectro para diversas fuentes de luz, incluyendo los LEDs están disponibles en Ref. 22.

#### 4.3.1.13.4 Cálculos colorimétricos

Las coordenadas de cromaticidad  $(x, y)$  y/o  $(U', V')$ , y la temperatura de color correlacionada (CCT, de la unidad: Kelvin) se calcula a partir de la distribución espectral relativa del producto SSL de acuerdo con la definiciones CIE (Ref. 3). CCT se define como la temperatura de un Radiador planckiano teniendo la cromaticidad más cercana a la cromaticidad de la fuente de luz sobre el  $(u', 2/3 v')$  cromaticidad diagrama (conocido como CIE 1960  $(u, v)$  diagrama, ahora obsoleto). El índice de reproducción cromática (CRI) se calcula de acuerdo a las fórmulas definidas en la referencia. 23.

#### 4.3.1.13.5 No-uniformidad espacial de cromaticidad

Productos SSL puede tener la variación de color con el ángulo de emisión. La no-uniformidad Espacial de cromaticidad debe ser evaluada utilizando las condiciones de medida como las que se describe en la sección 4.3.1.13.2. La distribución espacial de coordenadas de cromaticidad del producto SSL se miden en dos planos verticales ( $\varphi = 0^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ), y la coordenada de cromaticidad promediado espacial se calcula a partir de estos puntos de acuerdo con la ecuación. (4.13). La no-uniformidad espacial de cromaticidad,  $\Delta u'v'$ , se determinó como la desviación máxima (distancia sobre CIE (diagrama  $u', v'$ )) entre todos los puntos medidos a partir de la coordenada de cromaticidad promedio espacial. Para esta evaluación, la precisión sólo en las diferencias de cromaticidad es crítica, y por lo tanto, todas las mediciones pueden hacerse con un colorímetro triestímulo si un espectroradiómetro no está disponible.

#### 4.3.1.14 Comunicado de incertidumbre

Si la declaración de la incertidumbre es necesaria, siga las recomendaciones que se dan en las referencias. 5 y 6. Para todas las mediciones fotométrica, utilizar incertidumbre expandida con un intervalo de confianza de 95%, por lo tanto, en la mayoría de los casos, utilizando el factor de cobertura  $k = 2$ .

#### 4.3.1.15 Informe

El informe del ensayo deberá incluir todos los datos importantes para cada uno de los productos SSL medido junto con los datos de rendimiento. El informe también deberá incluir todos los datos pertinentes relativos a condiciones de ensayo, el tipo de equipo, productos SSL y normas de referencia. Los artículos típicos que se presentan son:

- a) Fecha y pruebas de la agencia
- b) Nombre del fabricante y la designación del producto SSL bajo prueba
- c) Las cantidades de medición (flujo luminoso total, la eficacia luminosa, etc)
- d) Valoración de los valores eléctricos (aclarar AC (frecuencia) o DC) y nominal CCT del producto SSL probado
- e) Número de horas de funcionamiento antes de la medición (0h para calificar productos nuevos)
- f) el tiempo de funcionamiento total del producto para las mediciones incluyendo la estabilización
- g) Temperatura ambiente
- h) Orientación (posición de funcionamiento) del producto SSL durante la prueba
- i) Tiempo de estabilización
- j) Método fotométrico o instrumento utilizado (esfera fotómetro, esfera espectroradiómetro o goniofotómetro)
- k) La designación y el tipo de patrón de referencia utilizado (potencia, tipo de lámpara, el tipo de intensidad de la distribución omnidireccional/direccional) y su trazabilidad
- l) Los factores de corrección aplicado (por ejemplo, falta de coincidencia, espectral, auto-absorción, la intensidad de distribución, etc)
- m) Las condiciones fotométricas de medición (de la esfera medición, el diámetro de la esfera, revestimiento reflectancia,  $4\pi$  o geometría  $2\pi$ . Para el goniofotómetro, distancia fotométrica.)
- n) Se mide el flujo luminoso total (lm) y la tensión de entrada (V), corriente (A), y la potencia (W) de cada uno de los productos SSL
- o) Distribución de la intensidad luminosa (si procede).
- p) Las cantidades de color (coordenadas cromáticas, CCT y / o IRC de productos blancos de luz)
- q) La distribución espectral de potencia (si procede)

- r) Ancho de banda del espectro-radiómetro, si la distribución espectral y /o las cantidades de color se informó
- s) Los equipos utilizados
- t) Declaración de las incertidumbres (si es necesario)
- u) La desviación de los procedimientos operativos estándar.

#### 4.3.1.16 Anexo

En este anexo se proporciona información básica sobre el desarrollo de esta norma. En este anexo se explica cómo la medición de la iluminación de estado sólido (SSL) difieren de la medición de los conocimientos tradicionales lámparas y luminarias, ¿por qué esta norma es necesario, y por qué no se trata el muestreo?

¿Por qué iluminación de estado sólido es diferente?

En las mediciones fotométricas de las lámparas tradicionales y las luminarias, las condiciones de funcionamiento son diferentes dependiendo del tipo de lámpara. Estas condiciones incluyen el balasto, medición eléctrica, tiempo de estabilización, el manejo de la lámpara, y más. Así, las normas se han desarrollado diferentes para diferentes tipos de lámparas e incluso luminarias que utilizan varios tipos de lámparas. Las normas para la medición de Productos SSL son necesarias porque las fuentes de LEDs tienen diferentes requisitos de funcionamiento y temperatura que las condiciones de las fuentes de luz tradicionales.

Productos SSL puede ser en forma de lámparas, tales como integrados de las lámparas LED, o luminarias, que varían en escala de lámparas pequeñas hasta un tamaño grande de luminarias fluorescente. Dependiendo del tamaño y las cantidades necesarias, estos productos pueden ser medidos en una esfera de integración o un goniofotómetro. De este modo los productos SSL se miden por la ingeniería de la fotometría de la lámpara así como por la ingeniería de la fotometría de las luminarias. Esta norma aporta una base común y métodos uniforme de medición para ambos grupos de ingeniería.

Tradicionalmente, las mediciones fotométricas han sido para las lámparas y luminarias de forma separada con diferentes métodos de prueba. Las lámparas se miden con las esferas de la integración, el flujo luminoso total y la cromaticidad son las variables principales de interés. Las luminarias se mide normalmente con goniofotómetros, la distribución de intensidad luminosa y el rendimiento de la luminaria son las principales magnitudes de interés. Se han elaborado normas por separado para la medición de las lámparas (como LM-9 lámparas fluorescentes lineales, LM-45 incandescente lámparas, y LM-66 para lámparas fluorescentes compactas) y para la medición de las luminarias (tales como LM-41 para el interior luminarias fluorescentes). Sin embargo, para la mayoría actuales productos SSL, las lámparas LED no se pueden separar de las luminarias, y la naturaleza de los productos SSL se parece tanto a las fuentes de luz y luminarias. Por lo tanto, ninguna de las normas existentes para lámparas o las luminarias es directamente aplicable a los productos de SSL.

### **Fotometría relativa y absoluta**

Los métodos tradicionales de fotometría de luminarias no funcionan para los productos de SSL porque tradicionalmente, las luminarias normalmente se prueban con un goniofotómetro utilizando un procedimiento que se llama la fotometría relativa. En este método, una luminaria bajo prueba y la lámpara sola utilizado(s) en la luminaria se miden por separado. Entonces los datos de intensidad luminosa de distribución de la luminaria medidos con el goniofotómetro se normalizan por la medida del flujo luminoso total de lámparas utilizado en la luminaria probada. Por lo tanto, la distribución de la intensidad luminosa se presenta normalmente en escala relativa (Por ejemplo, candela por 1000 lúmenes). Tales métodos de ensayo no puede ser utilizado para los productos SSL porque, en la mayoría Productos SSL, fuentes de luz LED no están diseñados para ser separado de la luminaria. Incluso si el LED fuente se pueden separar y medir por separado, el método de fotometría relativa no va a funcionar con precisión debido a la salida de luz de la fuente de LED cambia significativamente si se opera fuera de la luminaria debido a diferencias en las condiciones térmicas. Por lo tanto, las normas existentes para la medición de las luminarias no pueden ser utilizadas para los productos SSL.

Algunas normas de IES (por ejemplo, LM-35-02) describe el método de fotometría absoluta, en el que la distribución absoluta de la intensidad luminosa de una luminaria se mide sin medición separada de las lámparas. Productos SSL debe medirse utilizando dicho método fotometría absoluta. Sin embargo, fotometría absoluta rara vez se utiliza para las tradicionales luminarias y no se describe con detalle suficiente en estas normas. Sección 4.3.1.10 de esta norma describe los requisitos detallados de la fotometría absoluta para la medición total de flujo luminoso de productos SSL.

## **Muestreo**

Con el método de fotometría relativa comúnmente utilizado para luminarias, los resultados son independientes de las variaciones individuales de la lámpara flujo luminoso debido a la normalización utilizando la medida flujo luminoso total de las lámparas. Como resultado, el individuo variación de la salida de la lámpara de luz debido a la variación de la lámpara y la variación en el factor de lastre del equipo de control se elimina.

Las inconsistencias en las mediciones de flujo luminoso como resultado de variaciones en la geometría de la luminaria son normalmente insignificantes cuando las inconsistencias debido a variaciones en el flujo luminoso producido por la lámpara (s) se retiran. Cabe señalar que la variación de flujo luminoso proporcionado por la lámpara es una función tanto de la lámpara (s) y su lastre / Control y Protección. Como resultado, ha sido históricamente suficiente para medir una sola muestra de evaluación de un producto de la luminaria. Esta es la práctica de uso frecuente en la evaluación del rendimiento de las luminarias. Por el otro lado, los resultados de la medición de los productos SSL se ven afectados directamente por la salida de las fuentes, y siempre están sujetas a las variaciones individuales de las fuentes de luz LED, que tienden a ser significativamente mayor que incluso las de las lámparas fluorescentes. Por lo tanto, medición de una muestra es insuficiente para productos SSL y productos adecuados de muestreo y promediando los resultados se requiere para los productos SSL. Los requisitos de tolerancia para cada producto muestran variaciones que pueden ser diferentes para diferentes aplicaciones. LM-79 se describen los métodos de prueba para el individuo SSL productos y no cubre estos métodos

de muestreo Valoración de los productos, que deben estar cubiertos por un requisito reglamentario, los requerimientos del cliente o agencia.

### **Próximos pasos**

Esta norma seguirá evolucionando a medida que el SSL industria evoluciona. En particular, la medición de características de las luminarias que utilizan goniómetro tendrá que ser más detallados los requisitos de las luminarias son diferentes para diferentes aplicaciones del alumbrado, y se requerirá un importante esfuerzo para cubrir esta área. El IES pruebas de la comitología seguir trabajando para mejorar esta norma, así como desarrollar normas adicionales y métodos necesarios para la medición de productos SSL.

### **Referencias**

1. IESNA Light Sources Committee, *IESNA Technical Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems*, TM-16-05.
2. Commission Internationale de l'Eclairage, *Photometry – The CIE System of Physical Photometry*, CIE S010/E:2004 / ISO 23539- 2005(E).
3. Commission Internationale de l'Eclairage, *Colorimetry*, 3rd edition, CIE 15:2004.
4. ANSI, *Specifications of the Chromaticity of Solid State Lighting Products*, ANSI-NEMA ANSLG C78-09.377-2008.
5. ISO, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1st Edition, 1993.
6. ANSI, *U.S. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ANSI/NCSL Z540-2-1997.
7. IESNA Testing Procedures Committee, *IESNA Approved Method for Total Luminous Flux Measurement of Lamps Using an Integrating Sphere Photometer*, LM-78-2007.
8. Commission Internationale de l'Eclairage, *Measurement of Luminous Flux*, CIE 84:1989.
9. IESNA Testing Procedures Committee, *Goniophotometer Types and Photometric Coordinates*, LM-75-01.
10. Commission Internationale de l'Eclairage, *Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters*, CIE 69:1987.

11. IESNA Testing Procedures Committee, *IESNA Approved Method for Photometric Testing of Indoor Fluorescent Luminaires*, LM-41-98.
12. IESNA Testing Procedures Committee, *Photometric Testing of Outdoor Fluorescent Luminaires*, LM-10-96.
13. IESNA Testing Procedures Committee, *Photometric Testing of Searchlights*, LM-11-97.
14. IESNA Testing Procedures Committee, *Photometric Testing of Reflector Type Lamps*, LM-20-94.
15. IESNA Testing Procedures Committee, *Photometric Testing of Roadway Luminaires Using Incandescent Filament and HID lamps*, LM-31-95.
16. IESNA Testing Procedures Committee, *Approved Method for Photometric Testing of Floodlights Using High Intensity Discharge or Incandescent Filament Lamps*, LM-35-02.
17. IESNA Testing Procedures Committee, *Photometric Testing of Indoor Luminaires Using HID or Incandescent Filament Lamps*, LM-46-04.
18. IESNA Testing Procedures Committee, *Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information*, LM-63-02.
19. Commission Internationale de l'Eclairage, *International Lighting Vocabulary*, CIE 17.4-1987/ International Electrotechnical Commission, Publication 50 (845)-1989.
20. IESNA Testing Procedures Committee, *IESNA Guide to Spectroradiometric Measurements*, LM-58-94.
21. Commission Internationale de l'Eclairage, *Spectroradiometric Measurement of Light Sources*, CIE 63-1984.
22. Ohno, Y., Chapter 5 Spectral Colour Measurement, *Colorimetry—Understanding the CIE System*, edited by J. Schanda, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, 2007.
23. Commission Internationale de l'Eclairage, *Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources*, CIE 13.3-1995.

## **4.3.2 IESNA LM – 80 Método aprobado para prueba de mantenimiento del lumen para fuentes de luz LED**

### 4.3.2.1 Introducción

Este método aprobado LM 80. Incluye las mediciones de mantenimiento del lumen para los paquetes instituidos inorgánico LED. Arreglos y módulos. LM-80 no hace el intento de inducir ningún tipo de fracaso más que el mantenimiento del lumen. En este documento el uso del término ``fuentes`` se refiere a los paquetes, únicamente ajustes y medidas.

Este método aprobado describe los procedimientos por el cual las fuentes de luz LED pueden ser operadas bajo condiciones controladas para obtener una información óptimamente comparable sobre los cambios de la emisión de luz durante la vida de la lámpara. Estas fuentes deben ser manipuladas sobre dispositivos auxiliares externos.

Los LEDs típicamente muestran una larga vida operacional y, dependiendo de la corriente de impulso y las condiciones de uso pueden ser usados por 50.000 horas ó más. Como todas las fuentes de luz, la emisión de luz de los LEDs disminuye lentamente a través del tiempo. Diferente a las fuentes de luz tradicionales. Los LEDs no tienden a fallar catastróficamente. Por lo tanto, a través del tiempo, el mantenimiento del lumen puede resultar en una menor emisión de luz de lo previsto en las especificaciones.

Los LEDs también pueden caer a cambios graduales del espectro emitido debido al tiempo que puede resultar en una apariencia inaceptable. Estos cambios pueden afectar al mantenimiento del lumen debido a los cambios de la emisión de luz resultante a las variaciones de la distribución de energía espectral.

Es importante saber sobre la emisión de luz, la eficiencia, y mantenimiento del lumen así como la vida de estas fuentes de luz, sobre la información de la fotometría de las fuentes de luz LED, ver la referencia 4.3.2.3.1 b) del Estándar LM-79. El termino ``tiempo de vida`` es siempre usado para describir un juicio o criterio de su vida útil tal como cuando el mantenimiento del

lumen cae por debajo de un umbral definido. Este estándar establece los procedimientos para la medición del mantenimiento del lumen.

El rendimiento de las fuentes de luz LED es típicamente afectado por las variables tales como ciclo de operación, condiciones impuestas por equipos auxiliares y accesorios, temperatura ambiente, orientación y corriente de aire. Los programas y condiciones de ensayo deben ser designados para otorgar resultados similares a la de un laboratorio. Las recomendaciones de este estándar han sido hechas con estos objetivos.

#### 4.3.2.2 Alcance

Este estándar es uno más de la serie de estándares de la IESNA, los cuales son escritos para permitir una comparación segura de las pruebas hechas en laboratorios mediante el establecimiento uniforme de diferentes ensayos. Se ocupa de la medición a las pruebas de mantenimiento del lumen para fuentes de luz LED designado y certificado para satisfacer a las industrias estándar de iluminación.

Este documento establece los métodos de medición para el mantenimiento del lumen de fuentes de luz LED, únicamente para los arreglos y módulos. El mantenimiento del lumen es una característica moderada bajo condiciones controladas. El rendimiento de una aplicación en particular puede ser diferente. Este estándar no proporciona una guía o hace cualquier recomendación con respecto a estimaciones predictivas o una extrapolación para el mantenimiento del lumen más allá de los límites del mantenimiento del lumen determinado por las mediciones reales.

#### 4.3.2.3 Referencias

##### 4.3.2.3.1 Referentes normativos

- a. Measurement of LEDs (2<sup>nd</sup> ed.) CIE 127:2007, ISBN 978 3 901 906 58 9

- b. IESNA Testing Procedures Committee. IESNA LM-79-2008 Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of LED Light Sources, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2008.

#### 4.3.2.3.2 Referente no normativo

- a. ASSIST Recommends: LED Life Testing. Vol. 1-6, 2005. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, 2005.
- b. ANSI/IESNA Testing Procedure Committee, IESNA RP-16-07, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering. See also Addendum A on Solid-State Lighting.
- c. IESNA Testing Procedures Committee, IESNA LM-40-01, Approved Method for Life Performance Testing of Fluorescent lamps, New York: Illuminating Engineering Society of North America. 2001.

#### 4.3.2.4 Definiciones

##### 4.3.2.4.1 Unidades de medición

Las unidades eléctricas de medición son el voltaje, la corriente, y la potencia. La temperatura es en grados Celsius y la unidad de la fotometría es el lumen.

##### 4.3.2.4.2 Fuentes de luz LED

Paquetes LED, arreglo o módulo que es operado por un controlador auxiliar.

##### 4.3.2.4.3 Mantenimiento del lumen

Mantenimiento del lumen es el flujo luminoso de la potencia restante (típicamente expresado como un porcentaje de la potencia máxima) en cualquier momento de funcionamiento seleccionado transcurrido. Mantenimiento del lumen es lo opuesto de la depreciación del lumen.

#### 4.3.2.4.4 Vida de mantenimiento del lumen

El tiempo de funcionamiento transcurrido en el que el porcentaje especificado de la depreciación del lumen o mantenimiento del lumen es alcanzado expresado en horas. El funcionamiento transcurrido no incluye el tiempo transcurrido cuando la fuente de luz no esté operando.

#### 4.3.2.4.5 Falla de una fuente de luz LED

La incapacidad para producir luz. Las fallas, tal como una falla prematura para funcionar debido a los defectos de fabricación son reportadas pero no está incluido en los cálculos del mantenimiento del lumen para las fuentes de luz LED.

#### 4.3.2.4.6 tiempo de vida nominal, ( $l_p$ )

Es el tiempo de funcionamiento transcurrido sobre el cual la fuente de luz LED va mantener el porcentaje  $l_p$  de su emisión de luz inicial, por ejemplo:

- $L_{70}$  (horas): tiempo para el 70% de mantenimiento de lumen.
- $L_{50}$  (horas): tiempo para el 50% de mantenimiento de lumen.

#### 4.3.2.4.7 Temperatura, ( $T_s$ )

$T_s$  es la temperatura del punto de unión de la termocupla de una fuente de luz LED. Esta es fijada por el fabricante.

#### 4.3.2.5 Condiciones ambientales y física

##### 4.3.2.5.1 general

Se recomienda que para las prácticas de laboratorio, el almacenaje y ensayo para los LEDs deben ser realizados en un entorno relativamente limpio. Antes de la operación. Los datos de especificación del fabricante y los LEDs deberán ser limpiados para eliminar todo rasgo de suciedad debido al contacto con las manos. Por ejemplo: carga electrostática.

##### 4.3.2.5.2 Marca de la unidad LED

Las fuentes de luz LED deben ser monitoreadas durante las pruebas de tiempo de vida. Las unidades pueden ser directamente marcadas por las marcas de las unidades o por etiquetas que pueden ser adjunto durante el transporte y evaluación.

El método de identificación seleccionado debe tomar en cuenta el efecto de exposición de calor y la luz. Un adecuado método de marcación o material de codificación duradero, como tinta de cerámica, marcado a alta temperaturas o cualquier otro método. Que pueda ser periódicamente renovado en toda la duración de la prueba.

##### 4.3.2.5.3 Selección de muestra

La selección de muestra para una fuente de luz LED es importante ya que la prueba va depender del método de muestreo, tamaño de la muestra, la condición de la prueba y otros factores. Las muestras deben ser seleccionadas para dar una suficiente representación de la población total que está siendo probada. En la mayoría de los casos. Este muestreo debe ser especificado por una apropiada norma o comité de investigación. El tamaño de la muestra y el método de muestreo deben ser reportadas.

#### 4.3.2.5.4 Condiciones ambientales

- 4.3.2.5.4.1 Vibración: las lámparas no deben estar sujetas a fuertes vibraciones ó algún choque durante las pruebas.
- 4.3.2.5.4.2 Temperatura y humedad: el funcionamiento de las fuentes de luz LED entre las mediciones fotométricas deben ser de un mínimo de tres temperaturas, Ts. Usando la misma corriente. Las tres temperaturas (Ts) deben estar entre 55°C y 85°C donde la tercera es especificada por el fabricante. La temperatura y corriente seleccionada por el fabricante debe representar su perspectiva para los clientes y la temperatura debe estar dentro de los rango de operación. La temperatura debe ser controlada a -2°C durante las pruebas. La temperatura del aire circundante debe estar mantenida a -5°C de la temperatura de la carcasa durante las pruebas. La temperatura del aire circundante debe ser monitoreada a por lo menos 65 RH a lo largo de toda la prueba.
- 4.3.2.5.4.3 Flujo de aire: este debe ser disminuido al comienzo y durante de la prueba ya que las características del flujo de calor difieren de las de el flujo de aire. Ya que algún movimiento del aire es necesario para evitar la estratificación térmica. Este cuidado debe ser tomado para minimizar cualquier corriente de aire en los alrededores de los dispositivos que estén bajo prueba.
- 4.3.2.5.4.4 Orientación y espaciamiento de operación: la orientación de operación de las fuentes de luz LED bajo prueba deben estar especificadas por el fabricante. En general, la orientación de las fuentes de luz LED no va afectar ya que son de estado sólido pero puede haber efectos a partir de la corriente de aire por convección debido a los disipadores térmicos y gestión térmica. las unidades deben estar separadas para permitir corriente de aire alrededor de cada muestra. Esto es facilitado por el fabricante que contiene componentes mínimos estructurales para bloquear la corriente de aire.

#### 4.3.2.6 Condiciones térmicas y eléctricas

##### 4.3.2.6.1 Corriente y voltaje de entrada

El voltaje de entrada debe ajustarse al voltaje rms y frecuencia disponible de la compañía de servicio. Cuando se usa corriente directa (DC), la onda de voltaje no debe exceder del 2% del voltaje de salida.

##### 4.3.2.6.2 forma de onda del voltaje de línea

La potencia suministrada debe tener un voltaje con forma de onda de tal manera que el total de distorsión armónica no exceda del 3% de la fundamental.

##### 4.3.2.6.3 Regulación de la corriente de entrada

La corriente de entrada debe ser monitoreada y regulada a  $\pm 3\%$  del rango de corriente rms durante la prueba de tiempo de vida y  $\pm 5\%$  del rango de corriente rms durante las pruebas fotométricas. La fuente de corriente debe estar mantenida durante todo el periodo de la operación de la fuente de luz LED. La corriente puede ser reducida como una función de temperatura acorde con las recomendaciones del fabricante. La intención es probar los LEDs con la misma corriente para un funcionamiento real.

##### 4.3.2.6.4 Equipos auxiliares

Para las fuentes de luz LED con factores externo compatible el fabricante debe indicar su uso.

##### 4.3.2.6.5 temperatura de la carcasa

Una medición por termocupla que cumpla con la ASTM E230 1 "limites especiales" (1.1 °C o 0.4%, el que sea mayor) debe ser usado para monitorear la temperatura de la carcasa. Esta debe ser monitoreada durante la prueba de tiempo de vida. Ts es medida directamente en el punto

de medición de la temperatura de la carcasa con el componente designado por el fabricante (punto de conexión de la termocupla) sobre el LED. El disipador de calor utilizado debe cumplir con las recomendaciones del fabricante.

#### 4.3.2.7 Procedimiento de mediciones y pruebas

##### 4.3.2.7.1 Instrumentación

En la prueba de duración. Un registro preciso del tiempo de funcionamiento transcurrido es crítico, si se usara, un medidor para el tiempo transcurrido debiera ser conectado a la posición de prueba en particular y debe acumular el tiempo únicamente cuando la fuente de luz LED este energizada. Si ocurriera una falla con la potencia los dispositivos de monitoreo no deben acumular el tiempo. La supervisión de la corriente u otra variable deben ser usadas para determinar el tiempo de funcionamiento transcurrido si lo diseñado ofrece una precisión temporal suficiente. Todo equipo de calibración debe estar de acuerdo con las especificaciones del fabricante. El tiempo de funcionamiento transcurrido debe estar entre  $\pm 0.5\%$ .

##### 4.3.2.7.2 Mediciones fotométricas

Estas deben estar en conformidad con los métodos de laboratorio adecuados para las fuentes de luz LED. El flujo luminoso debe ser idealmente medido con la corriente usada durante la prueba de tiempo de duración. La corriente debe ser la especificada por el fabricante. Debido a la estabilidad del color durante toda la vida que es un parámetro importante para muchas aplicaciones de iluminación, los valores cromáticos deben ser determinados. Esto es recomendado ya que los valores colorimétricos y fotométricos son determinados por su completo flujo radiante espectral usando un espectro radiómetro.

##### 4.3.2.7.3 Temperatura de las mediciones fotométricas

La temperatura ambiente durante las mediciones fotométricas y de lumen se fijara a 25C +/- 2C. La temperatura ambiente a lo largo de la prueba debe ser prevista en el reporte por cada

medición realizada. La fuente de luz LED estará obligada a estar a temperatura ambiente antes de la medición.

#### 4.3.2.8 Método para prueba de mantenimiento del lumen de fuentes de luz LED

##### 4.3.2.8.1 Duración e intervalos para la prueba de mantenimiento del lumen

A la temperatura ambiente especificada en la sección 4.3.2.5.3, la unidad deberá ser conducida al menos 6.000 horas con los datos recogidos con un mínimo de 1.000 horas. 10.000 horas son preferidas por fines de mejores modelos de predicción.

##### 4.3.2.8.2 Ciclo de funcionamiento

A diferencia de otras fuentes donde la potencia afecta negativamente al rendimiento y al tiempo de vida. Los LEDs pueden ser completamente modulados y no afectara a gran medida su tiempo de duración. Sin embargo, los módulos y dispositivos deben ser manejados con una corriente constante para asegurar que no haya ningún problema que afecten los resultados. Estos métodos deben ser reportados.

##### 4.3.2.8.3 Registro de fallas

El control para las fallas en las fuente de luz LED ya sea por una observación visual o monitoreo automático, deben estar hechas con un mínimo de cada intervalo de medición. Cada falla debe ser investigada para asegurarse de que sea una falla en el LED y no cause un incorrecto comportamiento de los equipos auxiliares o alguna conexión eléctrica. Cualquier falla detectada deberá ser reportada.

#### 4.3.2.8.4 Cromaticidad

Los cambios de cromaticidad deberán ser medidos y reportados sobre el curso de la duración de la prueba de mantenimiento del lumen por mediciones de cromaticidad en cada intervalo de la prueba fotométrica.

#### 4.3.2.9 Informe de prueba

El reporte se enumerara en todo los datos pertinentes sobre las pruebas. El tipo de equipo y las fuentes de luz LEDs que estén siendo utilizadas. Los siguientes puntos deben ser incluidos en el reporte:

- a) Numero de fuentes de LEDs probados.
- b) Descripción de las fuentes de LEDs.
- c) Descripción de los equipos auxiliares.
- d) Ciclo de operación.
- e) Condiciones ambientales, incluyendo la corriente de aire, la temperatura y humedad.
- f) Temperatura carcasa.
- g) Valor de la corriente durante la prueba de tiempo de vida de la fuente de luz LED.
- h) Flujo luminoso inicial y voltaje para las mediciones fotométricas.
- i) Los datos de cada fuente de luz LED según el valor promedio, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos de todas las fuentes.
- j) Las fallas observadas de las fuentes de luz LED incluyendo las condiciones de fallas y el tiempo de la falla.
- k) Los intervalos de monitoreo.
- l) Incertidumbres de las mediciones fotométricas.
- m) Cambios cromáticos reportados durante los tiempos de las mediciones.

#### **4.4 COMPARACIÓN TECNICO-ECOMOMICA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACION LEDs CON LOS CONVENCIONALES APLICADOS AL ALUMBRADO PUBLICO**

Para una comparación de diferentes sistemas de iluminación se incluye el costo inicial y el costo de operación donde uno de estos puede ser un factor dominante en la selección final, es posible combinarlos dentro de un solo indicador de costos.

El cálculo de estos costos se basa en ciertas estimaciones y para una comparación correcta se cuenta con las siguientes consideraciones:

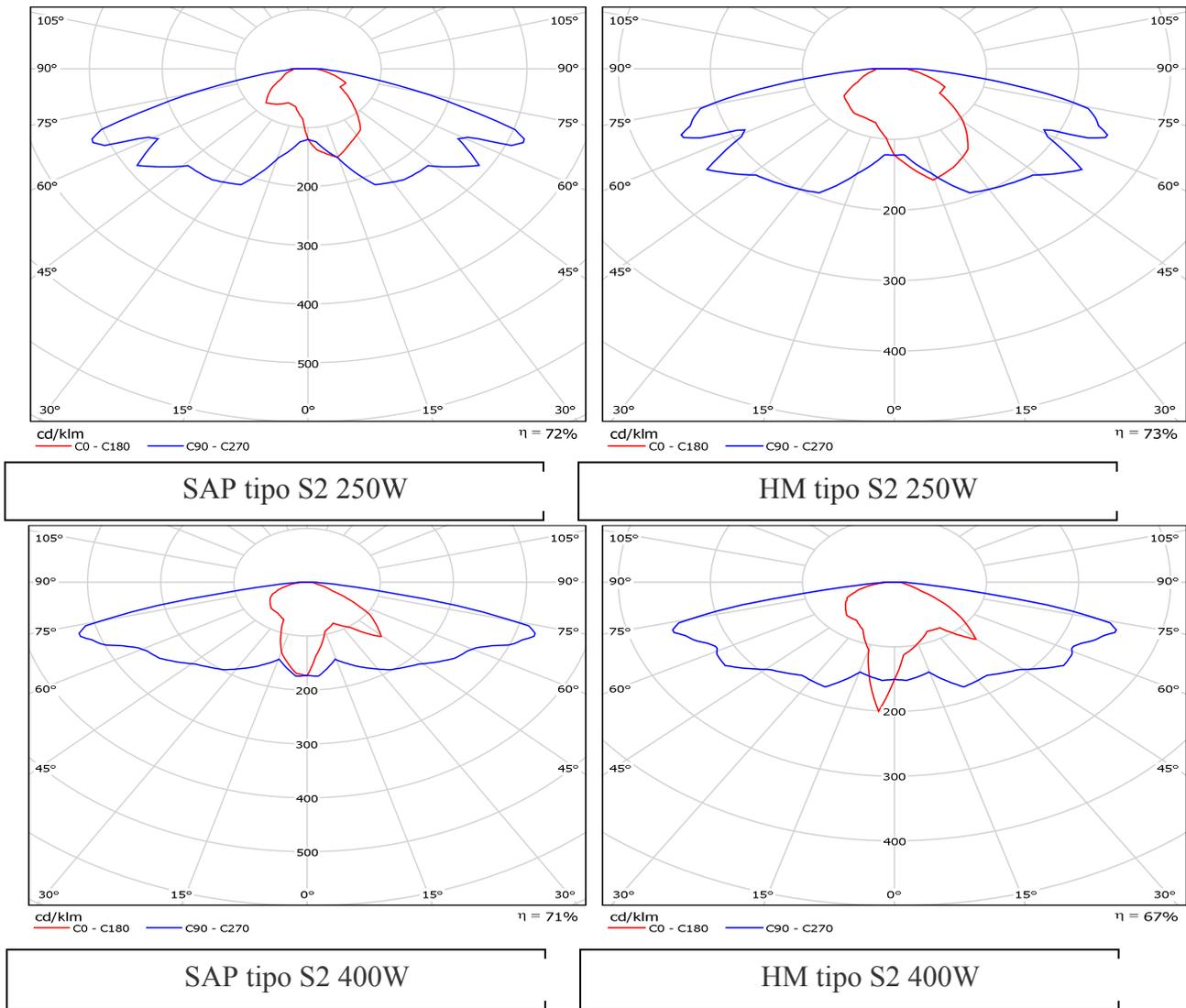
- Tener una iluminancia mantenida con los diferentes sistemas la tasa equivalente de energía eléctrica y las condiciones de operación deben ser aplicadas por igual.
- La planificación de mantenimiento sería apropiado para cada tipo de sistema.
- La tasa uniforme laboral debe usarse para estimar el costo de limpieza y reemplazo.

A continuación se indica un proceso de análisis de costos para comparar el gasto entre dos sistema de alumbrado público (convencional y LED) para una avenida en el cual el sistema de iluminación convencional ya está instalado y también para una avenida proyectada con sistema de iluminación LED comparando costos nacionales con los internacionales. Se presenta una tabla de resumen que muestra un análisis de inversión basado en los costos iniciales y los gastos operativos calculados y referenciados en los costos actuales de energía, reemplazo de lámpara y mantenimiento. Un análisis económico a través del método valor actual donde este demostrará la alternativa más rentable.

##### **4.4.1 Comparación fotométrica**

La comparación fotométrica será entre las luminarias convencionales (vapor de sodio de alta presión y halogenuros metálicos) y la Luminaria tipo LED GE EVOLVE Cobrahead, se consideraran características tales como: curvas de distribución polar, eficacia, IRC, temperatura de color, factor de utilización y vida útil.

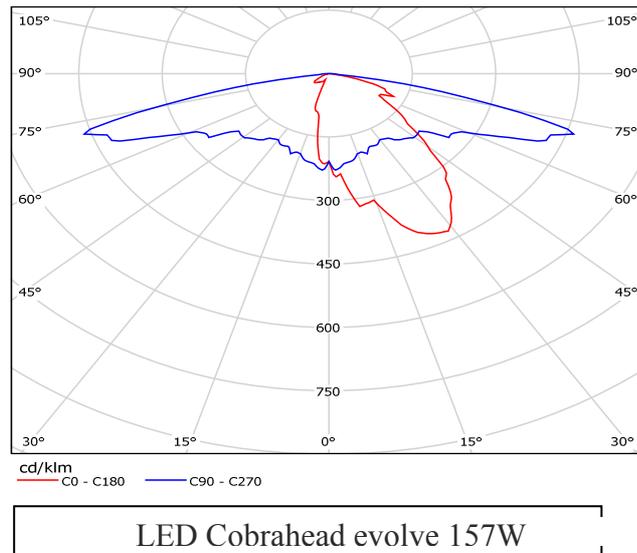
#### 4.4.1.1 Curvas de distribución polar



**Figura 4.37:** Curva de distribución polar de luminarias convencionales

**Fuente:** General Electric [23]

<http://www.gelighting.com/products--solutions/outdoor-lighting/roadway-lighting/street-lighting>



**Figura 4.38:** Curva de distribución polar de luminaria LED ERM C Cobrahead

**Fuente:** General Electric [23]

<http://www.gelightingolutions.com/products--solutions/outdoor-lighting/roadway-lighting/street-lighting>

Para realizar una comparación uniforme se usaron luminarias con una distribución luminosa similares, de características asimétricas media, tipo II. Donde la clasificación media es cuando la potencia máxima en candelas cae entre 2.25 y 3.75 veces la altura de la luminaria en el sentido longitudinal y tipo II cuando la proyección de la mitad de la potencia máxima se encuentra o cae 1.75 veces la altura del montaje de la luminaria en el sentido transversal de la calle.

La comparación se realizara en dos partes. La primera utilizando el plano transversal (C 90-270) y la segunda en el plano longitudinal (C0-180), comparando los valores de intensidad alcanzados para ciertos ángulos:

1. Plano Transversal: Entre 75° y 60° la mayor intensidad es de la luminaria LED que llega a valores de 450 cd/Klm mientras que las convencionales tienen valores más bajos. Entre ellas, la luminaria que alcanza el mayor valor es la luminaria GE 400 SAP tipos S2 que es de 300 cd/Klm; Entre 60° y 45° la intensidad de la luminaria LED baja a valores menores de 300 cd/Klm comparándose con las luminarias GE M-250 y las luminarias GE M-400. Entre 45° y 30° la intensidad en la luminaria tipo LED sigue

bajando pero la diferencia entre a luminaria LED y las convencionales es que la tipo LED decrece mucho más rápido que las convencionales. Entre 30° y 15° existe tres comportamientos, la luminaria LED comienza a incrementar su intensidad, la luminaria M-250 sigue decreciendo muy poco, y la luminaria M-400 mantiene su valor. Entre 15° y 0° la luminaria tipo LED sigue incrementando y vuelve a tener mayor intensidad (aproximadamente 225 cd/Klm) que las demás luminarias.

2. Plano Longitudinal: El máximo valor de intensidad alcanzado de la luminaria LED está entre 15° a 30° con un valor de aproximadamente 450 cd/Klm mientras que las luminarias convencionales alcanza su máximo valor entre 0 a 15° con una valor inferior a 200 cd/Klm. Otra característica que se puede resaltar es la direccionalidad que tiene el flujo en la luminaria LED ya que un alto porcentaje de este se dirige hacia la calzada, es decir, que este se dirige para ángulos mayores a cero grado y no como las convencionales donde esta dirigen el flujo a ángulos negativos del eje de referencia.

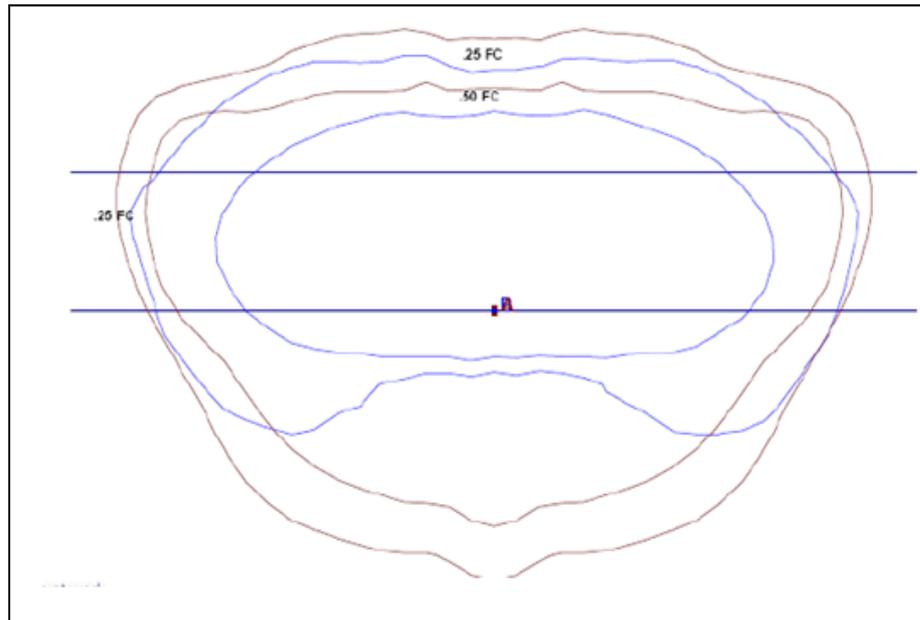
#### 4.4.1.2 Eficacia

La eficacia representa el flujo que emite la fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{lm}{W} \quad (4.14)$$

	Lúmenes (lm)	Potencia (W)	Eficacia (lm/W)
Luminaria GE M-250 SAP	20923	275	76,08
Luminaria GE M-250 HM	13690	275	49,78
Luminaria GE M-400 SAP	36287	440	82.47
Luminaria GE M-400 HM	22044	440	50.1
Luminaria LED	9599	157	61,14

**Tabla 4.11:** Eficacia entre las luminarias.



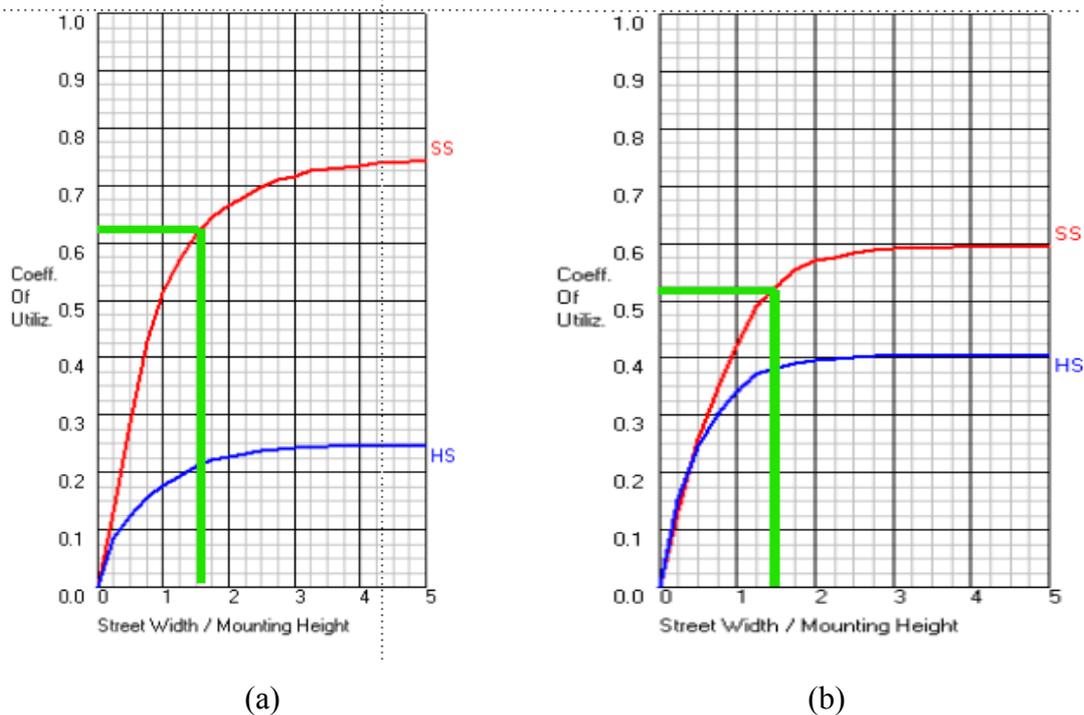
**Figura 4.39:** Distribución Luminosa de la luminaria LED VS M-250 SAP sobre una calzada

**Fuente:** General Electric [23]

Con los datos visto en la **tabla 4.10** se puede diferenciar que la luminaria LED tiene una eficacia menor que las de las luminarias con lámparas de vapor de alta presión y están por encima de las luminarias con lámparas de halogenuro metálicos; la eficacia obtenida de la luminaria tipo LED es debido principalmente a la mejor distribución de su flujo hacia la calzada ya que llega a iluminar solo las aéreas de mayor interés como se muestra en la **figura 4.39** y es aquí donde se demuestra que la luminaria LED puede ahorrar potencia manteniendo los niveles de iluminación. En la **figura 4.39** está representado la distribución del flujo luminoso de una luminaria M-250 donde en la característica de alcance, la convencional es más relevante que la LED, lo que quiere decir, en una luminaria M-400 la diferencia será mucho más amplia y notable al compararse con la luminaria LED.

#### 4.4.1.3 Factor de utilización

De manera de poder comparar cuanto flujo luminoso llega en una superficie dada se considerara un valor de 1.5 como relación de lado de calle (ver **sección 2.2.11**); se tiene la curva de utilización de la luminaria LED y la luminaria convencional M-250 SAP



**Figura 4.40:** Factor de utilización (a) Luminaria LED evolve Cobrahead, (b) Luminaria M-250 SAP.

**Fuente:** General Electric [23]

En la **figura 4.40** lo primero que se puede observar es que la luminaria LED presenta en el lado de la calle un mayor flujo efectivo que la luminaria convencional ya que la convencional transmite gran parte de su flujo hacia el lado de la acera. Retomando la consideración, el factor de utilización en la luminaria LED es del 62% y el de la luminaria M-250 es del 52% valores que sustentan el análisis anterior.

#### 4.4.1.4 IRC y Temperatura de Color

Observando la **tabla 4.11** se puede observar que la tecnología LED presenta un elevado índice de reproducción de color (IRC) al igual que la lámpara de halógenos metálicos, lo que no llegaran a distorsionar los colores, haciendo que resalte y muestre los colores más apegado a la realidad; en cuanto a la temperatura de color, la luminaria LED sobrepasa notablemente a los valores de las lámpara convencionales mostradas, lo que significa que se asemeja más a la luz del día.

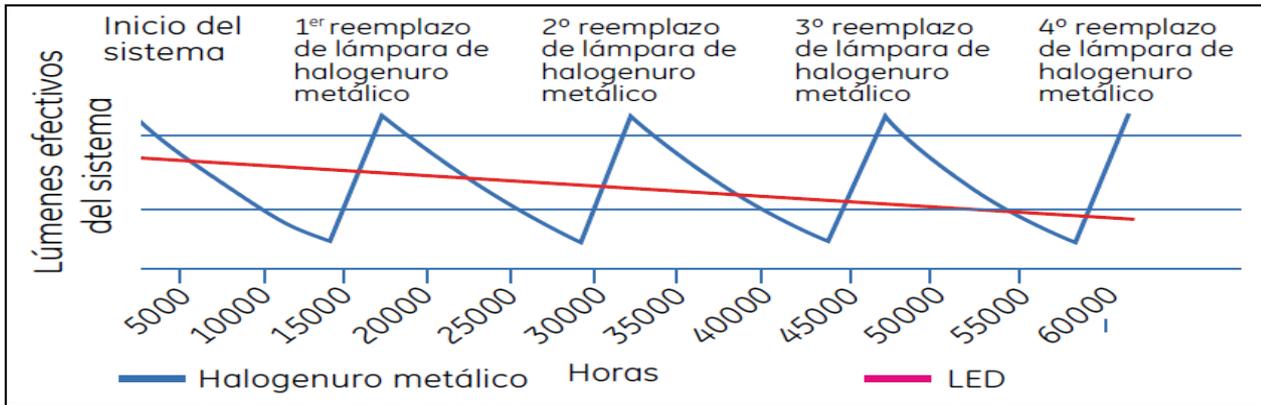
Los colores más fríos (temperaturas de color más elevadas) son más adecuados para la iluminación vial. Los colores más cálidos (temperatura de color más reducido) son más adecuados para la iluminación de centros históricos. Sin embargo, en términos prácticos, cualquiera de las opciones es válida en cualquier escenario, sin comprometer de forma alguna la calidad de la iluminación y la eficiencia energética.

	Indice de reproducción de color (IRC)	Temperatura de color (°K)
SAP-250W	30	2000
HM-250W	65	4500
SAP-400W	22	2100
HM-400W	70	3200
LED	70	6000

**Tabla 4.12:** Curva de distribución polar de luminarias convencionales

#### 4.4.1.5 Curva de depreciación del flujo luminoso vs hora de vida

Los sistemas LED tienen una vida estimada de 50.000 horas (de 10 a 12 años dependiendo del tiempo de encendido diario). Éste es el punto en el cual la producción pronosticada de la luz baja a menos del 85% del inicial (ej. 85 puntos). Los sistemas LED continúan funcionando más allá de su estimado de 50.000 horas. Las lámparas HID tienen una vida estimada entre 20.000 y 30.000 horas, y una depreciación del 12% al 35% de lúmenes en el promedio de su vida (dependiendo de la fuente de luz). Debido a esta pérdida de producción de luz, el reemplazo recomendado de las lámparas se supone que baje entre 8.000 y 12.000 horas (aproximadamente entre 2 y 3 años de funcionamiento). Al compararlas con el Alumbrado de LED de GE, las HID serían reemplazadas 3 veces durante la vida estimada de 50.000 horas de las LED L85



**Figura.4.41:** Depreciación de los lúmenes de la luminaria a lo largo de su vida útil

**Fuente:** General Electric [23]

Luminaria	Potencia (W)	Flujo (ø)	Eficiencia Luminaria	Flujo Total	Eficacia (lm/w)
M-250 SAP	275	28000	0,75	20923	76,08
M-250 HM	275	19100	0,72	13690	49,78
M-400 SAP	440	51000	0,71	36287	82,47
M-400 HM	440	33100	0,67	22044	50,1
LED	157	9599	1	9599	61,14

**Tabla 4.13:** Resumen fotométrico comparativo entre luminarias convencionales y luminaria tipo LED

Según la **tabla 4.12** se puede demostrar que la luminaria LED de 157 W puede competir con una luminaria M-250 HM y otras luminarias de menor potencia, en términos de flujo luminoso de la luminaria, lo contrario sucede con respecto a luminarias de mayor potencia (250 W de SAP y HM) debido a su notable diferencia, sin embargo, visto lo desarrollado en la **sección 4.5** se demostró que la luminarias LEDs superan en cuanto a criterios de calidad de iluminación en vías locales y secundarias según las normas internacionales de iluminación vial.

Así pues, haciendo un análisis global en cuanto se refiere a un enfoque fotométrico se tiene que la luminaria LED posee un flujo luminoso mucho menor a las luminarias convencionales estudiadas, pero esta la luminaria M-250 HM que puede competir con la tipo LED si solo se refiriera al flujo luminoso, pero en las luminarias convencionales se presenta una depreciación del flujo luminoso mucho más elevado que el de las luminarias tipo LED lo que hace una notable disminución en lo que se refiere a mantenimiento. Asimismo, esta nueva tecnología ofrece un mayor IRC y temperatura de color lo que se traduce a una mayor distinción de los colores en el entorno.

#### 4.4.2 Comparación energética

Este se realiza en la av. Monseñor Adams del estado Carabobo donde existe un sistema de alumbrado público instalado con iluminación convencional alimentado por un sistema eléctrico 3x120/208V, aquí se tomara en cuenta el análisis energético del alumbrado con iluminación convencional y sistema LED.

##### 4.4.2.1 Luminaria GE M-250A2 Sodio Alta Presión (SAP)

Flujo de la lámpara = 28000 lm

Potencia de la lámpara = 250 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

##### 4.4.2.1.1 Número de luminaria por circuito

Circuito #1 = 11 luminarias

Circuito #3 = 3 luminarias

Circuito #5 = 9 luminarias

Circuito #7 = 9 luminarias

Circuito #9 = 4 luminarias

Circuito #11 = 4 luminarias

Circuito #2 = 12 luminarias

Circuito #4 = 10 luminarias

Circuito #6 = 7 luminarias

Circuito #8 = 8 luminarias

Circuito #10 = 6 luminarias

#### 4.4.2.1.2 Número de luminaria en el sistema

$$\sum \text{luminarias por circuito} = 11 + 12 + 3 + 10 + 9 + 7 + 9 + 8 + 4 + 6 + 4 = 83$$

#### 4.4.2.1.3 Potencia consumida por el balastro

Para este caso se considerara la pérdida del balastro ( $P_b$ ) como un valor teórico que representaba el 10 % de la potencia nominal de la lámpara.[24]

$$P_b = 0.1x PL \quad (4.15)$$

$$P_b = 0.1x250W = 25W$$

#### 4.4.2.1.4 Potencia consumida lámpara-balastro

$$P_{L-B} = PL + P_b \quad (4.16)$$

$$P_{L-B} = 250W + 25W = 275W$$

#### 4.4.2.1.5 Potencia consumida por circuito

$$P_{circuito} = NL x P_{L-B} \quad (4.17)$$

$$\text{Circuito \#1} = 11 \text{ luminarias} \times 275W = 3025 [W]$$

$$\text{Circuito \#2} = 12 \text{ luminarias} \times 275W = 3300 [W]$$

$$\text{Circuito \#3} = 3 \text{ luminarias} \times 275W = 825 [W]$$

$$\text{Circuito \#4} = 10 \text{ luminarias} \times 275W = 2750 [W]$$

$$\text{Circuito \#5} = 9 \text{ luminarias} \times 275W = 2475 [W]$$

$$\text{Circuito \#6} = 7 \text{ luminarias} \times 275W = 1925 [W]$$

$$\text{Circuito \#7} = 9 \text{ luminarias} \times 275W = 2475 [W]$$

$$\text{Circuito \#8} = 8 \text{ luminarias} \times 275W = 2200 [W]$$

$$\text{Circuito \#9} = 4 \text{ luminarias} \times 275W = 1100 [W]$$

Circuito #10= 6 luminarias x 275W = 1650 [W]

Circuito #11= 4 luminarias x 275W = 1100 [W]

#### 4.4.2.1.6 Potencia consumida por el sistema

$$\Sigma \text{potencias} = 3025 + 3300 + 825 + 2750 + 2475 + 1925 + 2475 + 2200 + 1100 + 1650 + 1100 = \mathbf{22.825 [KW]}$$

#### 4.4.2.1.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año

Cabe destacar que este punto tiene mayor validez en los países en los cuales la producción de energía es en mayoría a base de quema de combustible fósiles ya que en Venezuela el 75% de la energía eléctrica proviene de energía hidroeléctrica.

$$Kg CO_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{L-B} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.18)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = \mathbf{0.536 \times 0.275 \times 12 \times 365 = 645.61}$$

#### 4.4.2.1.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año

$$Kg CO_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{sistema} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.19)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = \mathbf{0.536 \times 22.825 \times 12 \times 365 = 53585.796}$$

#### 4.4.2.2 Luminaria GE M-250A2 Metal Halide (HM)

Flujo de la lámpara = 19100 lm

Potencia de la lámpara = 250 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

#### 4.4.2.2.1 Número de luminaria por circuito

Circuito #1 = 11 luminarias

Circuito #2 = 12 luminarias

Circuito #3 = 3 luminarias

Circuito #4 = 10 luminarias

Circuito #5 = 9 luminarias

Circuito #6 = 7 luminarias

Circuito #7 = 9 luminarias

Circuito #8 = 8 luminarias

Circuito #9 = 4 luminarias

Circuito #10 = 6 luminarias

Circuito #11 = 4 luminarias

#### 4.4.2.2.2 Número de luminaria en el sistema

$$\sum \text{luminarias por circuito} = 11 + 12 + 3 + 10 + 9 + 7 + 9 + 8 + 4 + 6 + 4 = 83$$

#### 4.4.2.2.3 Potencia consumida por el balastro

Para este caso se considerara la pérdida del balastro ( $P_b$ ) como un valor teórico que representaba el 10 % de la potencia nominal de la lámpara.[24]

$$P_b = 0.1 \times PL \quad (4.15)$$

$$P_b = 0.1 \times 250W = 25W$$

#### 4.4.2.2.4 Potencia consumida lámpara-balastro

$$P_{L-B} = PL + P_b \quad (4.16)$$

$$P_{L-B} = 250W + 25W = 275W$$

#### 4.4.2.2.5 Potencia consumida por circuito

$$P_{\text{circuito}} = NL \times P_{L-B} \quad (4.17)$$

Circuito #1 = 11 luminarias x 275W = 3025 [W]  
 Circuito #2 = 12 luminarias x 275W = 3300 [W]  
 Circuito #3 = 3 luminarias x 275W = 825 [W]  
 Circuito #4 = 10 luminarias x 275W = 2750 [W]  
 Circuito #5 = 9 luminarias x 275W = 2475 [W]  
 Circuito #6 = 7 luminarias x 275W = 1925 [W]  
 Circuito #7 = 9 luminarias x 275W = 2475 [W]  
 Circuito #8 = 8 luminarias x 275W = 2200 [W]  
 Circuito #9 = 4 luminarias x 275W = 1100 [W]  
 Circuito #10 = 6 luminarias x 275W = 1650 [W]  
 Circuito #11 = 4 luminarias x 275W = 1100 [W]

#### 4.4.2.2.6 Potencia consumida por el sistema

$$\Sigma \text{potencias} = 3025 + 3300 + 825 + 2750 + 2475 + 1925 + 2475 + 2200 + 1100 + 1650 + 1100 = \mathbf{22.825 [KW]}$$

#### 4.4.2.2.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año

$$Kg CO_2 \text{ año} = CO_2^* x P_{L-B} [KW] x \text{ horas encendida} x \text{ dias al año} \quad (4.18)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = \mathbf{0.536 x 0.275 x 12 x 365 = 645.61}$$

#### 4.4.2.2.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año

$$Kg CO_2 \text{ año} = CO_2^* x P_{sistema} [KW] x \text{ horas encendida} x \text{ dias al año} \quad (4.19)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = \mathbf{0.536 x 22.825 x 12 x 365 = 53585.796}$$

#### 4.4.2.3 Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (SAP)

Flujo de la lámpara = 51000 lm

Potencia de la lámpara = 400 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

##### 4.4.2.3.1 Número de luminaria por circuito

Circuito #1 = 11 luminarias

Circuito #2 = 12 luminarias

Circuito #3 = 3 luminarias

Circuito #4 = 10 luminarias

Circuito #5 = 9 luminarias

Circuito #6 = 7 luminarias

Circuito #7 = 9 luminarias

Circuito #8 = 8 luminarias

Circuito #9 = 4 luminarias

Circuito #10 = 6 luminarias

Circuito #11 = 4 luminarias

##### 4.4.2.3.2 Número de luminaria en el sistema

$$\sum \text{luminarias por circuito} = 11 + 12 + 3 + 10 + 9 + 7 + 9 + 8 + 4 + 6 + 4 = 83$$

##### 4.4.2.3.3 Potencia consumida por el balastro

Para este caso se considerara la pérdida del balastro ( $P_b$ ) como un valor teórico que representaba el 10 % de la potencia nominal de la lámpara. [24]

$$P_b = 0.1x PL \quad (4.15)$$

$$P_b = 0.1x400[W] = 40[W]$$

##### 4.4.2.3.4 Potencia consumida lámpara-balastro

$$P_{L-B} = PL + P_b \quad (4.16)$$

$$P_{L-B} = 400[W] + 40[W] = 440 [W]$$

#### 4.4.2.3.5 Potencia consumida por circuito

$$P_{\text{circuito}} = NL \times P_{L-B} \quad (4.17)$$

Circuito #1 = 11 luminarias x 440W = 4840 [W]

Circuito #2 = 12 luminarias x 440W = 5280 [W]

Circuito #3 = 3 luminarias x 440W = 1320 [W]

Circuito #4 = 10 luminarias x 440W = 4400 [W]

Circuito #5 = 9 luminarias x 440W = 3960 [W]

Circuito #6 = 7 luminarias x 440W = 3080 [W]

Circuito #7 = 9 luminarias x 440W = 3960 [W]

Circuito #8 = 8 luminarias x 440W = 3520 [W]

Circuito #9 = 4 luminarias x 440W = 1760 [W]

Circuito #10 = 6 luminarias x 440W = 2640 [W]

Circuito #11 = 4 luminarias x 440W = 1760 [W]

#### 4.4.2.3.6 Potencia consumida por el sistema

$$\Sigma \text{potencias} = 4840 + 5280 + 1320 + 4400 + 3960 + 3080 + 3960 + 3520 + 1760 + 2640 + 1760 = \mathbf{36,520 [KW]}$$

#### 4.4.2.3.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año

$$Kg \text{ CO}_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{L-B} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.18)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg \text{ CO}_2 = \mathbf{0.536 \times 0.440 \times 12 \times 365 = 1032.98}$$

#### 4.4.2.3.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año

$$Kg \text{ CO}_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{\text{sistema}} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.19)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh(Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = 0.536 \times 36.520 \times 12 \times 365 = 85737.27$$

#### 4.4.2.4 Luminaria GE M-400 Metal Halide (HM)

Flujo de la lámpara = 33100 lm

Potencia de la lámpara = 400 W

Vida nominal de la lámpara = 20000 h

##### 4.4.2.4.1 Número de luminaria por circuito

Circuito #1 = 11 luminarias

Circuito #2 = 12 luminarias

Circuito #3 = 3 luminarias

Circuito #4 = 10 luminarias

Circuito #5 = 9 luminarias

Circuito #6 = 7 luminarias

Circuito #7 = 9 luminarias

Circuito #8 = 8 luminarias

Circuito #9 = 4 luminarias

Circuito #10= 6 luminarias

Circuito #11= 4 luminarias

##### 4.4.2.4.2 Número de luminaria en el sistema

$$\sum \text{luminarias por circuito} = 11 + 12 + 3 + 10 + 9 + 7 + 9 + 8 + 4 + 6 + 4 = 83$$

##### 4.4.2.4.3 Potencia consumida por el balastro

Para este caso se considerara la pérdida del balastro (Pb) como un valor teórico que representaba el 10 % de la potencia nominal de la lámpara. [24]

$$Pb = 0.1 \times PL \quad (4.15)$$

$$Pb = 0.1 \times 400 [W] = 40 [W]$$

#### 4.4.2.4.4 Potencia consumida lámpara-balastro

$$P_{L-B} = PL + Pb \quad (4.16)$$

$$P_{L-B} = 400[W] + 40[W] = 440 [W]$$

#### 4.4.2.4.5 Potencia consumida por circuito

$$P_{circuito} = NL \times P_{L-B} \quad (4.17)$$

Circuito #1 = 11 luminarias x 440W = 4840 [W]

Circuito #2 = 12 luminarias x 440W = 5280 [W]

Circuito #3 = 3 luminarias x 440W = 1320 [W]

Circuito #4 = 10 luminarias x 440W = 4400 [W]

Circuito #5 = 9 luminarias x 440W = 3960 [W]

Circuito #6 = 7 luminarias x 440W = 3080 [W]

Circuito #7 = 9 luminarias x 440W = 3960 [W]

Circuito #8 = 8 luminarias x 440W = 3520 [W]

Circuito #9 = 4 luminarias x 440W = 1760 [W]

Circuito #10 = 6 luminarias x 440W = 2640 [W]

Circuito #11 = 4 luminarias x 440W = 1760 [W]

#### 4.4.2.4.6 Potencia consumida por el sistema

$$\Sigma \text{potencias} = 4840 + 5280 + 1320 + 4400 + 3960 + 3080 + 3960 + 3520 + 1760 + 2640 + 1760 = 36,520 \text{ [KW]}$$

#### 4.4.2.4.7 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año

$$Kg \text{ CO}_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{L-B} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.18)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = 0.536 \times 0.440 \times 12 \times 365 = 1032.98$$

4.4.2.4.8 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año

$$Kg CO_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{sistema} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.19)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = 0.536 \times 36.520 \times 12 \times 365 = 85737.27$$

4.4.2.5 Luminaria GE EVOLVE LED Roadway Lighting- Medium Cobrahead.

Flujo de la lámpara = 9599 lm

Potencia de la lámpara = 157 W

Vida nominal de la lámpara = 50000 h

4.4.2.5.1 Número de luminaria por circuito

Circuito #1 = 11 luminarias

Circuito #2 = 12 luminarias

Circuito #3 = 3 luminarias

Circuito #4 = 10 luminarias

Circuito #5 = 9 luminarias

Circuito #6 = 7 luminarias

Circuito #7 = 9 luminarias

Circuito #8 = 8 luminarias

Circuito #9 = 4 luminarias

Circuito #10 = 6 luminarias

Circuito #11 = 4 luminarias

4.4.2.5.2 Número de luminaria en el sistema

$$\sum \text{luminarias por circuito} = 11 + 12 + 3 + 10 + 9 + 7 + 9 + 8 + 4 + 6 + 4 = 83$$

#### 4.4.2.5.3 Potencia consumida por circuito

$$P_{\text{circuito}} = NL \times P_{L-B} \quad (4.17)$$

Circuito #1 = 11 luminarias x 157W = 1727 [W]

Circuito #2 = 12 luminarias x 157W = 1884 [W]

Circuito #3 = 3 luminarias x 157W = 471 [W]

Circuito #4 = 10 luminarias x 157W = 1570 [W]

Circuito #5 = 9 luminarias x 157W = 1413 [W]

Circuito #6 = 7 luminarias x 157W = 1099 [W]

Circuito #7 = 9 luminarias x 157W = 1413 [W]

Circuito #8 = 8 luminarias x 157W = 1256 [W]

Circuito #9 = 4 luminarias x 157W = 628 [W]

Circuito #10 = 6 luminarias x 157W = 942 [W]

Circuito #11 = 4 luminarias x 157W = 628 [W]

#### 4.4.2.5.4 Potencia consumida por el sistema

$$\Sigma \text{potencias} = 1727 + 1884 + 471 + 1570 + 1413 + 1099 + 1413 + 1256 + 628 + 942 + 628 = \mathbf{13.03 [KW]}$$

#### 4.4.2.5.5 Producción de contaminantes a la atmosfera por luminaria al año

$$Kg \text{ CO}_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_L [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.18)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh (Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg \text{ CO}_2 = \mathbf{0.536 \times 0.157 \times 12 \times 365 = 368.59}$$

#### 4.4.2.5.6 Producción de contaminantes a la atmosfera por sistema piloto al año

$$Kg \text{ CO}_2 \text{ año} = CO_2^* \times P_{\text{sistema}} [KW] \times \text{horas encendida} \times \text{dias al año} \quad (4.19)$$

\*CO2 emisión/año - 0.536 kg CO2 emitido por kWh(Promedio Europeo dado por Eco-Invent)

$$Kg CO_2 = 0.536 \times 13.03 \times 12 \times 365 = 30590.27$$

#### 4.4.3 Caída de tensión

Para el cálculo a realizar se considera el circuito que tenga un tramo con mayor distancia. Además se cuenta con la siguiente tabla que muestra los KVAm para un conductor de aluminio o de cobre donde la caída de tensión es igual a 2,5%.

CALIBRE AWG	VALORES KVAm					
	COBRE			ALUMINIO		
	(3F) 208Y/120	(2F) 2X120	(1F) 240/120	(3F) 208Y/120	(2F) 2X120	(1F) 240/120
# 6	690	250	460	455	164	303
# 4	1095	400	715	720	262	480
# 2	1660	640	1105	1113	413	742
# 1/0	2535	1020	1690	1725	655	1150
# 2/0	3110	1290	2070	2133	836	1422
# 3/0	3935	1720	2620	2645	1067	1763
# 4/0	4600	2000	3070	3219	1335	2146
250 MCM	5260	2225	3500	3704	1579	2470
350 MCM	6975	2665	4650	4872	2106	3248
500 MCM	8585	3090	5725	6385	2565	4256

Nota: para otro valor de % de caída de voltaje multiplique los valores de la tabla por la relación (%V)/ 2.5

**Tabla 4.14:** Valores de KVAm de los conductores de cobre y aluminio para caída de tensión del 2.5% para un factor de potencia 0.9. Conductores aislados

**Fuente:** Alumbrado público criterios, diseños y recomendaciones. Autor: Ing. Miguel Ereu. 4ta Edición, Caracas Venezuela 2009. [12]

#### 4.4.3.1 Caída de tensión para luminarias M-250

El circuito #12 cuenta con las siguientes características: 12 luminarias conectadas, carga de la luminaria 275W, fp=0.9, circuito trifásico de 3x120/208, distancia entre postes= 19.7m, cable utilizado= #2 AWG THW de Aluminio (1113 KVAm para una caída del 2,5%) [Tabla 4.13].

$$\text{Longitud total} = (\text{luminarias conectadas} - 1) \times \text{distancia entre poste} \quad (4.20)$$

$$\text{Longitud total} = (12 - 1) \times 19.7\text{m} = 216.7\text{m}$$

$$KVA_{total} = \frac{\text{Potencia} \times \# \text{ de luminarias}}{fp} \quad (4.21)$$

$$KVA_{total} = \frac{275\text{W} \times 12}{0.9} = 3.67 \text{ KVA}$$

$$KVAm = KVA_{total} \times \text{longitud total} / 2 \quad (4.22)$$

$$KVAm = 3.67 \text{ KVA} \times 108.35\text{m} = 397.64 \text{ KVAm}$$

El KVAm obtenido es de 397.64 KVAm este debe ser menor a los KVAm extraído de la tabla 4.13 cuyo valor es de 1113 KVAm por lo tanto cumple para una caída de tensión del 2.5%.

#### 4.4.3.2 Caída de tensión para luminarias M-400

El circuito #12 cuenta con las siguientes características: 12 luminarias conectadas, carga de la luminaria 440W, fp=0.9, circuito trifásico de 3x120/208, distancia entre postes= 19.7m, cable utilizado= #2 AWG desnudo de Aluminio (1113 KVAm para una caída del 2,5%) [Tabla 4.13].

$$\text{Longitud total} = (\text{luminarias conectadas} - 1) \times \text{distancia entre poste} \quad (4.20)$$

$$\text{Longitud total} = (12 - 1) \times 19.7\text{m} = 216.7\text{m}$$

$$KVA_{total} = \frac{\text{Potencia} \times \# \text{ de luminarias}}{fp} \quad (4.21)$$

$$KVA_{total} = \frac{440\text{W} \times 12}{0.9} = 5.87 \text{ KVA}$$

$$KVAm = KVA_{total} \times longitud\ total/2 \quad (4.22)$$

$$KVAm = 5.87\ KVA \times 108.35m = 636.01\ KVAm$$

El KVAm obtenido es de 636.01 KVAm este debe ser menor a los KVAm extraído de la **tabla 4.13** cuyo valor es de 1113 KVAm por lo tanto cumple para una caída de tensión del 2.5%.

#### 4.4.3.3 Caída de tensión para luminarias Evolve LED serie Cobrahead R150(ERMC)

El circuito #12 cuenta con las siguientes características: 12 luminarias conectadas, carga de la luminaria 157W, fp=0.98, circuito trifásico de 3x120/208, distancia entre postes= 19.7m, cable utilizado= #2 AWG THW de Aluminio (1113 KVAm para una caída del 2,5%) [**Tabla 4.13**].

$$Longitud\ total = (luminarias\ conectadas - 1) \times distancia\ entre\ poste \quad (4.20)$$

$$Longitud\ total = (12 - 1) \times 19.7m = 216.7m$$

$$KVA_{total} = \frac{Potencia \times \# \ de \ luminarias}{fp} \quad (4.21)$$

$$KVA_{total} = \frac{157W \times 12}{0.98} = 1.92\ KVA$$

$$KVAm = KVA_{total} \times longitud\ total/2 \quad (4.22)$$

$$KVAm = 1.92\ KVA \times 108.35m = 208.03\ KVAm$$

El KVAm obtenido es de 208.03 KVAm este debe ser menor a los KVAm extraído de la **tabla 4.13** cuyo valor es de 1113 KVAm por lo tanto cumple para una caída de tensión del 2.5%.

#### 4.4.4 Comparación económica del sistema de iluminación convencional ya instalado con el sistema LED proyectado

##### 4.4.4.1 Luminaria GE M-250A2

###### 4.4.4.1.1 Costo de la inversión

La inversión inicial de este sistema de iluminación con un promedio de distancia interpostal de 20m (**ver anexo A.13**) en la avenida planteada se dispone de 83 luminarias el cual el suministro y colocación de una luminaria de esta característica es 2.035,18 Bs (**ver anexo A.11**) donde daría un costo total de 168.919,94 Bs

Considerando que las luminarias de GE M-250A2 ya están instaladas la inversión por año será cero.

###### 4.4.4.1.2 Costo de energía por año

Se debe saber las horas de uso de la luminaria en un año, por lo tanto:

$$Horas_{total} = Horas_{de\ uso\ por\ dia} \times Dias_{al\ año} \quad (4.23)$$

$$Horas_{total} = 12h_{hora/dia} \times 365_{dia/año} = 4.380_{horas/año}$$

Se debe saber cuánto es la energía consumida de todas las luminarias cada año

$$E_{total} = Horas_{total} \times Potencia_{sistema} \quad (4.24)$$

$$E_{total} = 4.380_{horas/año} \times 22,825\ KW = 99.973,5_{KWh/año}$$

Por tanto el costo de energía por año será:

$$Costo_{energia} = E_{total} \times costo_{KWH} \quad (4.25)$$

$$Costo_{energia} = 99.973,5_{KWh/año} \times 0,1217_{Bs/KWh} = 12.166,77_{Bs/año}$$

#### 4.4.4.1.3 Costo por renovación de las lámparas

Un correcto plan de mantenimiento del alumbrado público está programado para mantener el buen estado de las luminarias y así poder tener un continuo uso de las mismas, dicho en otras palabras, se desea reparar aquellas luminarias en donde la lámpara no totalizo por completo su vida útil de operación, en el **anexo A.15** se puede ver un cálculo realizado en una tesis de la facultad de ingeniería eléctrica ‘‘Universidad de Carabobo’’ donde enfoca las causas por la cuales se debió reparar una lámpara en el circuito de estudio y una gráfica de las representación de las luminarias operativas a través del tiempo el cual nos sirve para establecer un criterio de renovación de lámparas HID al final de su vida útil de un 35% de las lámparas instaladas inicialmente.

##### 4.4.4.1.3.1 Lámpara vapor de sodio alta presión

La vida útil de esta lámpara expresada en años será de:

$$Vida\ util = \frac{Hora\ total\ de\ la\ lampara}{hora\ de\ uso\ al\ día\ x\ días\ al\ año} \quad (4.26)$$

$$Vida\ util = \frac{15000\ h}{12_{h/día} \times 365_{día/año}} = 3,4\ años$$

Para llevar este costo de renovación de lámparas a año se dirá entonces que el costo por renovación de lámparas de vapor de sodio alta presión será cada tres años, por otro lado, según el **anexo A1** el costo por reemplazar una lámpara de 250W es de **380,69Bs** por tanto el costo será de:

$$Costo_{renovacion} = 35\% \text{ de las luminarias totales} \times Costo_{reemplazarp.u.} \quad (4.27)$$

$$Costo_{renovacion} = (0,35 \times 83) \times 380,69 = 11.040,01\ Bs$$

#### 4.4.4.1.3.2 Lámpara de halogenuros metálicos

La vida útil de esta lámpara expresada en años será de:

$$Vida\ util = \frac{Hora\ total\ de\ la\ lampara}{hora\ de\ uso\ al\ día\ x\ días\ al\ año} \quad (4.26)$$
$$Vida\ util = \frac{15000\ h}{12_{h/día} \times 365_{día/año}} = 3,4\ años$$

Para llevar este costo de renovación de lámparas a año se dirá entonces que el costo por renovación de lámparas de vapor de sodio alta presión será cada tres años, por otro lado, según el **anexo A3** el costo por remplazar una lámpara es de **486,29Bs** por tanto será de:

$$Costo_{renovacion} = 35\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{remplazarp.u.} \quad (4.27)$$
$$Costo_{renovacion} = (0,35 \times 83) \times 486,29 = 14.104,41\ Bs$$

#### 4.4.4.1.4 Costo de limpieza a las luminarias por año

Según el **anexo A5** el costo de limpieza a la luminaria por precio unitario es de **240,77Bs** partiendo de la idea que se realizara una limpieza por año entonces el costo de limpieza a las luminarias por año será:

$$Costo_{limpieza} = \# \text{ de luminarias } \times Costo_{limpieza\ p.u.} \quad (4.28)$$
$$Costo_{limpieza} = 83 \times 240,77 = 19.983,91\ Bs_{año}$$

#### 4.4.4.1.5 Costo de reparación del sistema por año

La reparación de los componentes de una luminaria se deben principalmente a estos factores: vandalismo, choque contra el poste de la luminaria y daños de los equipos (lámpara, balastos, ignitores, condensadores, entre otros) debido a picos, condiciones ambientales y variaciones del sistema eléctrico. Para poder establecer un valor indicativo que permita saber

cuántos componentes de la luminaria deberá repararse por año se hará mención del **anexo A.15** el cual nos permite establecer los siguientes criterios: 4% del total de luminarias instalada, para reparación por concepto de vandalismo, 1% de total de luminarias instalada, para reparación por concepto de choque contra el poste de la luminaria y 20% del total de luminarias, para reparación por concepto de los daños de los equipos de a luminaria. Obteniendo un total de 25% el cual debe ser reparado cada año.

#### 4.4.4.1.5.1 Lámpara vapor de sodio alta presión

El costo de la reparación de una luminaria según el **anexo A6** es de **752,93Bs** por tanto el costo de reparación por año será de:

$$Costo_{reparacion} = 25\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{reparacion p.u.} (4.29)$$

$$Costo_{reparacion} = (0,25 \times 83) \times 752,93 = 15.811,53 Bs_{año}$$

#### 4.4.4.1.5.2 Lámpara de halogenuros metálicos

El costo de la reparación de una luminaria según el **anexo A7** es de **858,53 Bs** por tanto el costo de reparación por año será de:

$$Costo_{reparacion} = 25\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{reparacion p.u.} (4.29)$$

$$Costo_{reparacion} = (0,25 \times 83) \times 858,53 = 18.029,13 Bs_{año}$$

### 4.4.4.2 Luminaria GE M-400

#### 4.4.4.2.1 Costo de la inversión

La inversión inicial de este sistema de iluminación con un promedio de distancia interpostal de 20m (**ver anexo A.13**) en la avenida planteada se dispone de 83 luminarias el cual el suministro y colocación de una luminaria de esta característica es 2.167,18 Bs (**ver anexo A12**) donde daría un costo total de 179.875,94 Bs

Considerando que las luminarias de GE M-400 ya están instaladas la inversión por año será cero.

#### 4.4.4.2.2 Costo de energía por año

Se debe saber las horas de uso de la luminaria en un año, por lo tanto:

$$Horas_{total} = Horas_{de\ uso\ por\ dia} \times Dias_{al\ año} \quad (4.23)$$

$$Horas_{total} = 12h_{hora/dia} \times 365_{dia/año} = 4.380_{horas/año}$$

Se debe saber cuánto es la energía consumida de todas las luminarias cada año

$$E_{total} = Horas_{total} \times Potencia_{sistema} \quad (4.24)$$

$$E_{total} = 4.380_{horas/año} \times 36,520\ KW = 159.957,6_{KWh/año}$$

Por tanto el costo de energía por año será:

$$Costo_{energia} = E_{total} \times costo_{KWH} \quad (4.25)$$

$$Costo_{energia} = 159.957,6_{KWh/año} \times 0,1217_{Bs/KWh} = 19.466,84_{Bs/año}$$

#### 4.4.4.2.3 Costo por renovación de las lámparas

##### 4.4.4.2.3.1 Lámpara de vapor de sodio alta presión

La vida útil de esta lámpara expresada en años será de:

$$Vida\ util = \frac{Hora\ total\ de\ la\ lampara}{hora\ de\ uso\ al\ dia \times dias\ al\ año} \quad (4.26)$$

$$Vida\ util = \frac{15000\ h}{12_{h/dia} \times 365_{dia/año}} = 3,4\ años$$

Para llevar este costo de renovación de lámparas a año se dirá entonces que el costo por renovación de lámparas de vapor de sodio alta presión será cada tres años, por otro lado, según el **anexo A2** el costo por reemplazar una lámpara de 400W es de **445,37Bs** por tanto el costo será de:

$$Costo_{renovacion} = 35\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{reemplazarp.u.} \quad (2.27)$$

$$Costo_{renovacion} = (0,35 \times 83) \times 445,37 = 12.915,73 \text{ Bs}$$

#### 4.4.4.2.3.2 Lámpara de halogenuros metálicos

La vida útil de esta lámpara expresada en años será de:

$$Vida\ util = \frac{Hora\ total\ de\ la\ lampara}{hora\ de\ uso\ al\ dia \times dias\ al\ año} \quad (4.26)$$

$$Vida\ util = \frac{20000\ h}{12_{h/dia} \times 365_{dia/año}} = 4,6\ años$$

Para llevar este costo de renovación de lámparas a año se dirá entonces que el costo por renovación de lámparas de vapor de sodio alta presión será cada cuatro años, por otro lado, según el **anexo A4** el costo por reemplazar una lámpara de 400W es de **603,77Bs** por tanto el costo será de:

$$Costo_{renovacion} = 35\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{reemplazarp.u.} \quad (4.27)$$

$$Costo_{renovacion} = (0,35 \times 83) \times 603,77 = 17.509,33 \text{ Bs}$$

#### 4.4.4.2.4 Costo de limpieza a las luminarias por año

Según el **anexo A5** el costo de limpieza a la luminaria por precio unitario es de **240.77Bs** partiendo de la idea que se realizara una limpieza por año entonces el costo de limpieza a las luminarias por año será:

$$Costo_{limpieza} = \# \text{ de luminarias} \times Costo_{limpieza \text{ p.u.}} \quad (4.28)$$

$$Costo_{limpieza} = 83 \times 240.77 = 19983.91 \text{ Bs}_{\text{año}}$$

#### 4.4.4.2.5 Costo de reparación del sistema por año

##### 4.4.4.2.5.1 Lámpara vapor de sodio alta presión

El costo de la reparación de una luminaria según el **anexo A8** es de **993,17Bs** por tanto el costo de reparación por año será de:

$$Costo_{reparacion} = 25\% \text{ de las luminarias totales} \times Costo_{reparacion \text{ p.u.}} \quad (4.29)$$

$$Costo_{reparacion} = (0,25 \times 83) \times 993,17 = 20.856,57 \text{ Bs}_{\text{año}}$$

##### 4.4.4.2.5.2 Lámpara de halogenuros metálicos

El costo de la reparación de una luminaria según el **anexo A9** es de **1.151,57 Bs** por tanto el costo de reparación por año será de:

$$Costo_{reparacion} = 25\% \text{ de las luminarias totales} \times Costo_{reparacion \text{ p.u.}} \quad (4.29)$$

$$Costo_{reparacion} = (0,25 \times 83) \times 1.151,57 = 24.182,97 \text{ Bs}_{\text{año}}$$

#### 4.4.4.3 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM C

##### 4.4.4.3.1 Costo de la inversión

Según el **anexo A10** el suministro y colocación de esta luminaria el precio unitario es de **8.907,94Bs** por tanto el costo total de la inversión será:

$$Costo_{inversion} = \#luminarias \times Costo_{invesion\ p.u.} \quad (4.30)$$

$$Costo_{inversion} = 83 \times 8.907,94 = 739.359,02Bs$$

##### 4.4.4.3.2 Costo de energía por año

Se debe saber las horas de uso de la luminaria en un año, por lo tanto:

$$Horas_{total} = Horas_{de\ uso\ por\ dia} \times Dias_{al\ año} \quad (4.23)$$

$$Horas_{total} = 12h_{hora/dia} \times 365_{dia/año} = 4.380_{horas/año}$$

Se debe saber cuánto es la energía consumida de todas las luminarias cada año

$$E_{total} = Horas_{total} \times Potencia_{sistema} \quad (4.24)$$

$$E_{total} = 4.380_{horas/año} \times 13,03\ KW = 57.071,4_{KWh/año}$$

Por tanto el costo de energía por año será:

$$Costo_{energia} = E_{total} \times costo_{KWH} \quad (4.25)$$

$$Costo_{energia} = 57.071,4_{KWh/año} \times 0,1217_{Bs/KWh} = 6.945,58_{Bs/año}$$

#### 4.4.4.3.3 Costo por año de la renovación de las luminarias

El costo por renovación es cero debido a que la base del tiempo de estudio para realizar esta comparación económica es la misma que la vida útil de la luminaria LED y por lo tanto esta es mucho mayor que la vida útil de las demás, además estos costos entran en el punto de reparación ya que la empresa garantiza la vida útil de la luminaria comprobado en las distintas pruebas de laboratorios cumpliendo las normativas establecidas.

#### 4.4.4.3.4 Costo de limpieza a las luminarias

Según el **anexo A5** el costo de limpieza a la luminaria por precio unitario es de **240.77Bs** partiendo de la idea que se realizara en este caso, una limpieza por cada seis años debido a las características de construcción de la luminaria que hace que no se acumule suciedad entre el modulo LED y el difusor, además, el diseño que tiene la luminaria evita entrada de agua. Entonces la limpieza de las luminarias por recomendación de los especialistas de la "GE" se tiene que realizar cada seis años y el costo será:

$$Costo_{limpieza} = \# \text{ de luminarias} \times Costo_{limpieza \text{ p.u.}} \quad (4.28)$$

$$Costo_{limpieza} = 83 \times 240.77 = 19983.91 \text{ Bs}$$

#### 4.4.4.3.5 Costo de la reparación del sistema por año

El sistema LED cuenta con características eléctricas tales como: protección integral contra picos de voltaje y protección contra alto voltaje de gran capacidad lo cual permite garantizar que la luminaria no presentara danos por concepto de calidad de servicio del sistema eléctrico. Por esta razón solo se considera: 1% del total de luminarias, por concepto de choque contra el poste de la luminaria y un 4% del total de luminarias, por concepto de vandalismo. Obteniendo un total de 5% el cual debe ser reparado cada año con la característica de que en la actualidad aun no hay venta de los equipos eléctricos que integran la luminaria.

Según el **anexo A10** el costo por reemplazar una luminaria es de **8.907,94Bs** por tanto el costo por año de la renovación de las luminarias del total instaladas en el sistema será de:

$$Costo_{reparacion} = 5\% \text{ de las luminarias totales } \times Costo_{reemplazarp.u.} \text{ (4.29)}$$

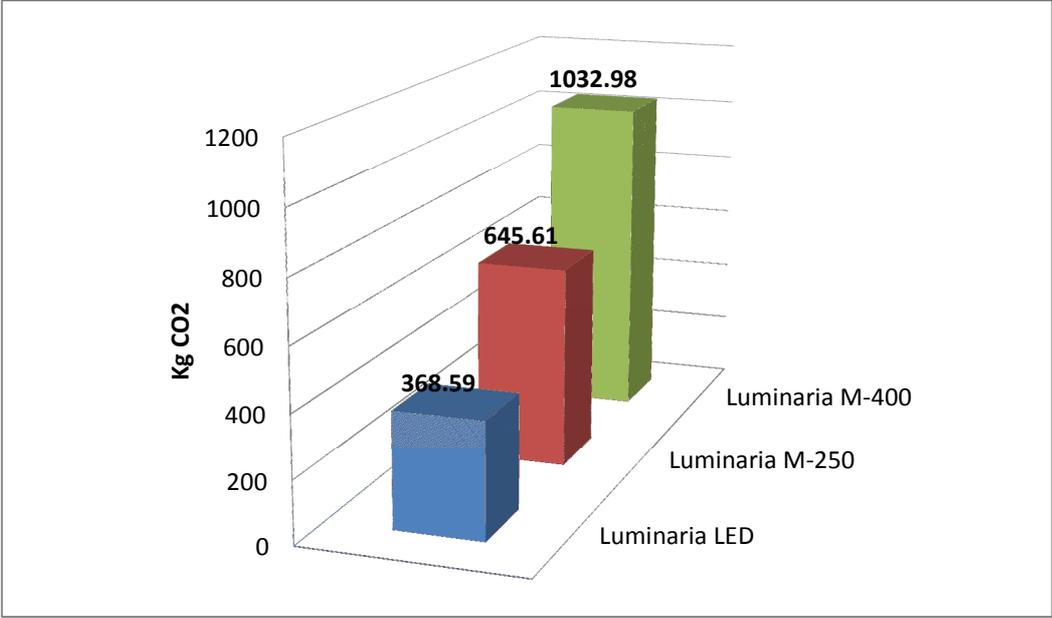
$$Costo_{reparacion} = (0,05 \times 83) \times 8.907,94 = 35.631,76 Bs_{año}$$

#### 4.4.4.4 Resumen

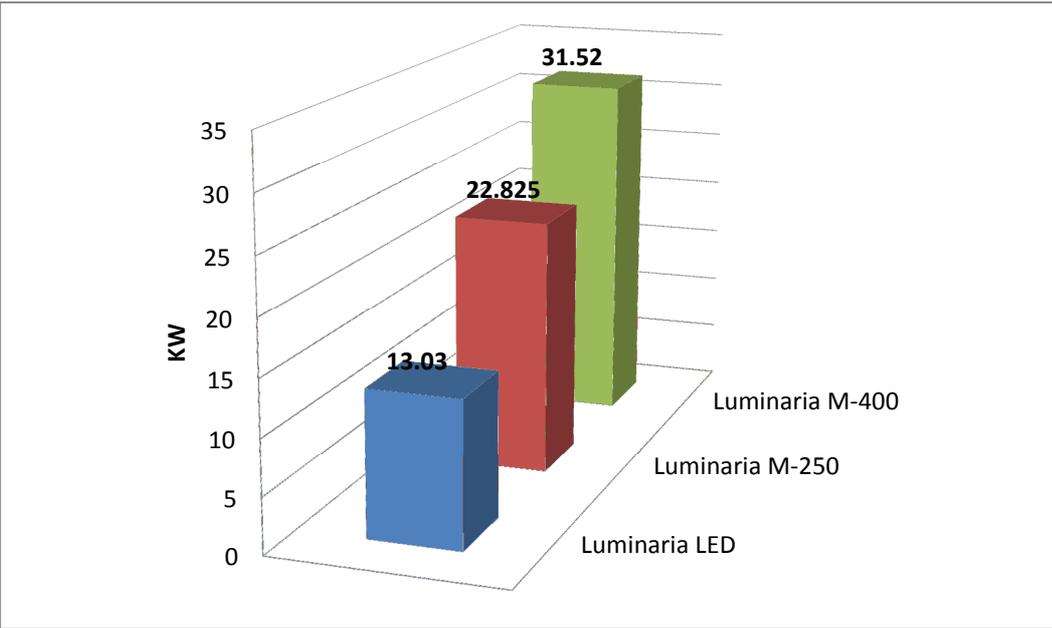
DATOS	Luminaria GE M250		Luminaria GE M400		Luminaria GE LED EVOLVE ERMC
	HPS	HM	HPS	HM	
Número de luminarias	83				
Potencia de luminaria(W)	275		440		157
Potencia total del sistema (KW)	22,825		36,520		13,03
<b>Cálculos de costos</b>					
<b>Inversión</b>					
Inversión inicial (Bs)	0-(168.919,94)		0-(179.875,94)		739.359,02
KW horas al año	99.973,5		159.957,6		57.071,4
Costo de energía por año (Bs)	12.166,77	12.166,77	19.466,84	19.466,84	6.945,58
Unidades por reemplazo al final de vida útil	29	29	29	29	0
Costo de renovación (Bs) Al final de vida útil	11.040,01	14.104,41	12.945,73	17.509,33	0
Costo de limpieza por año (Bs)	19.983,91				19.983,91*
Costo de reparación por año (Bs)	15.811,53	18.029,13	20.856,57	24.182,97	35.631,76

**Tabla 4.15:** Tabla resumen de la comparación energética entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED

**\*El costo de limpieza es cada seis años por recomendación**



**Grafico 4.1:** Emisión de Kg CO2 por luminaria al año



**Grafico 4.2:** Energía consumida al año (KW) del sistema de iluminación de estudio

#### 4.4.5 Análisis económico

El objetivo es realizar un estudio económico a través de método Valor Actual de las cinco alternativas dadas ya que este muestra el valor del proyecto al momento de la inversión.

Se toma en cuenta que la tasa de interés para un préstamo en la actualidad en el país para un proyecto de obras públicas es del 12% el cual asumiremos para los cálculos de rentabilidad

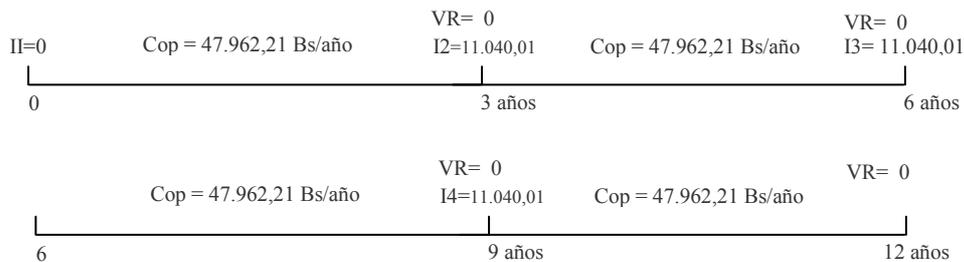
##### 4.4.5.1 Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (SAP)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (15.811,53Bs)
- Costo por consumo de energía (12.166,77 Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 15.811,53 + 12.166,77 = 47.962,21 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 3 años una inversión de 11.040,01 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R 12\%, 12) + I2 \times (P/S 12\%, 3) + I3 \times (P/S 12\%, 6) + I4 \times (P/S 12\%, 9) \quad (4.30)$$

$$VA (12\%) = 35.795,44 \times 6,1943^* + 12.166,77 \times 6,1943^* + 11.040,01 \times 0,71178^* + 11.040,01 \times 0,50663^* + 11.040,01 \times 0,36061^*$$

$$VA (12\%) = 221.727,694 + 75.364,623 + 17.432,3965$$

**VA (12%) = 314.524,71 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

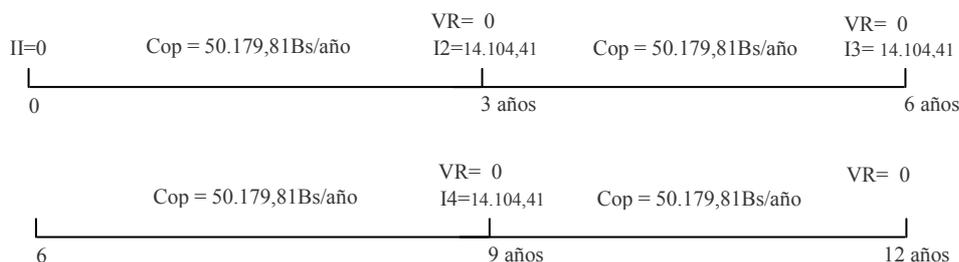
#### 4.4.5.2 Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (18.029,13Bs)
- Costo por consumo de energía (12.166,77 Bs)

Costos operacionales =  $\sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 18.029,13 + 12.166,77 = 50.179,81 \text{ Bs/año}$

Se realiza cada 3 años una inversión de 14.104,41 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R 12\%, 12) + I2 \times (P/S 12\%, 3) + I3 \times (P/S 12\%, 6) + I4 \times (P/S 12\%, 9) \quad (4.30)$

$VA (12\%) = 38.013,04 \times 6,1943^* + 12.166,77 \times 6,1943^* + 14.104,41 \times 0,71178^* + 14.104,41 \times 0,50663^* + 14.104,41 \times 0,36061^*$

$VA (12\%) = 235.464,173 + 75.364,623 + 22.271,145$

**VA (12%) = 333.099,94 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

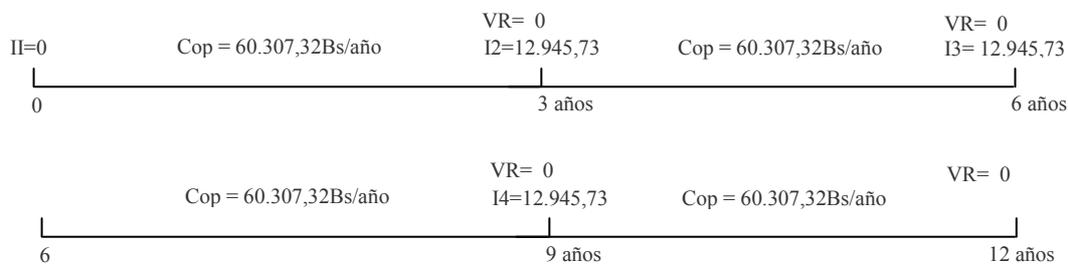
#### 4.4.5.3 Luminaria GE M-400 Vapor de sodio (SAP)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (20.856,57Bs)
- Costo por consumo de energía (19.466,84Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 20.856,57 + 19.466,84 = 60.307,32 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 3 años una inversión de 12.945,73Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R \ 12\%, \ 12) + I2 \times (P/S \ 12\%, \ 3) + I3 \times (P/S \ 12\%, \ 6) + I4 \times (P/S \ 12\%, \ 9) \quad (4.30)$$

$$VA (12\%) = 40.840,48 \times 6,1943^* + 19.466,84 \times 6,1943^* + 12.945,73 \times 0,71178^* + 12.945,73 \times 0,50663^* + 12.945,73 \times 0,36061^*$$

$$VA (12\%) = 252.978,185 + 120.583,447 + 20.441,566$$

**VA (12%) = 394.003,19 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

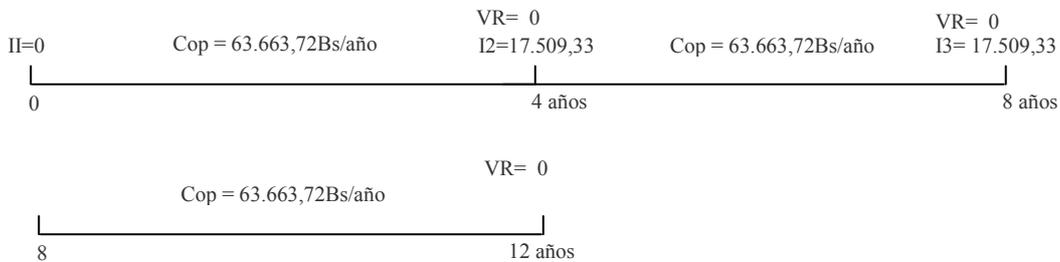
#### 4.4.5.4 Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (24.182,97Bs)
- Costo por consumo de energía (19.466,84Bs)

Costos operacionales =  $\sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 24.182,97 + 19.466,84 = 63.633,72 \text{ Bs/año}$

Se realiza cada 4 años una inversión de 17.509,33Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R \ 12\%, \ 12) + I2 \times (P/S \ 12\%, \ 4) + I3 \times (P/S \ 12\%, \ 8) \quad (4.31)$$

$$VA (12\%) = 44.166,88 \times 6,1943^* + 19.466,84 \times 6,1943^* + 17.509,33 \times 0,63552^* + 17.509,33 \times 0.40388^*$$

$$VA (12\%) = 273.582,904 + 120.583,447 + 18.199,197$$

**VA (12%) = 412.365,55 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

#### 4.4.5.5 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM C

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

Costos operacionales los primeros cinco años:

- Costo por colocación de luminarias a reparar  
Costo mano de obra x luminarias a reparar por año =  $256,62 \times 4 = (1.026,48Bs)$
- Costo por consumo de energía (6.945,58Bs)

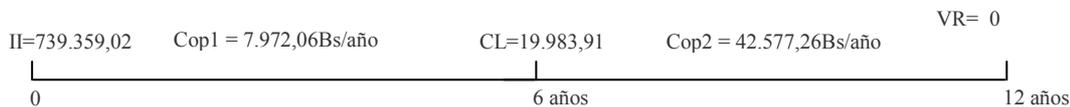
$$\text{Costos operacionales}_1 = \sum \text{costos por año} = 1.026,48 + 6.945,58 = 7.972,06 \text{ Bs}$$

Costos operacionales a partir del sexto año:

- Costo por reparación (35.631,76Bs)
- Costo por consumo de energía (6.945,58Bs)

$$\text{Costos operacionales}_2 = \sum \text{costos por año} = 35.631,76 + 6.945,58 = 42.577,26 \text{ Bs}$$

Costo por Limpieza en el sexto año (19.983,91 Bs)



$$VA (12\%) = II + Cop1 \times (P/R 12\%, 5) + Cop2 \times (P/R 12\%, 7) + CL \times (P/S 12\%, 6) \quad (4.32)$$

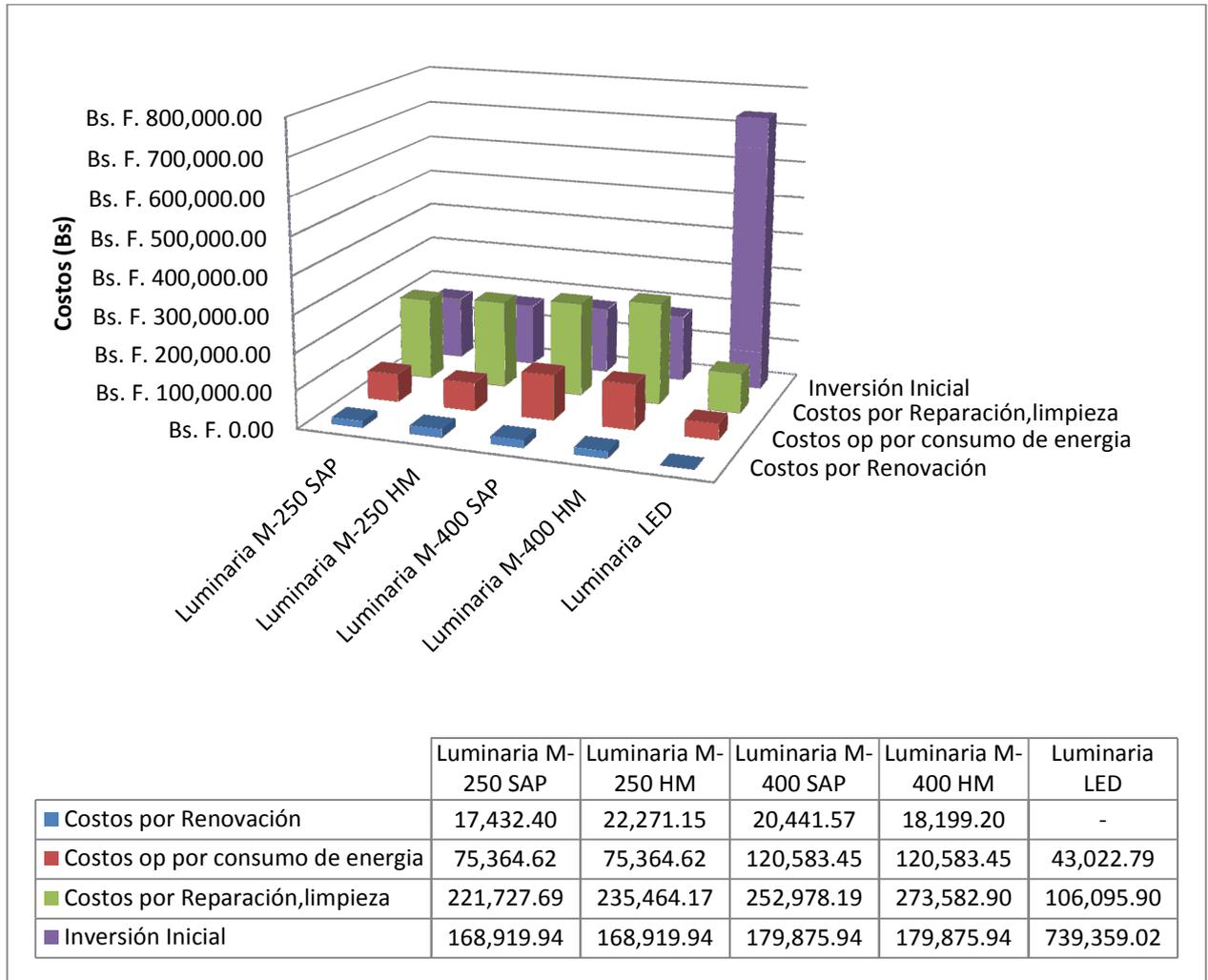
$$VA (25\%) = 739.359,02 + 1.026,48 \times 3,6047^* + 6.945,58 \times 3,6047^* + 35.631,76 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 6.945,58 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 19.983,91 \times 0,50663^*$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 106.095,904 + 43.022,869$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 149.118,77 = 888.477,79 \text{ Bs}$$

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.



**Grafico 4.3:** Comparación de los costos expresados en valor actual.

#### 4.4.6 Comparación económica del sistema de iluminación LED y convencional en Venezuela con otros países

Anteriormente se comparo el sistema de iluminación LED con el sistema de iluminación convencional económica y fotométricamente. Ahora se desea comparar los costos por conceptos de energía ya que dentro de Venezuela dichos costos son menores a los costos de España y México (por dar un ejemplo). Se mantendrá los costos de inversión y mano de obra con la finalidad de mantener una comparación uniforme ya que la variable con mayor diferencia son los costos de energía. Con esto se podrá ver la influencia que tiene la aplicación de esta tecnología en cuanto a costo en Venezuela con respecto a otros países. El circuito de estudio seguirá siendo la Av. Monseñor Adams.

##### 4.4.6.1 Costo de energía en España

El precio de energía en España es de 0,142319 €/KWh lo que equivale a 0,896 Bs/KWh

###### 4.4.6.1.1 Luminaria GE M-250A2

El costo de energía por año será:

$$Costo_{energia} = E_{total} \times costo_{KWH}(4.25)$$

$$Costo_{energia} = 99.973,5_{KWh/año} \times 0,896_{Bs/KWh} = 89.576,26_{Bs/año}$$

###### 4.4.6.1.2 Luminaria GE M-400

El costo de energía por año será:

$$Costo_{energia} = E_{total} \times costo_{KWH}(4.25)$$

$$Costo_{energia} = 159.957,6_{KWh/año} \times 0,896_{Bs/KWh} = 143.322,32_{Bs/año}$$

#### 4.4.6.1.3 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC

El costo de energía por año será:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{energía}} &= E_{\text{total}} \times \text{costo}_{\text{KWH}}(4.25) \\ \text{Costo}_{\text{energía}} &= 57.071,4_{\text{KWh/año}} \times 0,896_{\text{Bs/KWh}} = 51.135,97_{\text{Bs/año}} \end{aligned}$$

#### 4.4.6.2 Costo de energía en México

El precio de energía en México es de 1,7 \$/KWh lo que equivale a 7,31 Bs/KWh

##### 4.4.6.2.1 Luminaria GE M-250A2

El costo de energía por año será:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{energía}} &= E_{\text{total}} \times \text{costo}_{\text{KWH}}(4.25) \\ \text{Costo}_{\text{energía}} &= 99.973,5_{\text{KWh/año}} \times 7,31_{\text{Bs/KWh}} = 730.806,28_{\text{Bs/año}} \end{aligned}$$

##### 4.4.6.2.2 Luminaria GE M-400

El costo de energía por año será:

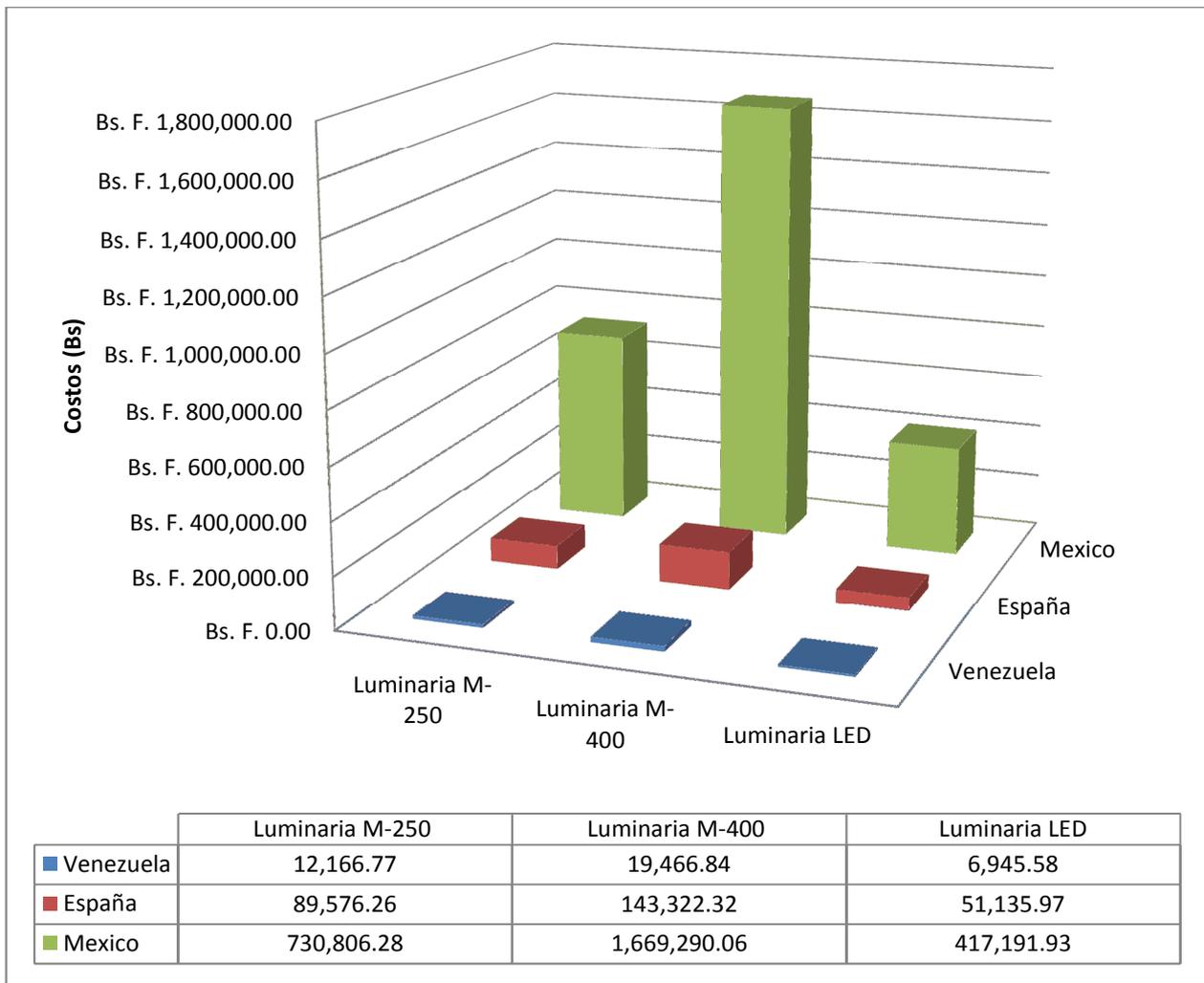
$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{energía}} &= E_{\text{total}} \times \text{costo}_{\text{KWH}}(4.25) \\ \text{Costo}_{\text{energía}} &= 159.957,6_{\text{KWh/año}} \times 7,31_{\text{Bs/KWh}} = 1.669.290,06_{\text{Bs/año}} \end{aligned}$$

##### 4.4.6.2.3 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC

El costo de energía por año será:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{energía}} &= E_{\text{total}} \times \text{costo}_{\text{KWH}}(4.25) \\ \text{Costo}_{\text{energía}} &= 57.071,4_{\text{KWh/año}} \times 7,31_{\text{Bs/KWh}} = 417.191,93_{\text{Bs/año}} \end{aligned}$$

#### 4.4.6.3 Resumen



**Grafico 4.4:** Comparación de los costos por concepto de energía anual de las distintas luminarias en Venezuela, España y México.

#### 4.4.7 Análisis económico por costos de energía de España

El objetivo es realizar un estudio de rentabilidad a través de método Valor Actual de las cinco alternativas dadas ya que este muestra el valor del proyecto al momento de la inversión.

Se toma en cuenta que la tasa de interés para un préstamo del 12% el cual asumiremos para los cálculos de rentabilidad

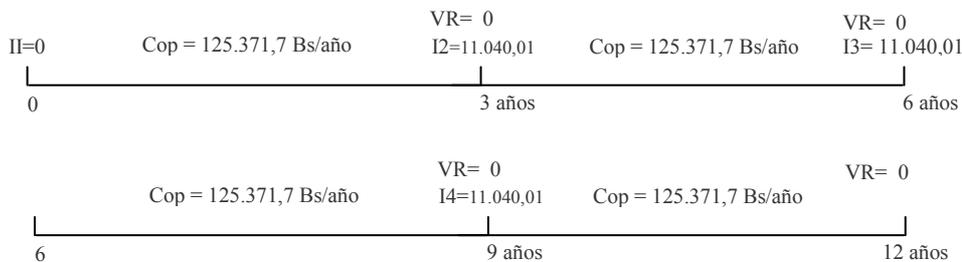
#### 4.4.7.1 Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (HPS)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (15.811,53Bs)
- Costo por consumo de energía (89.576,26 Bs)

Costos operacionales =  $\sum$  *costos* por año = 19.983,91+15.811,53+89.576,26 = 125.371,7 Bs/año

Se realiza cada 3 años una inversión de 11.040,01 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R \ 12\%, \ 12) + I2 \times (P/S \ 12\%, \ 3) + I3 \times (P/S \ 12\%, \ 6) + I4 \times (P/S \ 12\%, \ 9) \quad (4.30)$$

$$VA (12\%) = 35.795,44 \times 6,1943^* + 89.576,26 \times 6,1943^* + 11.040,01 \times 0,71178^* + 11.040,01 \times 0,50663^* + 11.040,01 \times 0,36061^*$$

$$VA (12\%) = 221.727,694 + 554.862,23 + 17.432,3965$$

**VA (12%) = 794.022,32 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

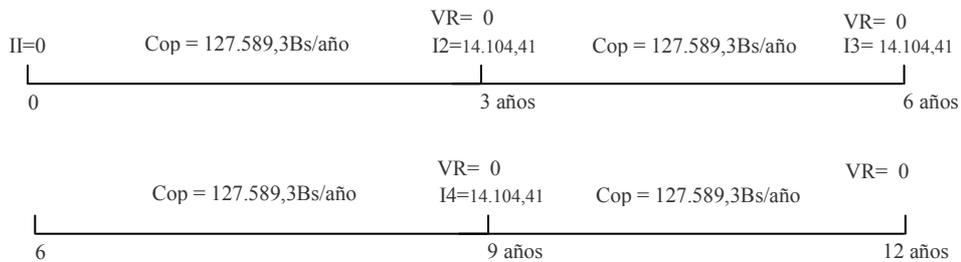
#### 4.4.7.2 Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (18.029,13Bs)
- Costo por consumo de energía (89.576,26 Bs)

Costos operacionales =  $\sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 18.029,13 + 89.576,26 = 127.589,3 \text{ Bs/año}$

Se realiza cada 3 años una inversión de 14.104,41 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R 12\%, 12) + I2 \times (P/S 12\%, 3) + I3 \times (P/S 12\%, 6) + I4 \times (P/S 12\%, 9) \quad (4.30)$$

$$VA (12\%) = 38.013,04 \times 6,1943^* + 89.576,26 \times 6,1943^* + 14.104,41 \times 0,71178^* + 14.104,41 \times 0,50663^* + 14.104,41 \times 0,36061^*$$

$$VA (12\%) = 235.464,173 + 554.862,23 + 22.271,145$$

**VA (12%) = 812.598,55 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

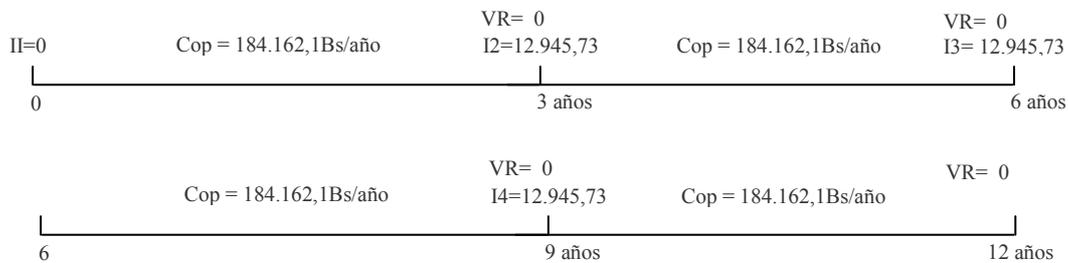
#### 4.4.7.3 Luminaria GE M-400 Vapor de sodio (HPS)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (20.856,57Bs)
- Costo por consumo de energía (143.322,32Bs)

Costos operacionales =  $\sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 20.856,57 + 143.322,32 = 184.162,1 \text{ Bs/año}$

Se realiza cada 3 años una inversión de 12.945,73Bs por concepto de renovación por vida útil.



$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R 12\%, 12) + I2 \times (P/S 12\%, 3) + I3 \times (P/S 12\%, 6) + I4 \times (P/S 12\%, 9)$  (4.30)

$VA (12\%) = 40.840,48 \times 6,1943^* + 143.322,32 \times 6,1943^* + 12.945,73 \times 0,71178^* + 12.945,73 \times 0,50663^* + 12.945,73 \times 0,36061^*$

$VA (12\%) = 252.978,185 + 887.781,447 + 20.441,566$

**VA (12%) = 1.161.201,20 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

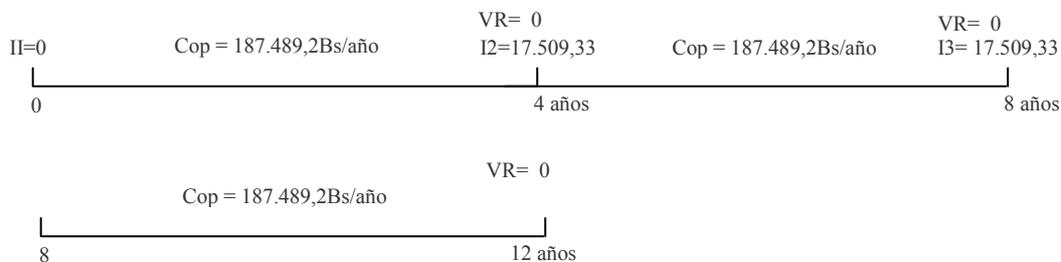
#### 4.4.7.4 Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (24.182,97Bs)
- Costo por consumo de energía (143.322,32Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 24.182,97 + 143.322,32 = 187.489,2 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 4 años una inversión de 17.509,33Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R \ 12\%, \ 12) + I2 \times (P/S \ 12\%, \ 4) + I3 \times (P/S \ 12\%, \ 8) \quad (4.31)$$

$$VA (12\%) = 44.166,88 \times 6,1943^* + 143.322,32 \times 6,1943^* + 17.509,33 \times 0,63552^* + 17.509,33 \times 0,40388^*$$

$$VA (12\%) = 273.582,904 + 887.781,447 + 18.199,197$$

**VA (12%) = 1.179.563,548 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

#### 4.4.7.5 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

Costos operacionales los primeros cinco años:

- Costo por colocación de luminarias a reparar  
Costo mano de obra x luminarias a reparar por año =  $256,62 \times 4 = (1.026,48Bs)$
- Costo por consumo de energía (51.135,97Bs)

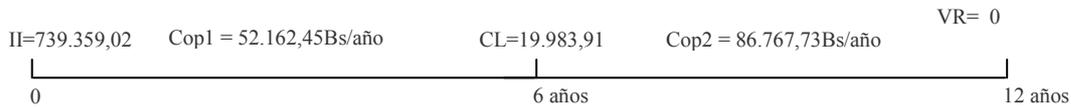
$$\text{Costos operacionales}_1 = \sum \text{costos por año} = 1.026,48 + 51.135,97 = 52.162,45 \text{ Bs}$$

Costos operacionales a partir del sexto año:

- Costo por reparación (35.631,76Bs)
- Costo por consumo de energía (51.135,97Bs)

$$\text{Costos operacionales}_2 = \sum \text{costos por año} = 35.631,76 + 51.135,97 = 86.767,73 \text{ Bs}$$

Costo por Limpieza en el sexto año (19.983,91 Bs)



$$VA (12\%) = II + Cop1 \times (P/R 12\%,5) + Cop2 \times (P/R 12\%,7)(P/S 12\%,5) + CL \times (P/S 12\%,6) \quad (4.32)$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 1.026,48 \times 3,6047^* + 51.135,97 \times 3,6047^* + 35.631,76 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 51.135,97 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 19.983,91 \times 0,50663^*$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 106.095,904 + 316.750,531$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 422.846,43 = 1.162.205,45 \text{ Bs}$$

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

#### 4.4.8 Análisis económico por costos de energía de México

El objetivo es realizar un estudio de rentabilidad a través de método Valor Actual de las cinco alternativas dadas ya que este muestra el valor del proyecto al momento de la inversión.

Se toma en cuenta que la tasa de interés para un préstamo del 12% el cual asumiremos para los cálculos de rentabilidad.

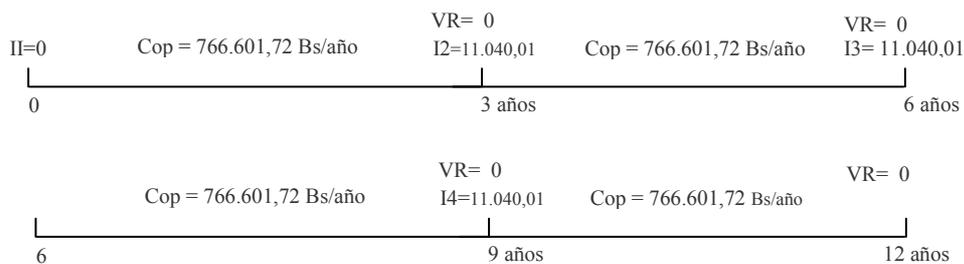
##### 4.4.8.1 Luminaria GE M-250 Vapor de Sodio (SAP)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (15.811,53Bs)
- Costo por consumo de energía (730.806,28Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 15.811,53 + 730.806,28 = 766.601,72 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 3 años una inversión de 11.040,01 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA (12\%) = I_1 + Cop \times (P/R \ 12\%, \ 12) + I_2 \times (P/S \ 12\%, \ 3) + I_3 \times (P/S \ 12\%, \ 6) + I_4 \times (P/S \ 12\%, \ 9) \quad (4.30)$$

$$VA (12\%) = 35.795,44 \times 6,1943^* + 730.806,28 \times 6,1943^* + 11.040,01 \times 0,71178^* + 11.040,01 \times 0,50663^* + 11.040,01 \times 0,36061^*$$

$$VA (12\%) = 221.727,694 + 4.526.833,34 + 17.432,3965$$

**VA (12%) = 4.765.993,43 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de

Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

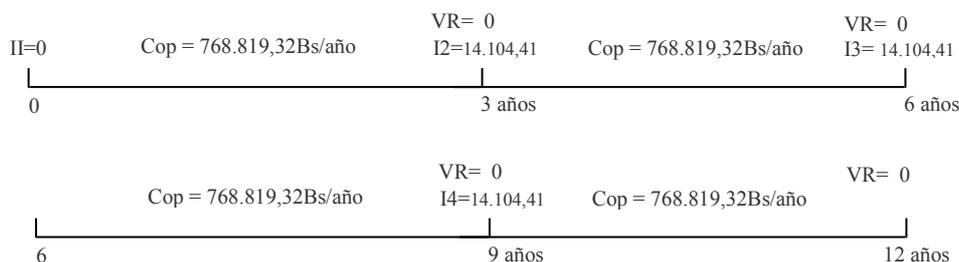
#### 4.4.8.2 Luminaria GE M-250 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (18.029,13Bs)
- Costo por consumo de energía (730.806,28Bs)

Costos operacionales =  $\sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 18.029,13 + 730.806,28 = 768.819,32 \text{ Bs/año}$

Se realiza cada 3 años una inversión de 14.104,41 Bs por concepto de renovación por vida útil.



$VA (12\%) = II + Cop \times (P/R 12\%, 12) + I2 \times (P/S 12\%, 3) + I3 \times (P/S 12\%, 6) + I4 \times (P/S 12\%, 9)$  (4.30)

$VA (12\%) = 38.013,04 \times 6,1943^* + 730.806,28 \times 6,1943^* + 14.104,41 \times 0,71178^* + 14.104,41 \times 0,50663^* + 14.104,41 \times 0,36061^*$

$VA (12\%) = 235.464,173 + 4.526.833,340 + 22.271,145$

**VA (12%) = 4.784.568,66 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

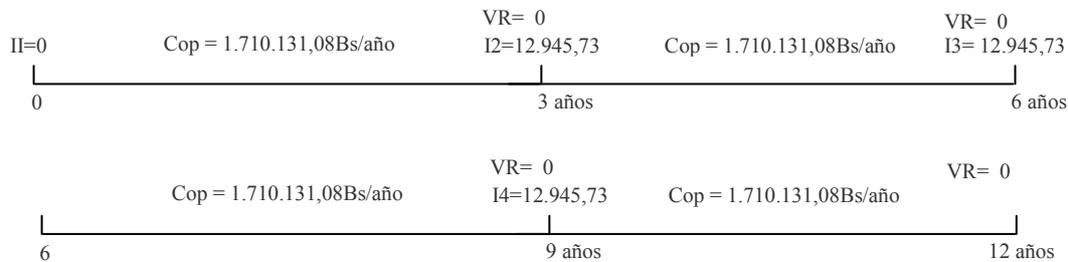
#### 4.4.8.3 Luminaria GE M-400 Vapor de sodio (SAP)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (20.856,57Bs)
- Costo por consumo de energía (1.669.290,06Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 20.856,57 + 1.669.290,06 = 1.710.131,08 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 3 años una inversión de 12.945,73Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$VA(12\%) = II + Cop \times (P/R\ 12\%,\ 12) + I2 \times (P/S\ 12\%,\ 3) + I3 \times (P/S\ 12\%,\ 6) + I4 \times (P/S\ 12\%,\ 9) \quad (4.30)$$

$$VA(12\%) = 40.840,48 \times 6,1943^* + 1.669.290,06 \times 6,1943^* + 12.945,73 \times 0,71178^* + 12.945,73 \times 0,50663^* + 12.945,73 \times 0,36061^*$$

$$VA(12\%) = 252.978,185 + 10.340.083,419 + 20.441,566$$

**VA (12%) = 10.613.503,17 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

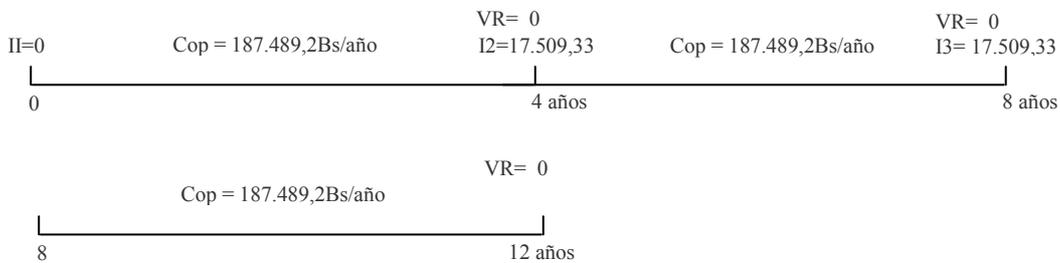
#### 4.4.8.4 Luminaria GE M-400 Halogenuro Metálico (HM)

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

- Costo por limpieza (19.983,91 Bs)
- Costo por reparación (24.182,97Bs)
- Costo por consumo de energía (1.669.290,06Bs)

$$\text{Costos operacionales} = \sum \text{costos por año} = 19.983,91 + 24.182,97 + 1.669.290,06 = 1.713.456,94 \text{ Bs/año}$$

Se realiza cada 4 años una inversión de 17.509,33Bs por concepto de renovación por vida útil.



$$\text{VA (12\%)} = \Pi + \text{Cop} \times (\text{P/R } 12\%, 12) + \text{I2} \times (\text{P/S } 12\%, 4) + \text{I3} \times (\text{P/S } 12\%, 8) \quad (4.31)$$

$$\text{VA (12\%)} = 44.166,88 \times 6,1943^* + 1.669.290,06 \times 6,1943^* + 17.509,33 \times 0,63552^* + 17.509,33 \times 0,40388^*$$

$$\text{VA (12\%)} = 273.582,904 + 10.340.083,419 + 18.199,197$$

**VA (12%) = 10.631.865,52 Bs el cual representa los costos operacionales totales al inicio del periodo**

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.

#### 4.4.8.5 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM C

La estructura de los costos operaciones se desglosa de la siguiente manera:

Costos operacionales los primeros cinco años:

- Costo por colocación de luminarias a reparar  
Costo mano de obra x luminarias a reparar por año =  $256,62 \times 4 = (1.026,48Bs)$
- Costo por consumo de energía (417.191,93Bs)

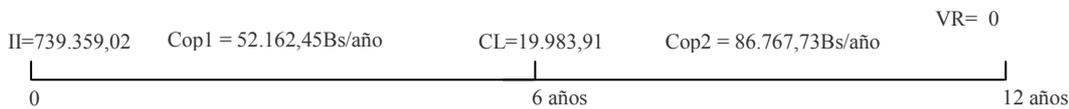
$$\text{Costos operacionales}_1 = \sum \text{costos por año} = 1.026,48 + 417.191,93 = 52.162,45 \text{ Bs}$$

Costos operacionales a partir del sexto año:

- Costo por reparación (35.631,76Bs)
- Costo por consumo de energía (417.191,93Bs)

$$\text{Costos operacionales}_2 = \sum \text{costos por año} = 35.631,76 + 417.191,93 = 86.767,73 \text{ Bs}$$

Costo por Limpieza en el sexto año (19.983,91 Bs)



$$VA (12\%) = II + Cop1 \times (P/R 12\%,5) + Cop2 \times (P/R 12\%,7)(P/S 12\%,5) + CL \times (P/S 12\%,6) \quad (4.32)$$

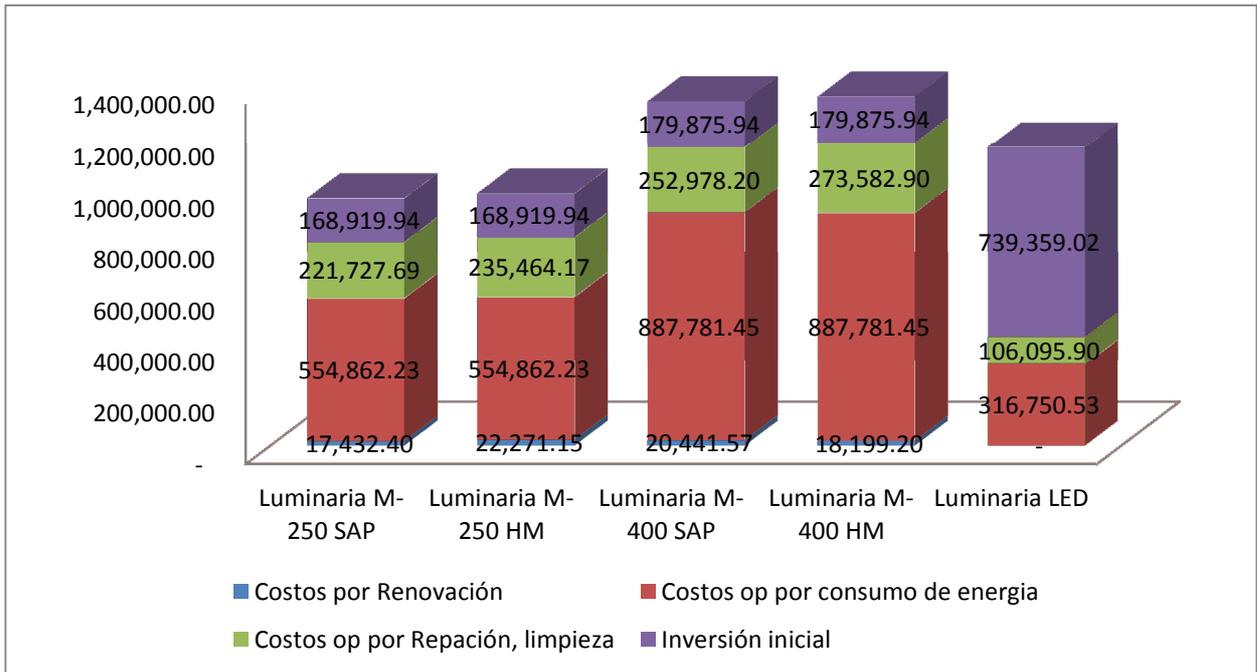
$$VA (25\%) = 739.359,02 + 1.026,48 \times 3,6047^* + 417.191,93 \times 3,6047^* + 35.631,76 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 417.191,93 \times 4,5637^* \times 0,56743^* + 19.983,91 \times 0,50663^*$$

$$VA (25\%) = 739.359,02 + 106.095,904 + 2.584.203,75$$

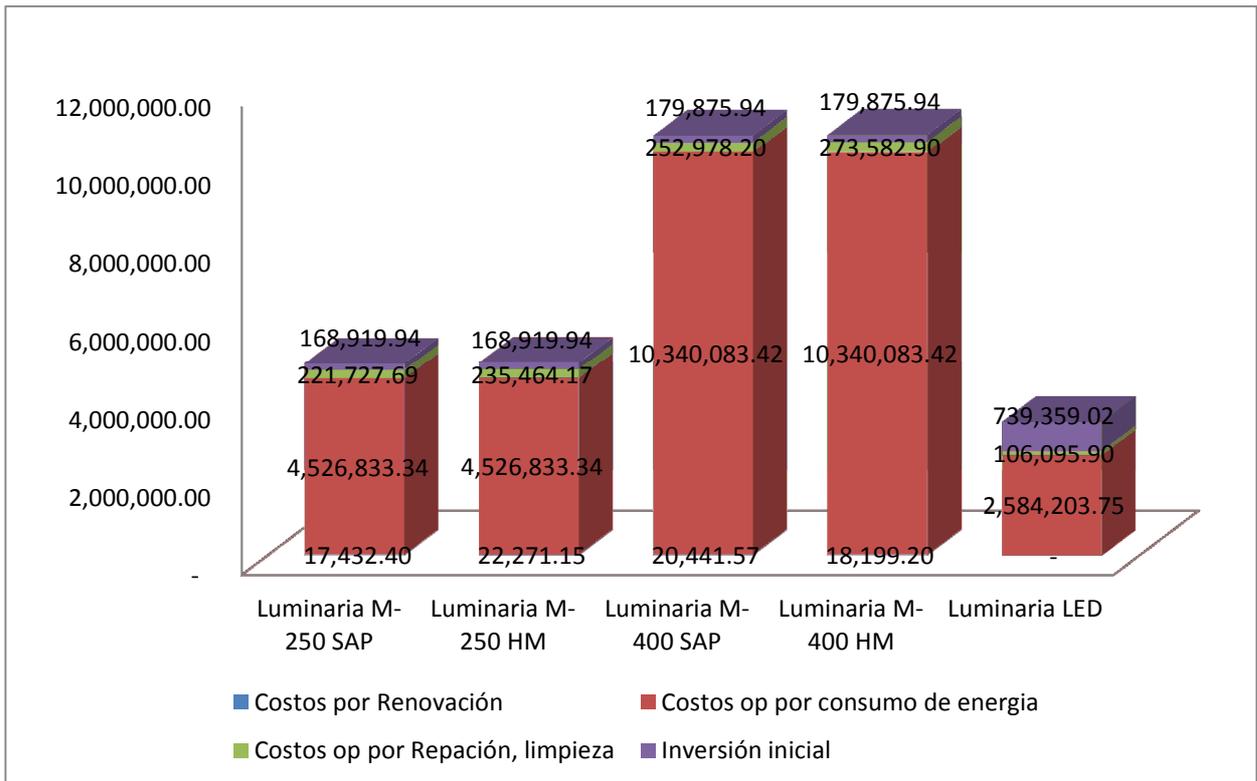
$$VA (25\%) = 739.359,02 + 2.690.299,654 = 3.429.658,67 \text{ Bs}$$

\*valor obtenido de la página 384 del libro Evaluación de Proyectos de Inversión Universidad de Carabobo 2007

El color verde representa el valor actual por concepto de costos de limpieza y reparación, el color rojo representa el costo por consumo de energía y el color azul representa los costos por renovación por vida útil.



**Grafico 4.5:** Comparación del valor actual de las luminarias señaladas, considerando los costos por concepto de energía en España.



**Grafico 4.6:** Comparación del valor actual de las luminarias señaladas, considerando los costos por concepto de energía en México.

## 4.5 CORRIDA PILOTO EN DIALUX

A continuación se realizara una simulación con las características de la Av. Monseñor Adams a través del software Dialux, con el fin de ilustrar una representación fotométrica de las luminarias convencionales y luminaria tipo LED, se obtendrán resultados de la norma ANSI/IESNA RP-8 y de la C.I.E para obtener un análisis luminotécnico más global.

### 4.5.1 Corrida en la Av. Monseñor Adams

#### 4.5.1.1 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC

Corrida piloto Tests

Universidad de Carabobo



**DIALux**  
24.04.2012

Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

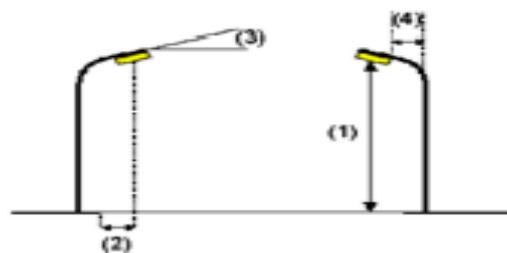
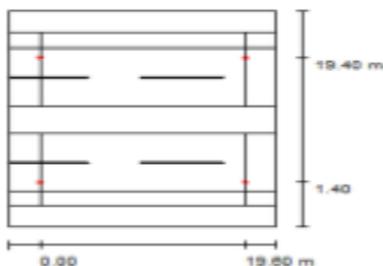
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arco central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.95

#### Disposiciones de las luminarias



#### Luminaria:

Flujo luminoso (Luminaria):	9599 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	9599 lm
Potencia de las luminarias:	157.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	19.600 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	6.662 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

GE LIGHTING SOLUTIONS [www.gelighting.com](http://www.gelighting.com) ERMC\_A360A\_EVOLVE ROADWAY MED COBRAHEAD ROADWAY MEDIUM

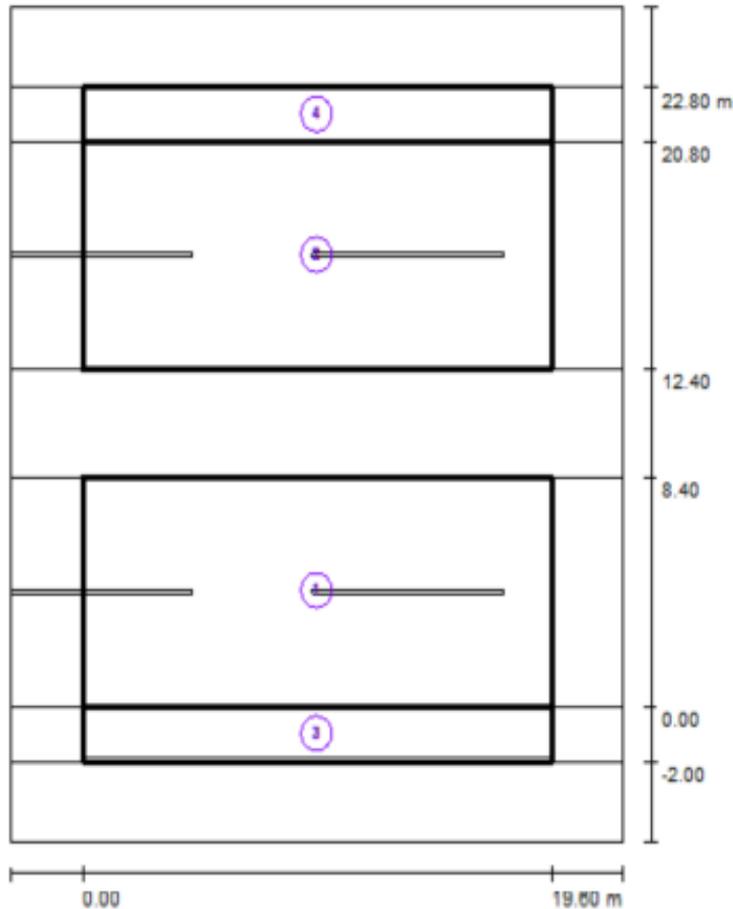
Valores máximos de la Intensidad luminica  
con 70°: 514 cd/kim  
con 80°: 147 cd/kim  
con 90°: 0.00 cd/kim

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna Intensidad luminica por encima de 90°. La disposición cumple con la clase de Intensidad luminica G2.

La disposición cumple con la clase del Índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.95

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	38.0	1.6	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Lista del recuadro de evaluación

### 2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	38.0	1.6	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

### 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	14.9	1.6	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

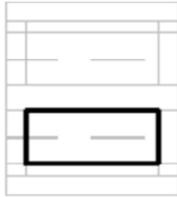
### 4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	14.9	1.6	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	38	28	38
4.200	<u>56</u>	30	<u>56</u>
1.400	37	<u>23</u>	37
<b>m</b>	<b>3.267</b>	<b>9.800</b>	<b>16.333</b>

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
38	23	56	0.610	0.414

## Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

### Lista del recuadro de evaluación

**1 Recuadro de evaluación Calzada 1**

Longitud: 16.100 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.82	0.76	0.93	8	0.64
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**2 Recuadro de evaluación Calzada 2**

Longitud: 16.100 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

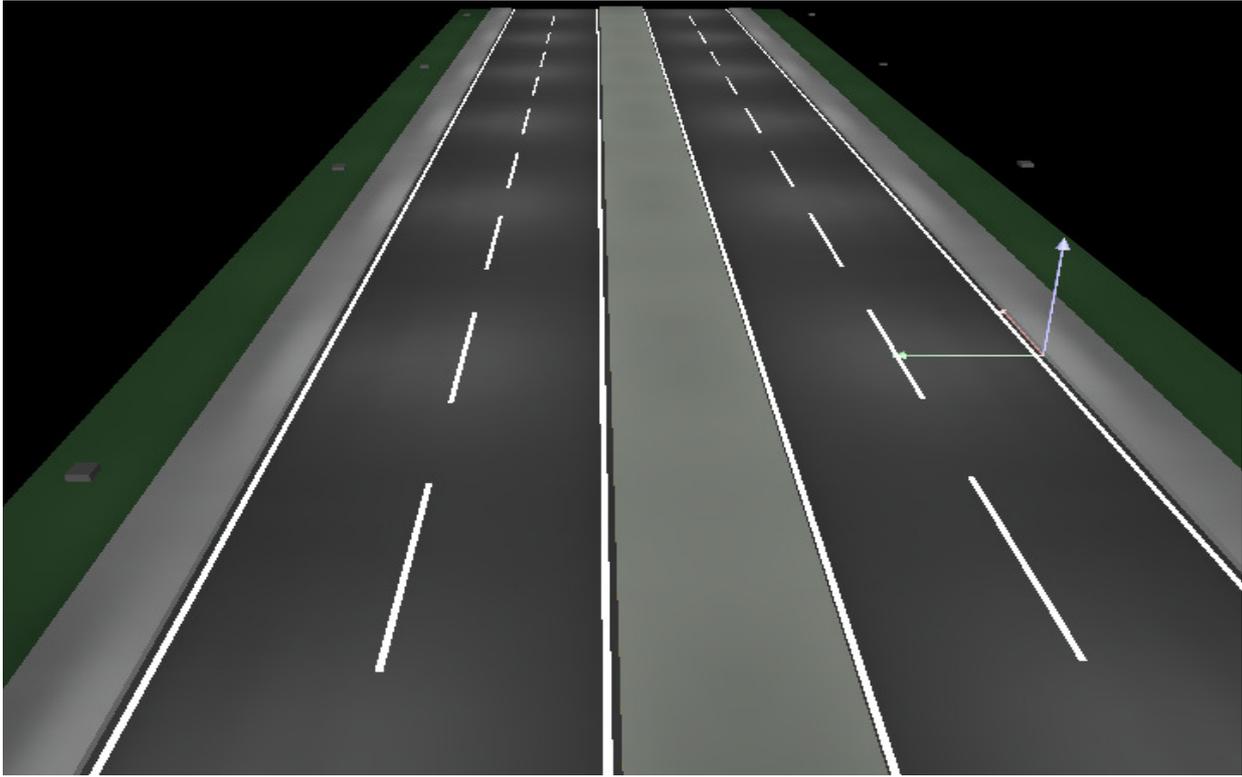
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

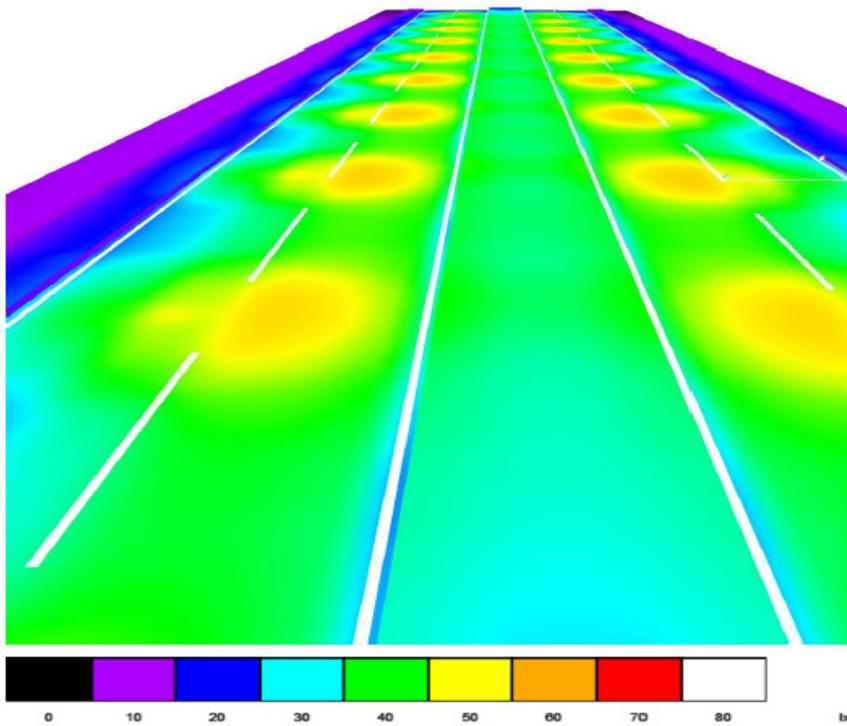
Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.82	0.76	0.93	8	0.64
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓



Av Monseñor Adams CIE / Rendering (procesado) de colores falsos



#### 4.5.1.2 Luminaria GE M-250A2 Sodio Alta Presión (SAP)

Corrida piloto Teles

Universidad de Carabobo



Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

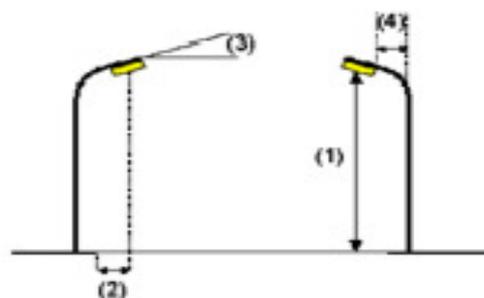
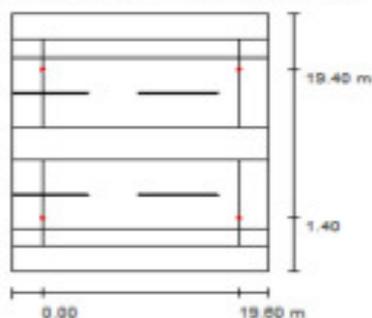
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.57

#### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:

Flujo luminoso (Luminaria):	20923 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	28000 lm
Potencia de las luminarias:	305.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	19.600 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	6.909 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

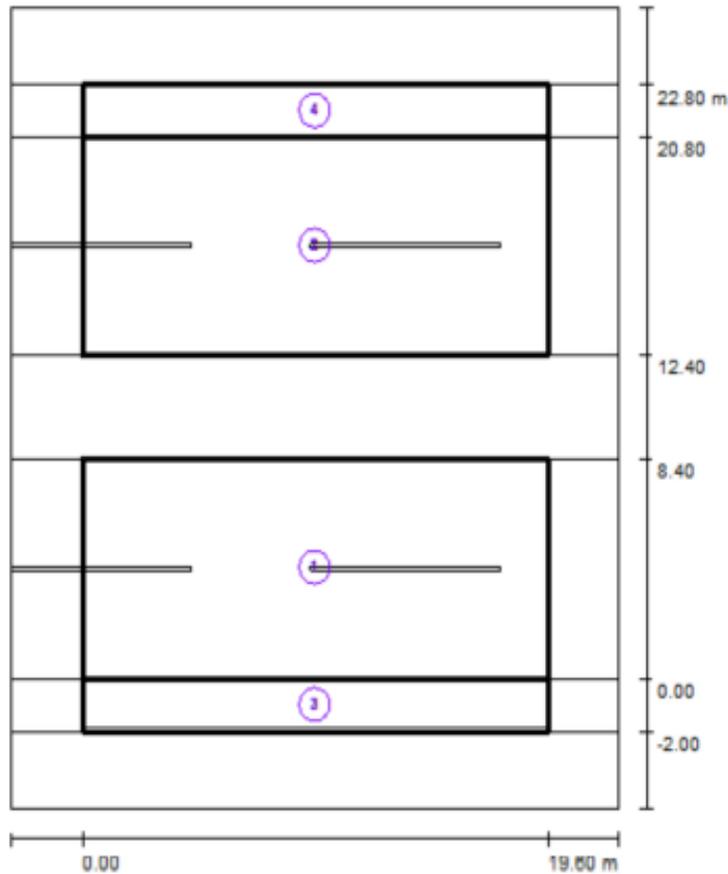
GE LIGHTING SOLUTIONS [www.gelightingsolutions.com](http://www.gelightingsolutions.com) M2AR25S\_\_GMS2\_M-250A2 POWR DOOR

Valores máximos de la intensidad luminica	
con 70°:	581 cd/klm
con 80°:	154 cd/klm
con 90°:	31 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad luminica por encima de 90°. La disposición cumple con la clase de Intensidad luminica G1. La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v,max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	52.0	1.6	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Calzada 2  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	52.1	1.6	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

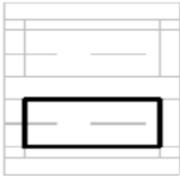
	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	25.0	1.4	0.3
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	25.0	1.4	0.3
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	<u>32</u>	35	<u>32</u>
4.200	63	47	63
1.400	<u>77</u>	43	<u>77</u>
m	3.267	9.800	16.333

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
52	32	77	0.607	0.408

Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

Lista del recuadro de evaluación

1 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	4.16	0.41	0.83	28	0.43
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✗

2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

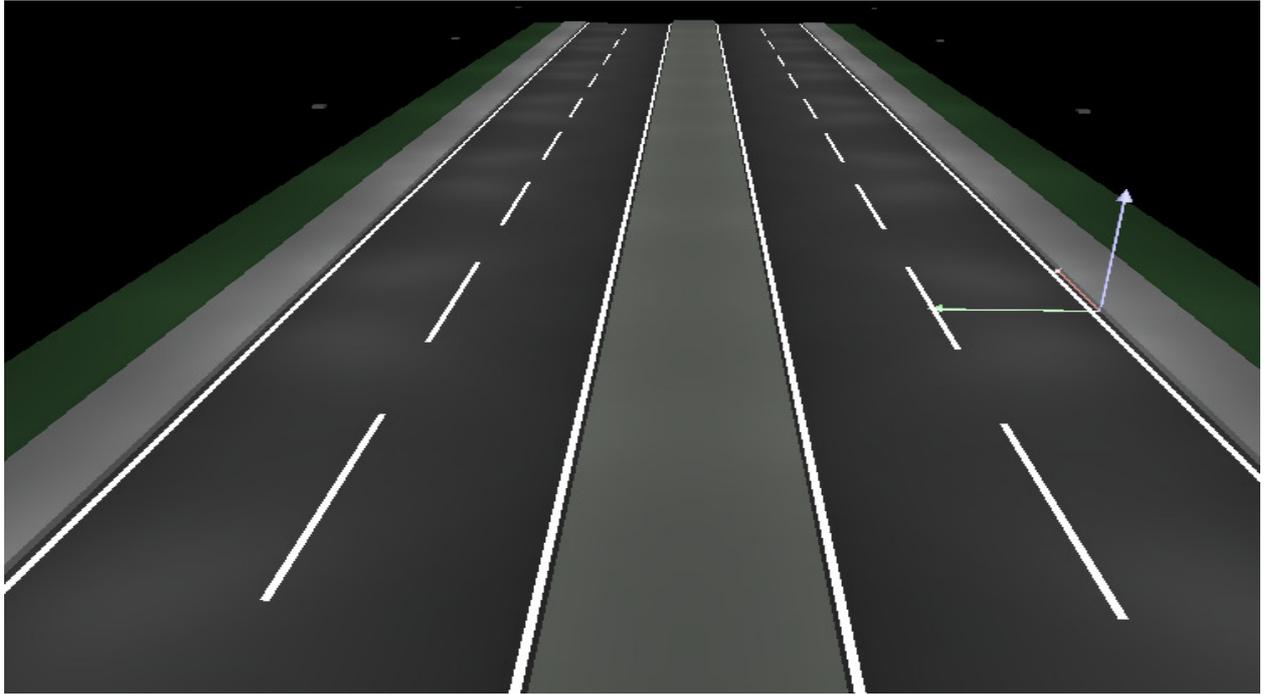
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

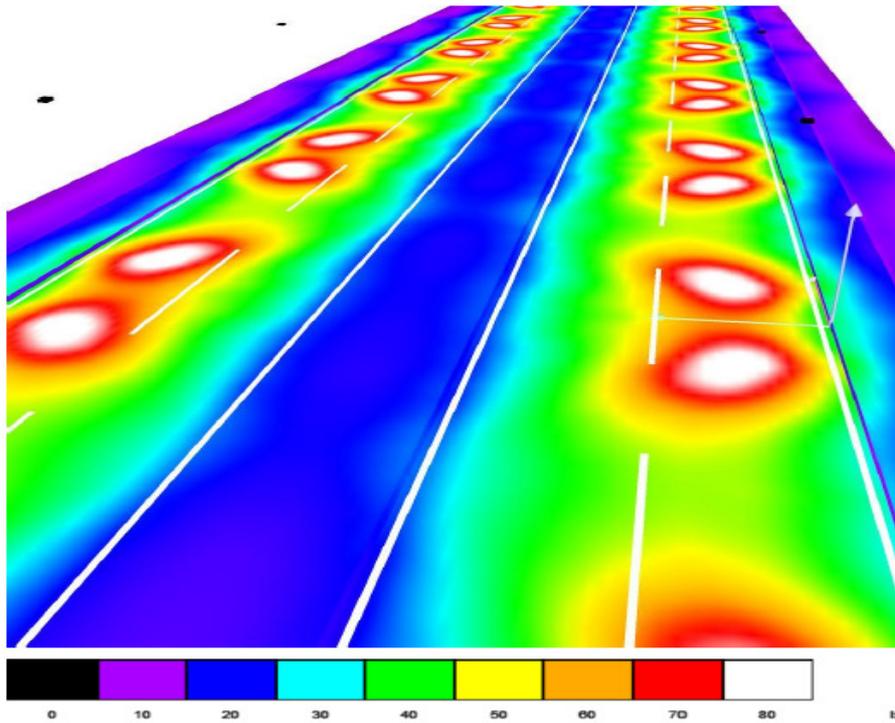
Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	4.20	0.41	0.83	28	0.43
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✗



Av Monseñor Adams / Rendering (procesado) de colores falsos



### 4.5.1.3 Luminaria GE M-250A2 Metal Halide (MH)

Corrida piloto Teala

Universidad de Carabobo



Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

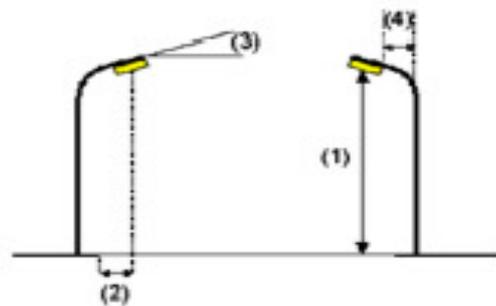
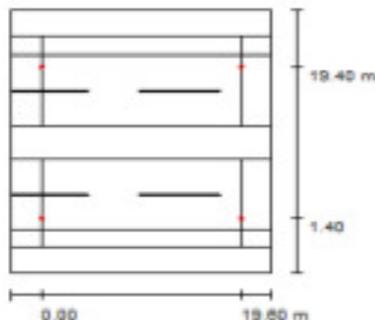
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R.3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R.3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.57

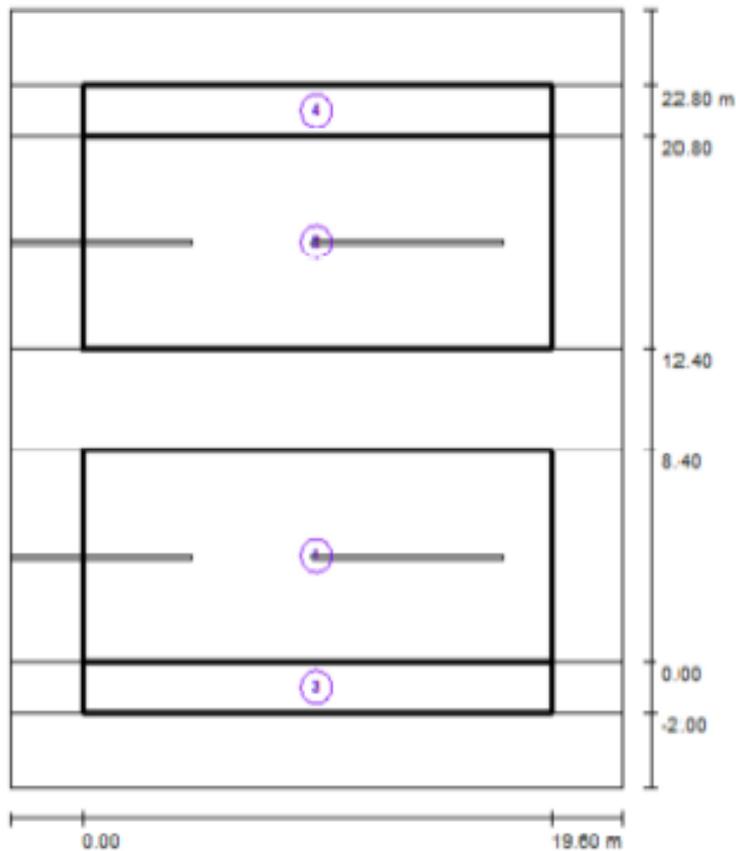
#### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	GE LIGHTING SOLUTIONS <a href="http://www.gelightingolutions.com">www.gelightingolutions.com</a> M2AR25M___GMS2_
Flujo luminoso (Luminaria):	13690 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	19100 lm
Potencia de las luminarias:	290.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	19.600 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	6.909 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

Valores máximos de la intensidad luminica  
 con 70°: 654 cd/km  
 con 80°: 112 cd/km  
 con 90°: 24 cd/km  
 Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).  
 Ninguna intensidad luminica por encima de 90°.  
 La disposición cumple con la clase de intensidad luminica G2.  
 La disposición cumple con la clase del indice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:  
 Valores de consigna según clase:  
 Cumplido/No cumplido:

$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
33.8	1.5	0.2
$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
✓	✓	✓

2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
Trama: 3 x 3 Puntos  
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	33.8	1.5	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
Trama: 10 x 2 Puntos  
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.  
Revestimiento de la calzada: , q0:  
Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	13.8	1.4	0.3
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

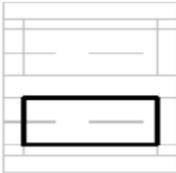
4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
Trama: 10 x 2 Puntos  
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.  
Revestimiento de la calzada: , q0:  
Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	13.8	1.4	0.3
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	<u>22</u>	24	<u>22</u>
4.200	43	35	43
1.400	<u>44</u>	27	<u>44</u>
m	3.267	9.800	16.333

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
34	22	44	0.665	0.514

### Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

#### Lista del recuadro de evaluación

**1** Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.50	0.47	0.82	20	0.41
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✗

**2** Recuadro de evaluación Calzada 2

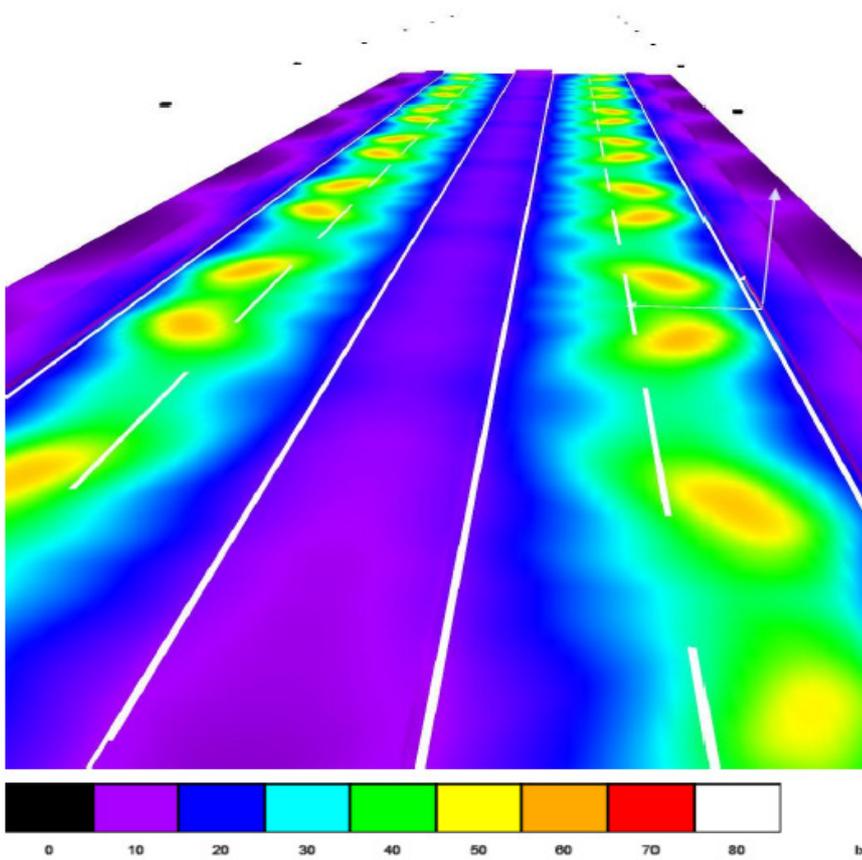
Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.51	0.47	0.82	20	0.41
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✗



Av Monseñor Adams / Rendering (procesado) de colores falsos



#### 4.5.1.4 Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (SAP)

Corrida piloto Testis

Universidad de Carabobo



**DIALux**

12/04/2012

Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

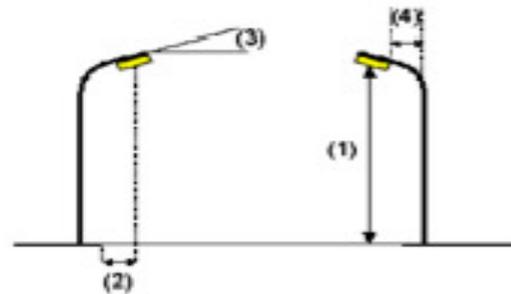
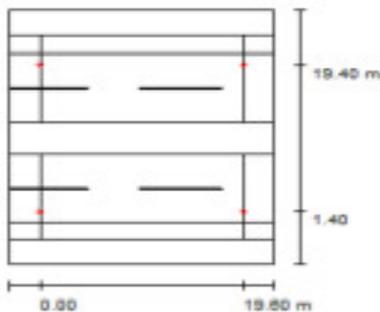
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.57

#### Disposiciones de las luminarias



#### Luminaria:

Flujo luminoso (Luminaria):	36287 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	51000 lm
Potencia de las luminarias:	468.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	19.600 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	6.848 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

GE LIGHTING SOLUTIONS [www.gelightsolutions.com](http://www.gelightsolutions.com) M\_RL40S\_RMS2\_

Valores máximos de la Intensidad luminica	
con 70°:	352 cd/kim
con 80°:	128 cd/kim
con 90°:	12 cd/kim

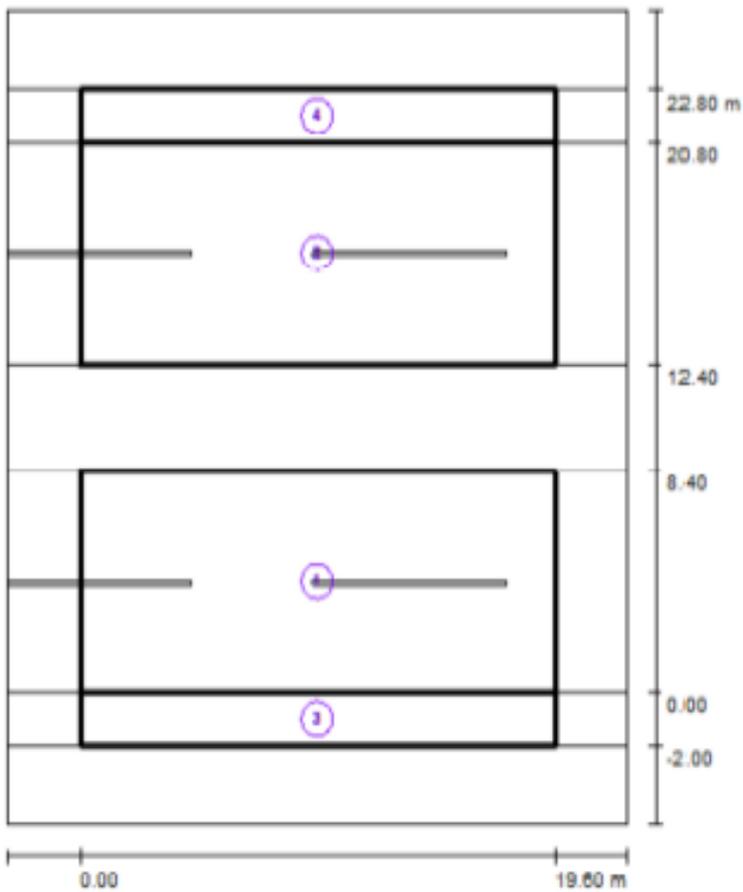
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas apas para el funcionamiento).

Ninguna Intensidad luminica por encima de 90°.

La disposición cumple con la clase de Intensidad luminica G2.

La disposición cumple con la clase del Índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	74.2	1.5	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Método IES: Illuminance

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	74.3	1.5	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 2 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Revestimiento de la calzada: , q0:

Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Método IES: Illuminance

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	64.1	1.4	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 2 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Revestimiento de la calzada: , q0:

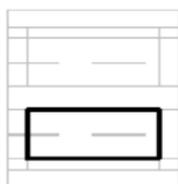
Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Método IES: Illuminance

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	64.1	1.4	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	55	<u>50</u>	55
4.200	90	69	90
1.400	<u>98</u>	63	<u>98</u>
m	3.267	9.800	16.333

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
74	50	98	0.667	0.503

## Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

### Lista del recuadro de evaluación

#### 1 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	5.98	0.44	0.85	/	0.67
Valores de consigna según clase:	$\geq 1.00$	$\geq 0.40$	$\geq 0.50$	$\leq 15$	$\geq 0.50$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	/	✓

#### 2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

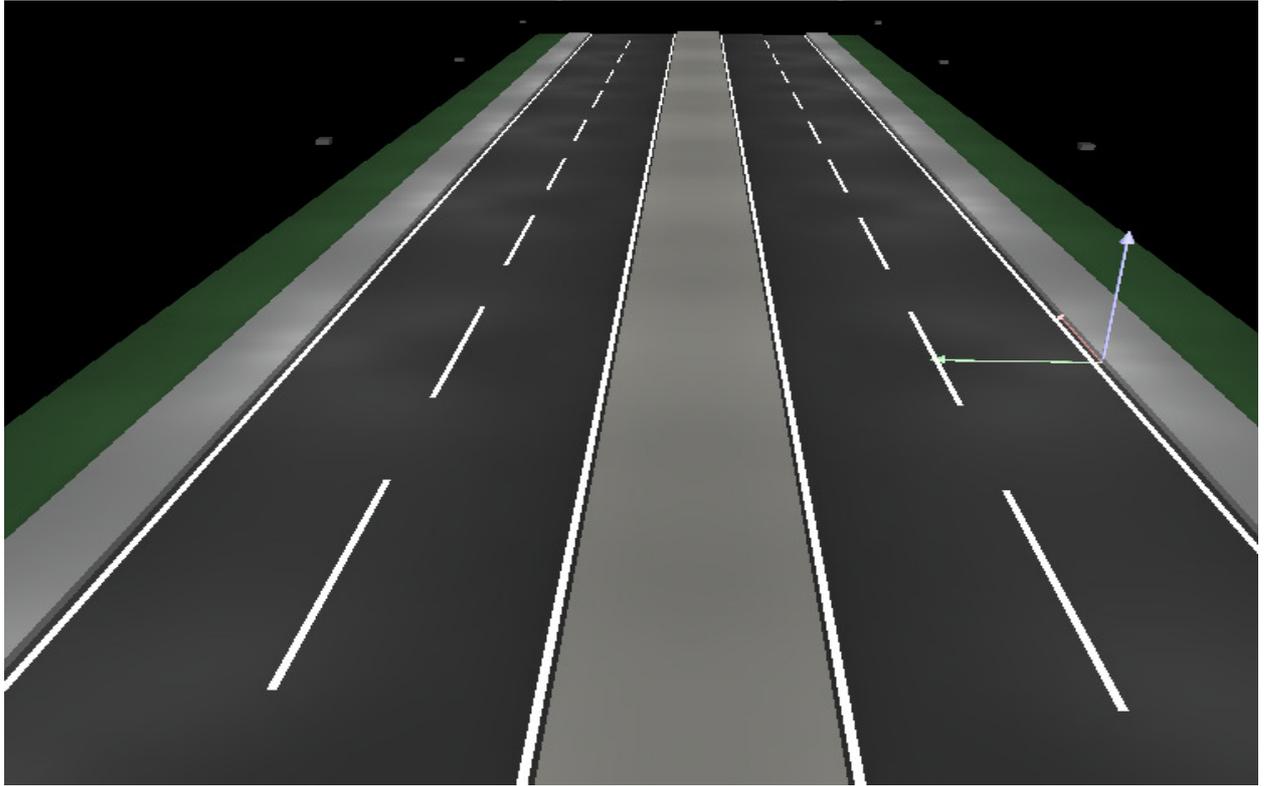
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070

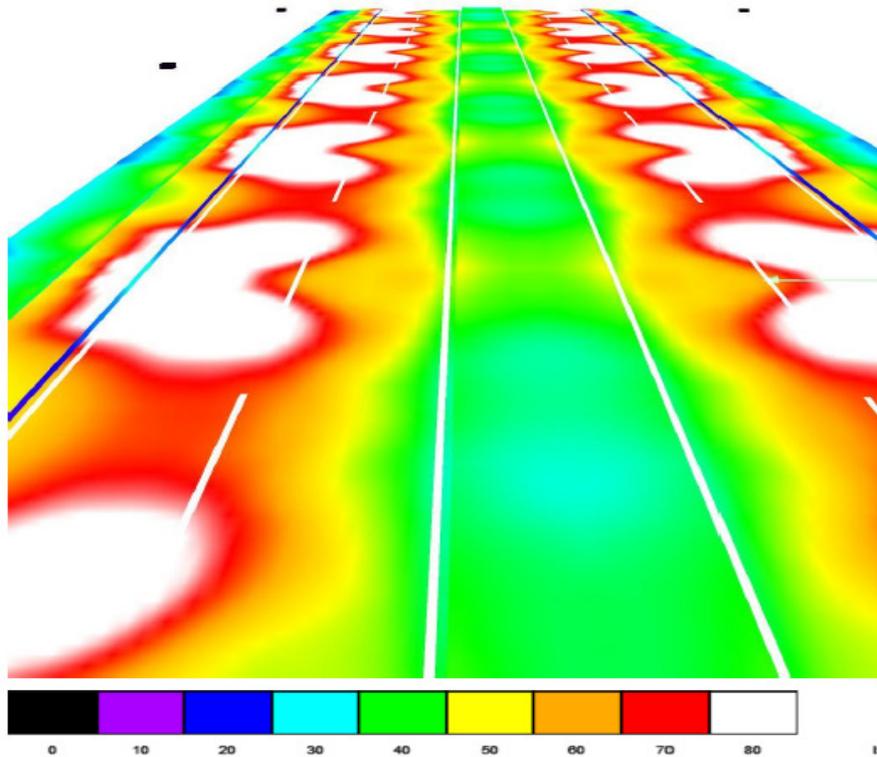
Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	6.05	0.43	0.85	/	0.67
Valores de consigna según clase:	$\geq 1.00$	$\geq 0.40$	$\geq 0.50$	$\leq 15$	$\geq 0.50$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	/	✓



Av Monseñor Adams / Rendering (procesado) de colores falsos



#### 4.5.1.5 Luminaria GE M-400 Metal Halide (MH)

Corrida piloto Teels

Universidad de Carabobo



**DIALux**

12.04.2012

Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

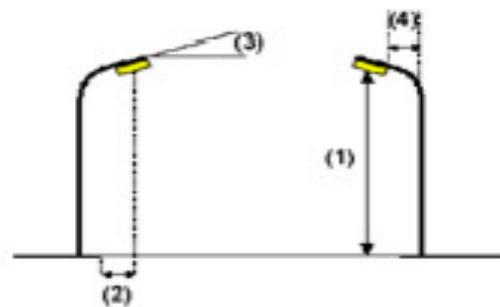
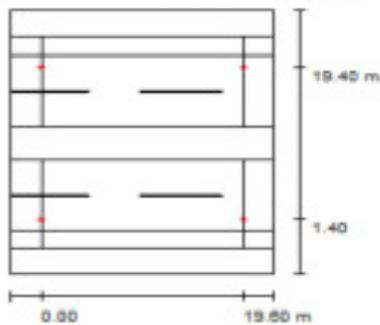
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.57

#### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	GE LIGHTING SOLUTIONS <a href="http://www.gelightingsolutions.com">www.gelightingsolutions.com</a> M_RL40M___RMS2
Flujo luminoso (Luminaria):	22044 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	33100 lm
Potencia de las luminarias:	459.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	19.600 m
Altura de montaje (1):	7.000 m
Altura del punto de luz:	6.848 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

#### Valores máximos de la Intensidad luminica

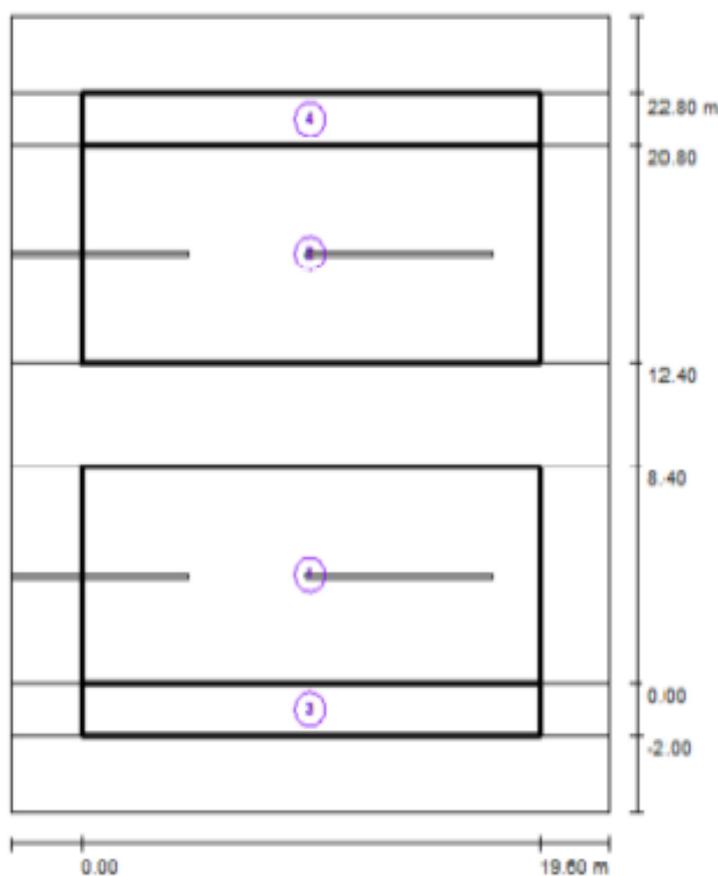
con 70°:	285 cd/klm
con 80°:	135 cd/klm
con 90°:	12 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna Intensidad luminica por encima de 90°. La disposición cumple con la clase de Intensidad luminica G2.

La disposición cumple con la clase del Índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_v \max/L_m$
Valores reales según cálculo:	45.7	1.6	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Calzada 2  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	45.7	1.6	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

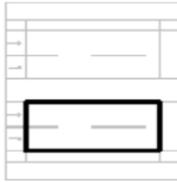
	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	38.1	1.3	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2  
 Longitud: 19.600 m, Anchura: 2.000 m  
 Trama: 10 x 2 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.  
 Revestimiento de la calzada: , q0:  
 Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	38.1	1.3	0.2
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Av Monseñor Adams CIE / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	31	<u>28</u>	31
4.200	58	44	58
1.400	<u>63</u>	37	<u>63</u>
m	3.267	9.800	16.333

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
46	28	63	0.607	0.442

## Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

### Lista del recuadro de evaluación

#### 1 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	3.46	0.44	0.90	19	0.65
Valores de consigna según clase:	$\geq 1.00$	$\geq 0.40$	$\geq 0.50$	$\leq 15$	$\geq 0.50$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✓

#### 2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3,  $q_0$ : 0.070

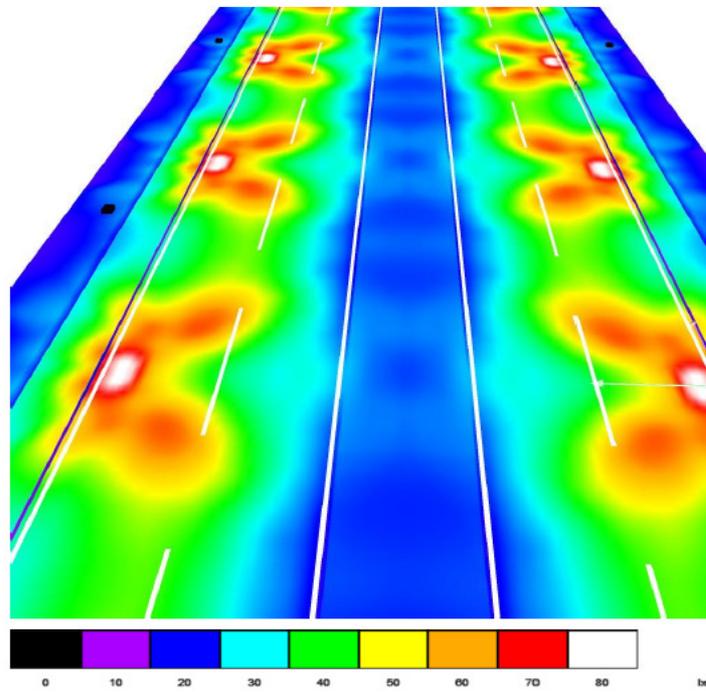
Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	3.46	0.44	0.90	19	0.65
Valores de consigna según clase:	$\geq 1.00$	$\geq 0.40$	$\geq 0.50$	$\leq 15$	$\geq 0.50$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✗	✓



Av Monseñor Adams / Rendering (procesado) de colores falsos



## 4.5.2 Corrida en la Av. Monseñor Adams (recomendado)

### 4.5.2.1 Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERM C

Corrida piloto Tests

Universidad de Carabobo



**DIALux**  
07.05.2012

Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Av Monseñor Adams / Datos de planificación

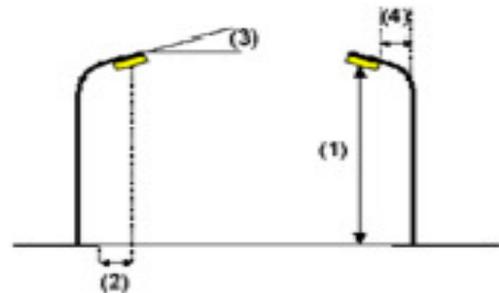
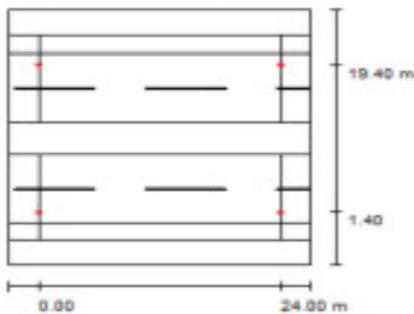
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

#### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.95

#### Disposiciones de las luminarias



#### Luminaria:

Flujo luminoso (Luminaria):	9599 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	9599 lm
Potencia de las luminarias:	157.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	24.000 m
Altura de montaje (1):	12.000 m
Altura del punto de luz:	11.882 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

GE LIGHTING SOLUTIONS [www.gelightingsolutions.com](http://www.gelightingsolutions.com) ERM C\_A360A\_\_  
EVOLVE ROADWAY MED COBRAHEAD ROADWAY MEDIUM

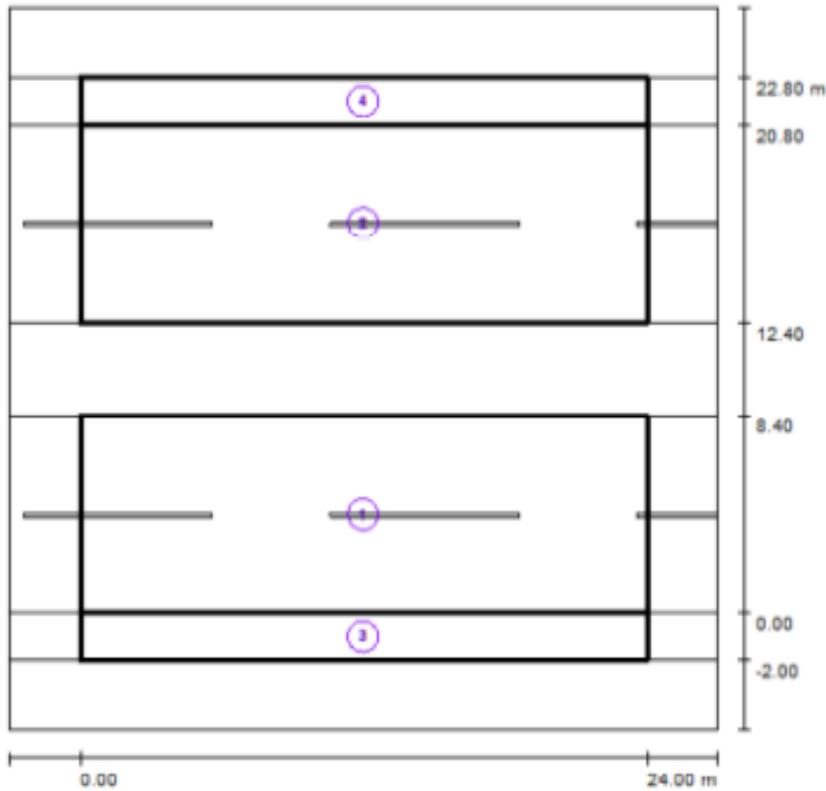
Valores máximos de la intensidad luminica	
con 70°:	514 cd/kim
con 80°:	147 cd/kim
con 90°:	0.00 cd/kim

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

Ninguna intensidad luminica por encima de 90°. La disposición cumple con la clase de Intensidad luminica G2.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.95

Escala 1:286

### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, qD: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_v \max/L_m$
Valores reales según cálculo:	24.0	1.5	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m

Trama: 3 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.

Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	24.0	1.5	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 24.000 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 2 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Revestimiento de la calzada: , q0:

Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.

Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	12.4	1.2	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 24.000 m, Anchura: 2.000 m

Trama: 10 x 2 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Revestimiento de la calzada: , q0:

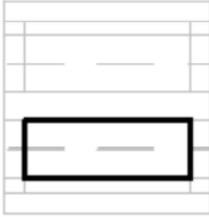
Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.

Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$
Valores reales según cálculo:	12.4	1.2	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

## Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	<u>31</u>	25	<u>31</u>
4.200	27	20	27
1.400	20	<u>16</u>	20
m	4.000	12.000	20.000

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
24	16	31	0.671	0.514

### Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

**1** Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.66	0.85	0.95	7	0.83
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**2** Recuadro de evaluación Calzada 2

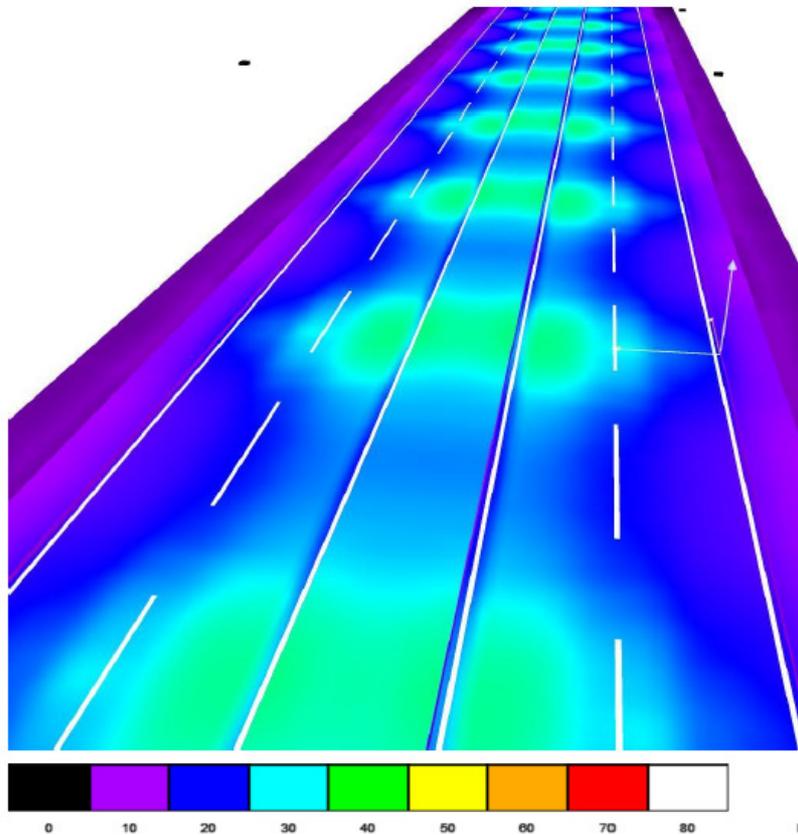
Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.66	0.85	0.95	7	0.83
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓



Av Monseñor Adams CIE / Rendering (procesado) de colores falsos



### 4.5.3 Resumen

Luminarias	Lm (Cd/m <sup>2</sup> ) ≥ 1	U <sub>0</sub> ≥ 0.40	UI ≥ 0.5	TI (%) ≤ 15	SR ≥ 0.5
M-250 SAP-250W	4.16	0.41	0.83	26	0.43
M-250 HM-250W	2.5	0.47	0.82	20	0.41
M-400 SAP-400W	5.98	0.44	0.85	/	0.67
M-400 HM-400W	3.46	0.44	0.90	19	0.65
LED	2.82	0.76	0.93	8	0.64
LED recomendado	1.66	0.85	0.95	7	0.83

**Tabla 4.16:** Tabla resumen de la comparación luminotécnica entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED a través del software Dialux (C.I.E)

Una de las grandes ventajas en la utilización de la tecnología LED está en el hecho de que su respuesta espectral esta sintonizada con la sensibilidad del ojo humano en la región mesópica, lo que potencia de forma clara y significativa su desempeño.

Los niveles de luminancia en cuestión son aproximadamente los siguientes:

- Modo fotópico-  $L \geq 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo mesópico-  $0,01 < L < 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo escotópico-  $L \leq 0,01 \text{ cd/m}^2$

Luminarias	Em (Lux) ≥ 17	Em/Emin ≤ 3	Lvmax/Lm ≤ 0.3
M-250 SAP-250W	52	1.6	0.2
M-250 HM-250W	33.8	1.5	0.2
M-400 SAP-400W	74.2	1.5	0.1
M-400 HM-400W	45.7	1.6	0.1
LED	38	1.6	0.1
LED recomendado	24	1.5	0.1

**Tabla 4.17:** Tabla resumen de la comparación luminotécnica entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED a través del software Dialux (ANSI/IEEE RP-8)

En términos de luminancia se puede observar en la **tabla 4.16**, las luminarias convencionales a base de sodio a alta presión que son ampliamente mayores a las LED colocándose en la zona de visión fotópica lo cual hace que en términos de percepción visual sobre la calzada sea más baja que la de los LED consiguiéndose en esta un mejor desempeño al igual que la luminaria M-250 de halogenuros metálicos en cambio la luminaria M-400 del mismo material están en el umbral entre la zona mesópica y fotópica lo que hace cuestionable su desempeño.

En las otras variables como la uniformidad general y la longitudinal están muy por debajo de las luminarias planteadas sin embargo cumplen con las normativas CIE para el tipo de vía donde se desarrolla el estudio. Cabe destacar que solo dos variables de estudios como el índice de deslumbramiento fisiológico (TI %) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR) no

son cumplidas por las luminarias convencionales en el primer parámetro y por las M-250 en el segundo parámetro respectivamente, donde el índice de deslumbramiento es un parámetro importante para la seguridad y comodidad del usuario.

En la **tabla 4.17** se observa que todas las variables de estudio cumplen la norma ANSI IEE-RP8 donde los valores en iluminancia de las convencionales son superiores a las LED y en uniformidad y confort ( $E_m/E_{min}$ ,  $L_{vmax}/L_m$ ), son mejores las luminarias LED.

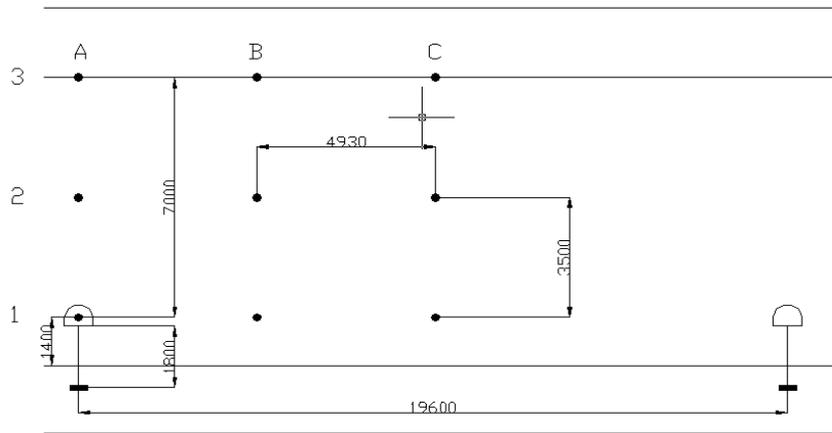
#### **4.6 MEDICIONES EN CAMPO**

La selección del área para realizar las mediciones de iluminancia en la calzada entre dos postes (donde están colocadas las iluminarias) utilizando un luxómetro, se hicieron en la av. Monseñor Adams. Donde se ejecuto una medición del “antes” (luminaria M-250 SAP) y una del “después” (Luminaria LED) con el fin de calcular la iluminancia promedio de la calzada ( $E_m$ ) y comprobarla haciendo uso el método de los nueve puntos con el fin de compararla con ambos sistemas de iluminación.

Lo primero que se hizo fue medir la distancia entre dos postes, el ancho de la calle, la distancia mástil-calzada y la distancia que hay entre la proyección de la luminaria hacia calzada y el extremo de la calle. Ya que la ubicación de los 9 puntos está distribuida dentro de la mitad de la distancia interpostal como se muestra en la **figura 4.42** se procedió a calcular la distancia que debe existir entre punto y punto.

#### 4.6.1 Vía con luminaria convencional

##### 4.6.1.1 Comprobación de los niveles de iluminancia a través del método de los nueve puntos



**Figura 4.42:** Representación de los 9 puntos sobre la calzada de la Av. Monseñor Adams vista desde la luminaria 1

	A	B	C
3	13	15	16
2	21	24	24
1	20	23	18

**Tabla 4.18:** Resultados de iluminancia obtenido en cada uno de los 9 puntos sobre la calzada

$$Em = \frac{1}{4} \times B_2 + \frac{1}{8} \times (A_2 + B_3 + B_1 + C_2) + \frac{1}{16} \times (A_3 + A_1 + C_3 + C_1) \quad (4.33)$$

$$Em = \frac{1}{4} \times 24 + \frac{1}{8} \times (21 + 15 + 23 + 24) + \frac{1}{16} \times (13 + 20 + 16 + 18)$$

$$Em = 20,56 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 13 \text{ lux} ; E_{max} = 24 \text{ lux}$$

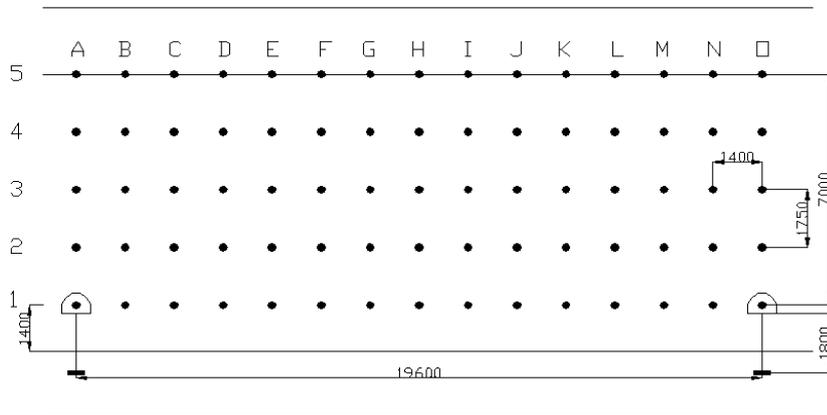
$$U_1 = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (4.34)$$

$$U_1 = \frac{13}{20,56} = 0,63$$

$$U_2 = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (4.35)$$

$$U_2 = \frac{13}{24} = 0,54$$

#### 4.6.1.2 Medición punto a punto con el luxómetro



**Figura 4.43:** Representación punto a punto sobre la calzada de la Av. Monseñor Adams

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	13	14	16	16	16	18	28	18	18	20	22	23	22	22	22
4	16	19	19	18	20	19	19	18	24	27	31	30	33	36	29
3	22	24	24	23	27	23	22	27	35	27	50	54	56	61	54
2	21	23	25	27	25	23	22	24	32	45	56	71	74	81	77
1	19	21	23	23	22	21	20	23	25	42	56	73	82	83	81

**Tabla 4.19:** Resultados de iluminancia obtenido en cada punto sobre la calzada

#### 4.6.2 Vía con luminaria LED (después)

##### 4.6.2.1 Comprobación de los niveles de iluminancia a través del método de los nueve puntos

	A	B	C
3	20	21	11
2	25	25	12
1	23	24	17

**Tabla 4.20:** Resultados de iluminancia obtenido en cada uno de los 9 puntos sobre la calzada

$$Em = \frac{1}{4} \times B_2 + \frac{1}{8} \times (A_2 + B_3 + B_1 + C_2) + \frac{1}{16} \times (A_3 + A_1 + C_3 + C_1) \quad (4.33)$$

$$Em = \frac{1}{4} \times 25 + \frac{1}{8} \times (25 + 21 + 24 + 12) + \frac{1}{16} \times (20 + 23 + 11 + 17)$$

$$Em = 20,94 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 11 \text{ lux} ; E_{max} = 25 \text{ lux}$$

$$U_1 = \frac{E_{min}}{Em} \quad (4.34) ; U_1 = \frac{11}{20,94} = 0,53$$

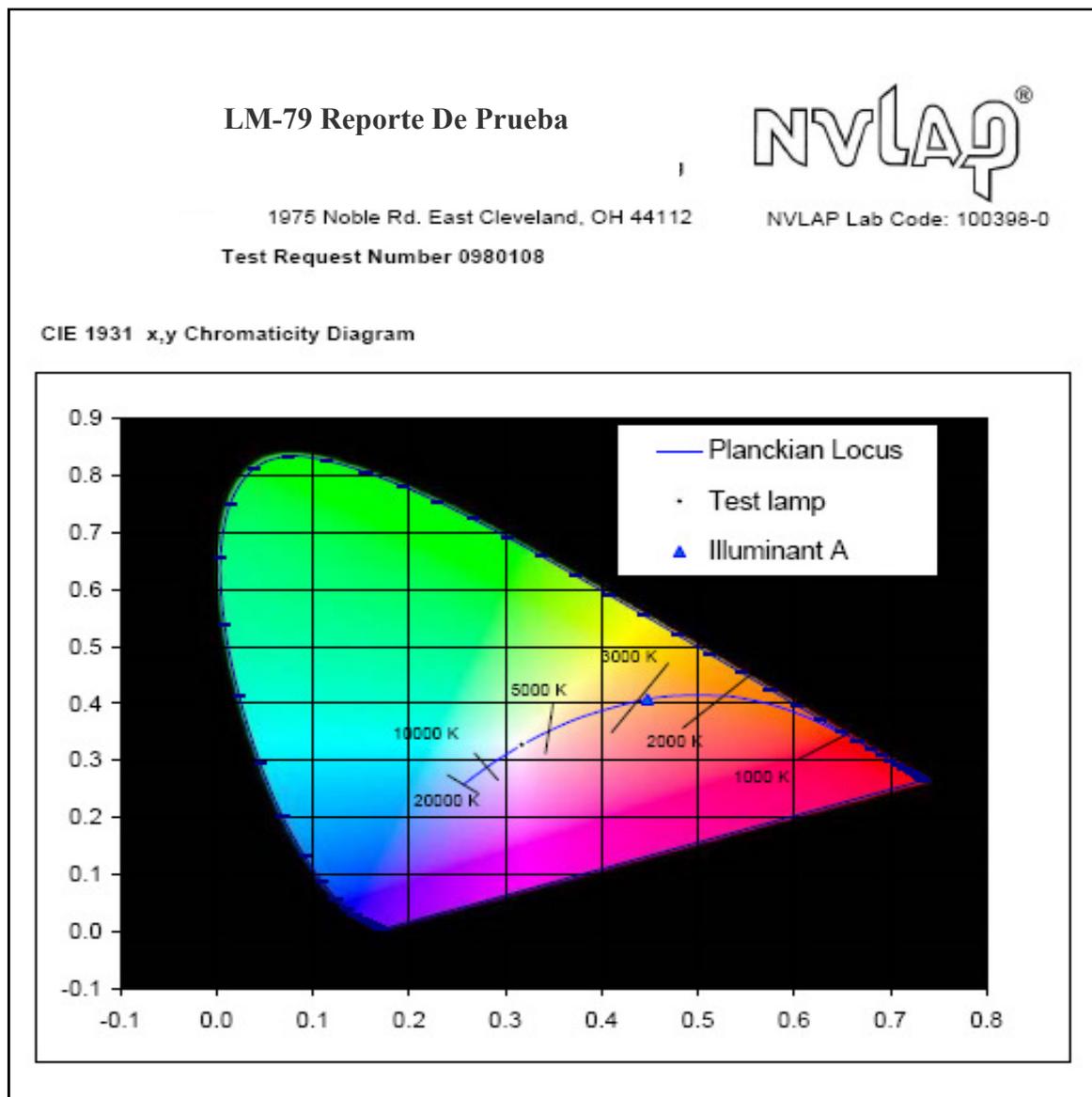
$$U_2 = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (4.35) ; U_2 = \frac{11}{25} = 0,44$$

Luminarias	Em (Lux) ≥ 17	U1 Emin/Em ≥ 0.30	U2 Emin/Emax ≥ 0.20	Em (Lux) Teórico	U1 Emin/Em Teórico	U2 Emin/Emax Teórico
M-250 SAP-250W	20.56	0.63	0.54	52	0.607	0.408
LED	20.94	0.53	0.44	38	0.61	0.414

**Tabla 4.21:** Cuadro comparativo de las mediciones realizadas (antes y después) contra las teóricas obtenidas en el software DIALUX

#### 4.7 PROTOCOLO DE PRUEBA LM-79 y LM-80

Este informe presenta los resultados fotométricos llevando a cabo todos los procedimientos necesarios para la ejecución de las mediciones realizados por equipos recomendados en la norma, con la finalidad de darle garantía a los datos característicos de la luminarias dándole mayor seguridad al momento de llevar a cabo un proyecto. Dicho resultados son los siguientes:



# LM-79 Reporte De Prueba



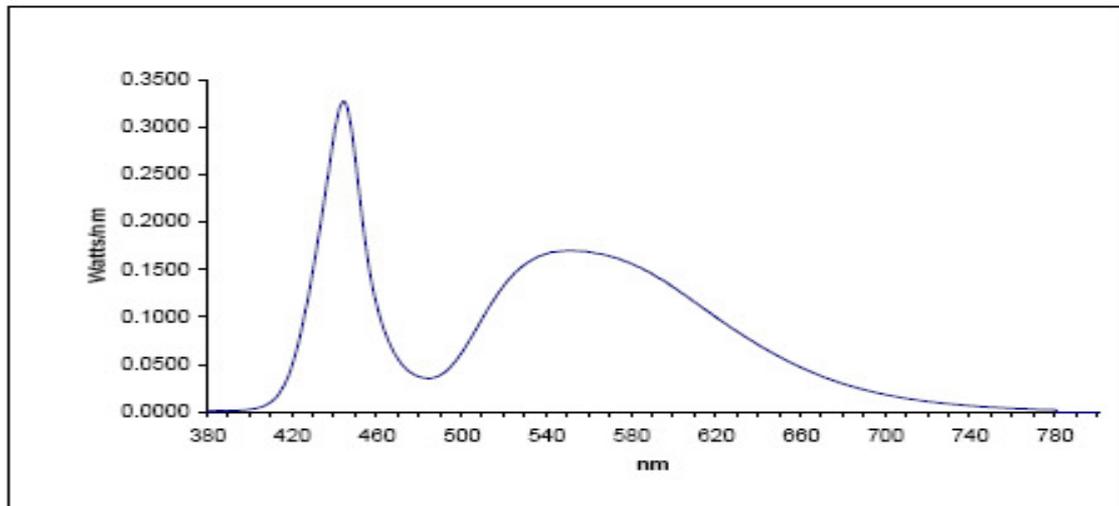
NVLAP Lab Code: 100398-0

Test Request Number 0900100

## Sphere Spectroradiometry Test Data:

Lamp Volts	Lamp Current	Lamp Watts	Power Factor	Lumens	LPW	CCX	CCY	u'	v'	Duv	CCT	CRI
277	0.585	154.2	0.95	10017.3	65.0	0.3173	0.3276	0.2016	0.4682	0.0003	6268	71.0

## Spectral Power Distribution



nm	Watts/nm								
380	0.00073	465	0.07623	550	0.17003	635	0.07723	720	0.01074
385	0.00072	470	0.05482	555	0.16959	640	0.07039	725	0.00931
390	0.00098	475	0.04258	560	0.16860	645	0.06386	730	0.00816
395	0.00139	480	0.03676	565	0.16674	650	0.05779	735	0.00712
400	0.00253	485	0.03507	570	0.16397	655	0.05191	740	0.00624
405	0.00473	490	0.03888	575	0.16040	660	0.04662	745	0.00528
410	0.01061	495	0.04849	580	0.15611	665	0.04178	750	0.00463
415	0.02404	500	0.06284	585	0.15141	670	0.03715	755	0.00398
420	0.05054	505	0.08093	590	0.14504	675	0.03312	760	0.00351
425	0.09555	510	0.10019	595	0.13854	680	0.02931	765	0.00295
430	0.15479	515	0.11821	600	0.13087	685	0.02603	770	0.00256
435	0.22410	520	0.13420	605	0.12349	690	0.02301	775	0.00218
440	0.29920	525	0.14717	610	0.11542	695	0.02031	780	0.00181
445	0.32642	530	0.15617	615	0.10750	700	0.01783		
450	0.25991	535	0.16292	620	0.09959	705	0.01585		
455	0.16839	540	0.16700	625	0.09173	710	0.01382		
460	0.11028	545	0.16915	630	0.08424	715	0.01222		

LM-79 Reporte De Prueba



g

12

NVLAP Lab Code: 100398-0

Goniometry Test Data:

---

Volts	Amps	Watts	Power Factor
277	0.5860	154.70	0.95

Flux Distribution

	Lumens	Percent of Luminaire
Downward Street Side	7378	73.8
Downward House Side	2619	26.2
Downward Total	9997	100
Upward Street Side	0	0
Upward House Side	0	0
Upward Total	0	0
<b>Total Flux</b>	<b>9997</b>	<b>100</b>

Lum. Classification System (LCS)

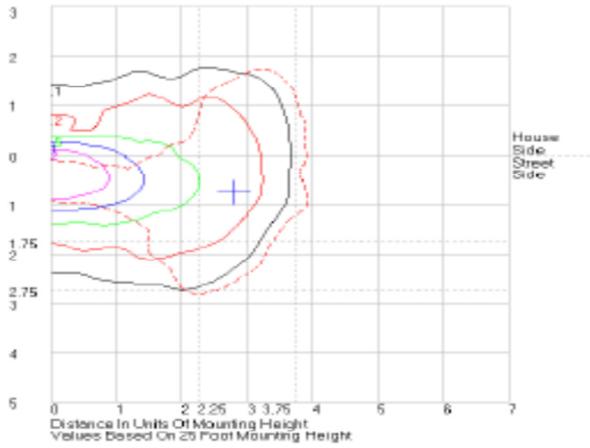
LCS Zone	Lumens	%Lum
FL (0-30)	1305.2	13.1
FM (30-60)	3473	34.7
FH (60-80)	2560.7	25.6
FVH (80-90)	39	0.4
BL (0-30)	426.6	4.3
BM (30-60)	834.9	8.4
BH (60-80)	1329.1	13.3
BVH (80-90)	28.6	0.3
UL (90-100)	0	0
UH (100-180)	0	0
<b>Total</b>	<b>9997</b>	<b>100</b>
<b>BUG Rating:</b>	<b>B3-U1-G3</b>	

# LM-79 Reporte De Prueba

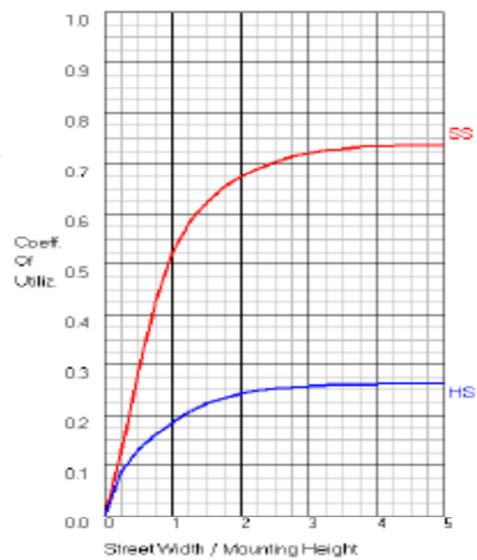


NVLAP Lab Code: 100398-0

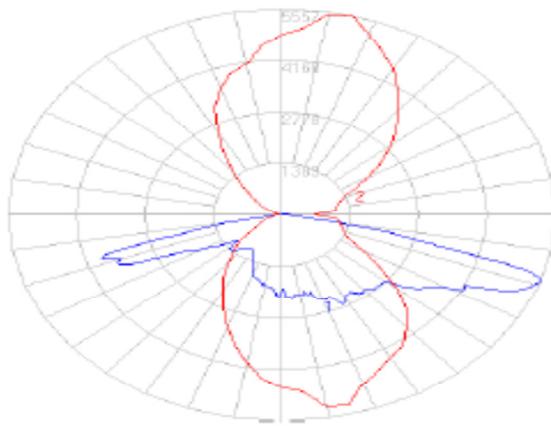
**Isolines (MH basis at 25 feet)**



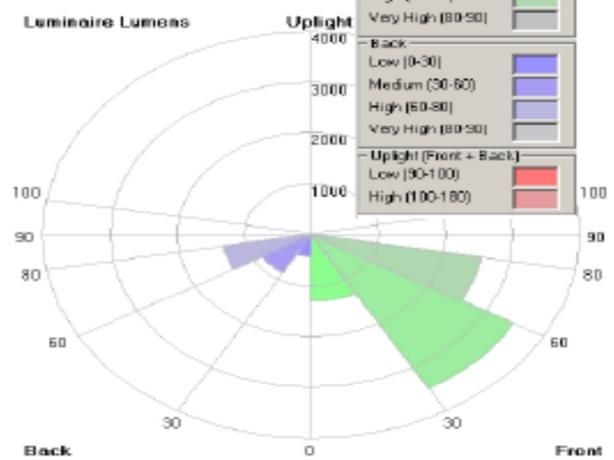
**Coefficient of Utilization Graph**



**Polar Curves**



**LCS Graph**



GE utiliza un enfoque de múltiples pasos para validar la conservación del flujo luminoso para nuestros productos. Realiza un mínimo de 6.000 horas de pruebas en el nivel LED en múltiples corrientes y temperaturas de unión, para confirmar lo expuesto en los datos de los reportes LM-80 o generar LM-80 de datos equivalente.

Buscar un nivel de Extrapolar las 6.000 horas de prueba de nivel de flujo luminoso, usando un modelo exponencial para determinar proyección. Compara los datos y establecer la forma de comprobar las tendencias. Y validar las proyecciones a largo plazo.

<b>Condición de la prueba</b>	<b>LM demostrados @ 6,000 hrs</b>	<b>Proyecciones exponenciales</b>
<b>System Level @ 25°C Ambient</b>	<b>96.1%</b>	<b>L85 &gt; 50,000 hrs</b>
<b>System Level @ 47°C Ambient</b>	<b>96.0%</b>	<b>L70 &gt; 50,000 hrs L85 &gt; 25,000 hrs</b>
<b>System Level @ 60°C Ambient</b>	<b>93.3%</b>	<b>L70 ~ 49,000 hrs</b>
<b>LED Level* @ T<sub>J</sub> of 67°C to 82°C</b>	<b>&gt;98.0%</b>	<b>L70 &gt; 50,000 hrs</b>

**Tabla 4.22:** Resumen de pruebas de Lúmenes en el tiempo

#### 4.8 TIPIFICACION DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACION PÚBLICA.

En este punto se hará referencia a los tipos de luminarias LED que podrán sustituir por las luminarias convencionales en el área de iluminación pública.

Luminarias LED	Luminarias convencional	Descripción
 <p><b>Evolve Cobrahead ERM</b> <b>157 W</b></p>	 <p><b>M-250 SAP, HM</b> <b>150, 250 W</b></p>  <p><b>M-400 SAP, HM</b> <b>250, 400 W</b></p>	<p>Esta tipificación está recomendada para vías secundarias y locales en un entorno urbano y rural cumpliendo las normativas internacionales en el aspecto luminotécnico y energético una de las desventajas que tiene la iluminación LED es que el flujo luminoso es menor con respecto al flujo de las convencionales, sin embargo aun así cumple las normas y con mejor características debido a su diseño.</p>
 <p><b>Evolve area light EAMT</b> <b>94, 132 y 270W</b></p>	 <p><b>CRITERION AREA LIGHTING</b> <b>250,320,400 W</b></p>	<p>Esta luminarias son para cubrir espacios de gran areas como estacionamientos aun es necesario el estudio luminotécnico energético y económico para demostrar que la luminarias LED representan el remplazo de la convencional</p>
 <p><b>Evolve™ LED Area Light - Contemporary Domed</b> <b>95W</b></p>		
 <p><b>Evolve LED Floyd Light EASM</b> <b>202 W</b></p>	 <p><b>Decaflood 400</b> <b>250,400 W</b></p>	<p>Reflectores para paredes y pasos subterráneos aun falta su estudio comparativo.</p>

Luminarias LED	Luminarias convencional	Descripción
 <p data-bbox="165 479 486 555"><b>Avery Street Dreams EPAS</b> <b>86 W</b></p>	 <p data-bbox="571 533 935 609"><b>Luminaria de montaje en poste</b> <b>100,150 W</b></p>	<p data-bbox="978 416 1382 537">Luminarias decorativas para parques y plazas aun falta su estudio comparativo.</p>
 <p data-bbox="142 864 512 918"><b>Evolve LED Flood Light EFMU</b> <b>90W</b></p>	 <p data-bbox="572 882 932 958"><b>Luminaria para túnel GUARD</b> <b>200,250 W</b></p>	<p data-bbox="978 721 1382 842">Luminarias para paso subterráneo y túneles aun falta su estudio comparativo.</p>

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES

- Hasta hace poco años las luminarias para alumbrado público ya estaban prácticamente tipificadas, es decir, para cada tipo de área a ser iluminada (parque, plazas, estacionamiento, calles, entre otros), bajo las normas establecidas para alumbrado en exterior, existía ya una luminaria. Esto en la actualidad está comenzando a cambiar debido a la tecnología LED en alumbrado público permitiendo una mejora en cuanto a sus características fotométricas y pudiendo garantizar un mayor ahorro de un 43% en cuanto energía con respecto a luminarias de 250 W y larga duración de vida útil con una relación 1 a 3 en comparación a las luminarias convencionales.
- Con la llegada de esta nueva Tecnología LED se hizo necesario crear normas que pudieran, de alguna manera, medir y evaluar a estas luminarias ya que tienen diferentes requisitos de funcionamiento y temperatura que las otras fuentes de luz tradicionales (incandescente, HID, inducción, entre otras). Las normas que permiten dar un informe acerca de las características luminotécnicas de la luminaria LED para alumbrado público son la LM-79 y LM-80 y estas representan procedimientos a seguir en la medición de las variables de interés de las luminarias con el fin de garantizar los datos nominales suministrados por el fabricante.
- La luminaria tipo LED presentan una menor eficacia que las luminaria que utilizan lámparas de vapor de sodio de alta presión pero lo compensan dirigiendo su flujo luminoso mayormente al área que requiera ser iluminada logrando que a menor potencia mejor direccionamiento del flujo.
- La luminaria tipo LED cuenta con una mayor temperatura de color e IRC, comparándose con la lámpara de halogenuro metálicos, permitiendo así un mayor reconocimiento de los colores.

- La larga duración de la vida útil de la luminaria tipo LED permite una mejor mantenibilidad y disminución de costos operacionales.
- Actualmente el costo de la luminaria LED GE Evolve Cobrahead ERMC es muy elevado, de aproximadamente 3 veces mayor que el costo de una luminaria convencional esto trajo como consecuencia que la rentabilidad de implementar esta tecnología en Venezuela es afectada con gran relevancia.
- Los costos operacionales por concepto de energía son reducidos entre un 43% y un 65% al comparar cualquier tipo de luminaria convencional con la luminaria tipo LED.
- Al realizar el cálculo del valor actual para un proyecto donde las luminarias convencionales ya estaban colocadas en la av. Monseñor Adams, serian renovadas por las de LED, resultando ser mayor el valor actual de la luminaria tipo LED debido principalmente a su alto costo inicial lo que indica que su rentabilidad económica es menor al caso de realizársele un excelente mantenimiento al alumbrado de la zona en un periodo de estudio de 12 años y aun así los costos operacionales como mínimo se reducen en un 53%. Pero al considerarlo nuevamente con precios de energía de México y España la situación cambia a favor de la luminaria tipo LED ya que los costos operacionales por concepto de energía son mayores en una relación de 60 y 7 veces respectivamente, al precio de Venezuela. Concluyendo, que sería conveniente sustituir a las luminarias convencionales por luminarias LED debido a su ahorro energético y características fotométricas.
- Gracias al software Dialux pudimos simular el escenario de la Av. Monseñor Adams con cada tipo de luminaria bajo las normas de la ANSI/IEEE RP-8 y la C.I.E y así obtener una comparación fotométrica, resultando factible el uso de la luminaria tipo LED debido a su confort visual y resultados más ajustables a las normas bajo las condiciones descritas del perfil de la vía pública utilizada. Es decir, que la comparación fotométrica no se debe realizar únicamente en cuanto a términos de luminancia ya que no es la variable que da determinación al uso de una luminaria en una vía de estudio.

## RECOMENDACIONES

- El costo de la luminaria GE Evolve Cobrahead ERM C es muy elevado ya que es una tecnología nueva, actualmente, ya está por salir la luminaria Scalable Cobrahead la cual presentara mas opciones fotométricas para seguir cumpliendo las necesidades en iluminación y además tendrá precios mas competitivos en el mercado. Esto es producto de la evolución que tendrá estos equipos SSL en el campo de la iluminación de exterior.
- El uso de las luminarias LED representa una mayor reducción del deterioro del medio ambiente debido a la cantidad de CO<sub>2</sub> que se dejan de producir por energía en alumbrado público, acotando que en Venezuela la mayor fuente de generación proviene de medios hidroeléctricos y esta variable no es relevante, mas sin embargo está en la actualidad contribuye al ahorro energético debido a la fuerte crisis que en estos momentos atraviesa el país que ha permitido que en algunos casos se racione en términos de alumbrado público causando problemáticas como vandalismo, accidentes automovilísticos en las principales vías del país. De la misma forma otra problemática ambiental que se evita es la contaminación de mercurio sobre el subsuelo y los depósitos acuíferos ya que las luminarias LED al final de su vida útil no desechan este componente como las luminarias convencionales.
- Cuando los costos del suministro y colocación de la luminarias LED en alumbrado público en el área estudiada se encuentren por lo menos 2 veces mayor al costo en cuanto a la luminaria convencional económicamente la tecnología LED tiende a ser mas conveniente.
- Para certificar los datos de fábrica de una luminaria LED es necesario que estas sean sometidas a los procedimientos de medición descritos en la norma IESNA LM-79 y LM-80.
- Realizar análisis comparativo técnico-económico a las otras luminarias con tecnología LED que cubren las restantes áreas de iluminación pública.

- Mediante un método heurístico se pudo establecer la mejor ubicación para el funcionamiento óptimo de la luminaria tipo LED mediante el software Dialux, dicha ubicación está entre 20 y 24 metros de distancia interpostal a una altura de 12 metros, también se puede variar la distancia mástil calzada entre 0.4 y 2 metros para obtener una mejor uniformidad.

# **ANEXOS**











## A6. ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Obra:							
Partida:	S/R de Equipos de Luminaria M-250 Lampara SAP					Rendimiento:	20
<b>MATERIALES</b>							
Código	Descripción	Unidad	Canti.	Desp.	Precio	Total	
	Balastro para lampara 250W	Pz	1	0.00	196.00	196.00	
	Condensador para lampara 250W	Pz	1	0.00	32.00	32.00	
	Arrancador para lampara 250W	Pz	1	0.00	58.00	58.00	
	Socate para lampara 250 W	Pz	1	0.00	11.00	11.00	
	Lampara SAP 250W	Pz	1	0.00	91.00	91.00	
Total de Mat.							388.00
Costo U por mate..							388.00
<b>EQUIPOS</b>							
Código	Descripción	Canti.	Deprec.	Precio	Total		
	Camion Cesta	0.15	0.0	2,000.00	300.00		
	Equipo para cuadrilla	1	0.0	3,000.00	3,000.00		
Total equipos por día....						3,300.00	
Costo unitario por equipos....						165.00	
<b>Mano de Obra</b>							
Código	Descripción	Cantidad	Bonos	Jornal	Total		
	Liniero	1.00	0.00	100.00	100.00		
	Ayudante	1.00	0.00	58.00	58.00		
	Chofer de cesta	1.00	0.00	58.00	58.00		
Total de mano de obra por día..						116.00	
Mano de obra por Unidad....						5.80	
Prestaciones ley del trabajo(%)					200	11.60	
Costo unitario por mano de obra....						17.40	
Costo Directo....						570.40	
Adm, y gast. Generales (%)					20	114.08	
Utilidades e Imprevistos					10	68.45	
<b>Precio Unitario en Bs</b>						<b>752.93</b>	

## A7. ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Obra:							
Partida:	S/R de Equipos de Luminaria M-250 Lampara HM					Rendimiento:	20
<b>MATERIALES</b>							
Codigo	Descripción	Unidad	Canti.	Desp.	Precio	Total	
	Balastro para lampara 250W	Pz	1	0.00	196.00	196.00	
	Condensador para lampara 250W	Pz	1	0.00	32.00	32.00	
	Arrancador para lampara 250W	Pz	1	0.00	58.00	58.00	
	Socate para lampara 250 W	Pz	1	0.00	11.00	11.00	
	Lampara HM 250W	Pz	1	0.00	171.00	171.00	
Total de Mat.						468.00	
Costo U por mate..						468.00	
<b>EQUIPOS</b>							
Codigo	Descripción	Canti.	Deprec.	Precio	Total		
	Camion Cesta	0.15	0.0	2,000.00	300.00		
	Equipo para cuadrilla	1	0.0	3,000.00	3,000.00		
Total equipos por día....					3,300.00		
Costo unitario por equipos....					165.00		
<b>Mano de Obra</b>							
Codigo	Descripción	Cantidad	Bonos	Jornal	Total		
	Liniero	1.00	0.00	100.00	100.00		
	Ayudante	1.00	0.00	58.00	58.00		
	Chofer de cesta	1.00	0.00	58.00	58.00		
Total de mano de obra por día..					116.00		
Mano de obra por Unidad....					5.80		
Prestaciones ley del trabajo(%)				200	11.60		
Costo unitario por mano de obra....					17.40		
Costo Directo....					650.40		
Adm, y gast. Generales (%)				20	130.08		
Utilidades e Imprevistos				10	78.05		
<b>Precio Unitario en Bs</b>					<b>858.53</b>		

## A8. ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Obra:							
Partida:	S/R de Equipos de Luminaria M-400 Lampara SAP					Rendimiento:	20
<b>MATERIALES</b>							
Codigo	Descripción	Unidad	Canti.	Desp.	Precio	Total	
	Balastro para lampara 400W	Pz	1	0.00	305.00	305.00	
	Condensador para lampara 400W	Pz	1	0.00	32.00	32.00	
	Arrancador para lampara 400W	Pz	1	0.00	82.00	82.00	
	Socate para lampara 400W	Pz	1	0.00	11.00	11.00	
	Lampara SAP 400W	Pz	1	0.00	140.00	140.00	
Total de Mat.						570.00	
Costo U por mate..						570.00	
<b>EQUIPOS</b>							
Codigo	Descripción	Canti.	Deprec.	Precio	Total		
	Camion Cesta	0.15	0.0	2,000.00	300.00		
	Equipo para cuadrilla	1	0.0	3,000.00	3,000.00		
Total equipos por día....					3,300.00		
Costo unitario por equipos....					165.00		
<b>Mano de Obra</b>							
Codigo	Descripción	Cantidad	Bonos	Jornal	Total		
	Liniero	1.00	0.00	100.00	100.00		
	Ayudante	1.00	0.00	58.00	58.00		
	Chofer de cesta	1.00	0.00	58.00	58.00		
Total de mano de obra por día..					116.00		
Mano de obra por Unidad....					5.80		
Prestaciones ley del trabajo(%)					200		
Costo unitario por mano de obra....					17.40		
Costo Directo....					752.40		
Adm. y gast. Generales (%)					20		
Utilidades e Imprevistos					10		
<b>Precio Unitario en Bs</b>					<b>993.17</b>		

## A9. ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Obra:							
Partida:	S/R de Equipos de Luminaria M-400 Lampara HM					Rendimiento:	20
<b>MATERIALES</b>							
Codigo	Descripción	Unidad	Canti.	Desp.	Precio	Total	
	Balastro para lampara 400W	Pz	1	0.00	305.00	305.00	
	Condensador para lampara 400W	Pz	1	0.00	32.00	32.00	
	Arrancador para lampara 400W	Pz	1	0.00	82.00	82.00	
	Socate para lampara 400W	Pz	1	0.00	11.00	11.00	
	Lampara HM 400W	Pz	1	0.00	260.00	260.00	
Total de Mat.						690.00	
Costo U por mate..						690.00	
<b>EQUIPOS</b>							
Codigo	Descripción	Canti.	Deprec.	Precio	Total		
	Camion Cesta	0.15	0.0	2,000.00	300.00		
	Equipo para cuadrilla	1	0.0	3,000.00	3,000.00		
Total equipos por día....					3,300.00		
Costo unitario por equipos....					165.00		
<b>Mano de Obra</b>							
Codigo	Descripción	Cantidad	Bonos	Jornal	Total		
	Liniero	1.00	0.00	100.00	100.00		
	Ayudante	1.00	0.00	58.00	58.00		
	Chofer de cesta	1.00	0.00	58.00	58.00		
Total de mano de obra por día..					116.00		
Mano de obra por Unidad....					5.80		
Prestaciones ley del trabajo(%)					200		
Costo unitario por mano de obra....					17.40		
Costo Directo....					872.40		
Adm, y gast. Generales (%)					20		
Utilidades e Imprevistos					10		
<b>Precio Unitario en Bs</b>					<b>1,151.57</b>		







## **A13. RECOMENDACIONES DE DISTANCIA INTERPOSTAL SEGÚN RECOMENDACIONES EUROPEAS**

A13.1 Iluminación de una vía urbana. (A través de recomendaciones)

A13.1.1 Dimensiones

Anchura de la calzada,  $A = 8.4$  m

A13.1.2 Características

Vía formada por dos calzadas y dos aceras laterales con un andén intermedio con vegetación abundante, limitada por edificios con alturas medianas y tráfico con velocidades moderada.

A13.1.3 Nivel medio de iluminación

Según la tabla de las normas COVENIN-3290-1997 se considera una vía secundaria tipo B1 zona tipo A que fija un valor medio a la calzada  $E_m = 17.5$  Lux. (**Tabla 2.10**)

A13.2 Luminaria GE M-250A2 Sodio Alta Presión (HPS)

Flujo de la lámpara = 28000 lm

Potencia de la lámpara = 250 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

A13.2.1 Altura del punto de luz

Según la **tabla 2.16** para una potencia luminosa instalada de 28000 lm, corresponde una altura del punto de luz a la indicada  $H = 9$  m

### A13.2.2 Separación entre postes

De la **tabla 2.17** se deduce que para una iluminación media de  $E_m = 17.5$  Lux, la separación entre puntos de luz es:

$$S = R \times H \text{ (A.1)}$$

R= relación ente distancia interpostal y altura de montaje obtenido de la tabla.

H= altura de montaje.

$$S = 2.3 \times 9 \text{ m} = 20.7 \text{ m}$$

### A13.3 Luminaria GE M-250A2 Metal Halide (EPMH)

Flujo de la lámpara = 19100 lm

Potencia de la lámpara = 250 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

#### A13.3.1 Altura del punto de luz

Según la **tabla 2.16** para una potencia luminosa instalada de 19100 lm, corresponde una altura del punto de luz a la indicada  $H = 9$  m

#### A13.3.2 Separación entre postes

De la **tabla 2.17** se deduce que para una iluminación media de  $E_m = 17.5$  Lux, la separación entre puntos de luz es:

$$S = R \times H \text{ (A.1)}$$

R= relación ente distancia interpostal y altura de montaje obtenido de la tabla.

H= altura de montaje.

$$S= 2.3 \times 9 \text{ m} = 20.7 \text{ m}$$

#### A13.4 Luminaria GE M-400 Sodio Alta Presión (HPS)

Flujo de la lámpara = 51000 lm

Potencia de la lámpara = 400 W

Vida nominal de la lámpara = 15000 h

##### A13.4.1 Altura del punto de luz

Según la **tabla 2.16** para una potencia luminosa instalada de 51000 lm, corresponde una altura del punto de luz a la indicada  $H= 15 \text{ m}$

##### A13.4.2 Separación entre postes

De la **tabla 2.17** se deduce que para una iluminación media de  $E_m= 17.5 \text{ Lux}$ , la separación entre puntos de luz es:

$$S= R \times H \text{ (A.1)}$$

R= relación ente distancia interpostal y altura de montaje obtenido de la tabla.

H= altura de montaje.

$$S= 2.3 \times 15 \text{ m} = 34.5 \text{ m}$$

#### A13.5 Luminaria GE M-400 Metal Halide (EPMH)

Flujo de la lámpara = 33100 lm

Potencia de la lámpara = 400 W

Vida nominal de la lámpara = 20000 h

#### A13.5.1 Altura del punto de luz

Según la **tabla 2.16** para una potencia luminosa instalada de 33100 lm, corresponde una altura del punto de luz a la indicada  $H= 9$  m

#### A13.5.2 Separación entre postes

De la **tabla 2.17** se deduce que para una iluminación media de  $E_m= 17.5$  Lux, la separación entre puntos de luz es:

$$S= R \times H \text{ (A.1)}$$

R= relación ente distancia interpostal y altura de montaje obtenido de la tabla.

H= altura de montaje.

$$S= 2.3 \times 9 \text{ m} = 20.7 \text{ m}$$

#### A13.6 Luminaria GE EVOLVE LED Roadway Lighting- Medium Cobrahead

Flujo de la lámpara = 9599 lm

Potencia de la lámpara = 157 W

Vida nominal de la lámpara = 50000 h

#### A13.6.1 Altura del punto de luz

Según la **tabla 2.16** para una potencia luminosa instalada de 9599 lm, corresponde una altura del punto de luz a la indicada  $H= 7$  m

#### A13.6.2 Separación entre postes

De la **tabla 2.17** se deduce que para una iluminación media de  $E_m= 17.5$  Lux, la separación entre puntos de luz es:

$$S = R \times H \text{ (A.1)}$$

R= relación ente distancia interpostal y altura de montaje obtenido de la tabla.

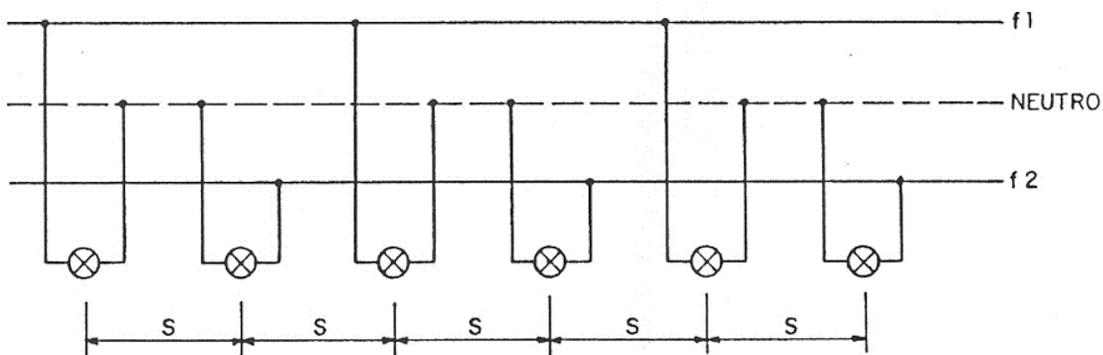
H= altura de montaje.

$$S = 2.3 \times 7 \text{ m} = 16.1 \text{ m}$$

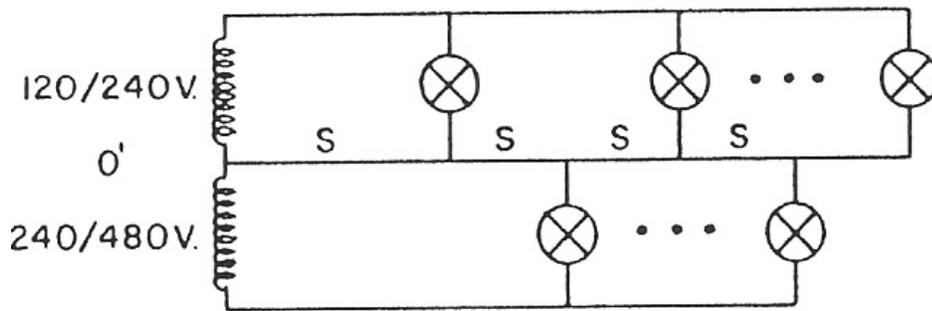
#### A.14 CÁLCULO DE LA MÁXIMA CANTIDAD DE LUMINARIAS GE EVOLVE LED ROADWAY LIGHTING- MEDIUM COBRAHEAD. CUMPLIENDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE CAÍDA DE TENSIÓN

Para realizar el cálculo es necesario fijar un esquema de conexión de las luminarias, donde el elegido será el que presente más ventajas en cuanto a la continuidad del servicio es decir que en situación de fallas no se pierda en su totalidad el funcionamiento de las luminarias y además la facilidad del mantenimiento y costos.

##### A.14.1 Disposición unilateral, sistema monofásico, 3 hilos 120/240V ó 240/480V



**Figura A.1:** Alimentación de luminarias de un sistema monofásico, disposición unilateral.

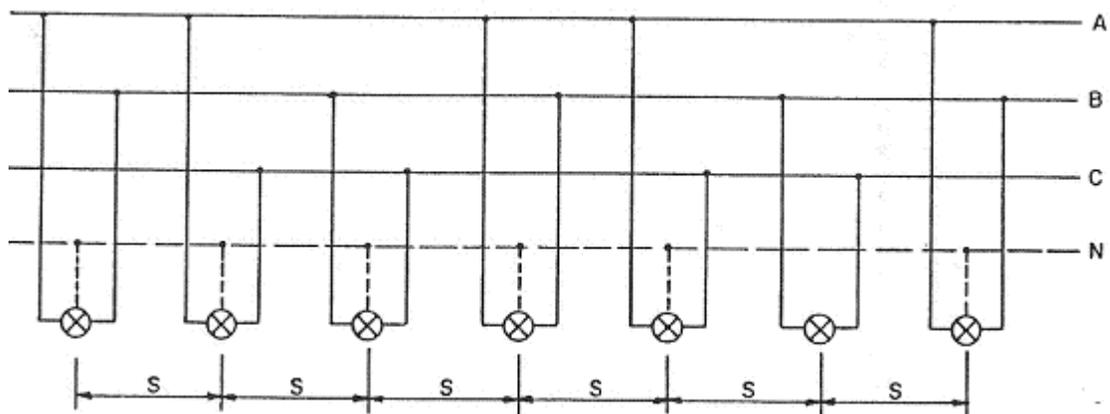


**Figura A.2:** Alimentación de luminarias disposición de transformadores.

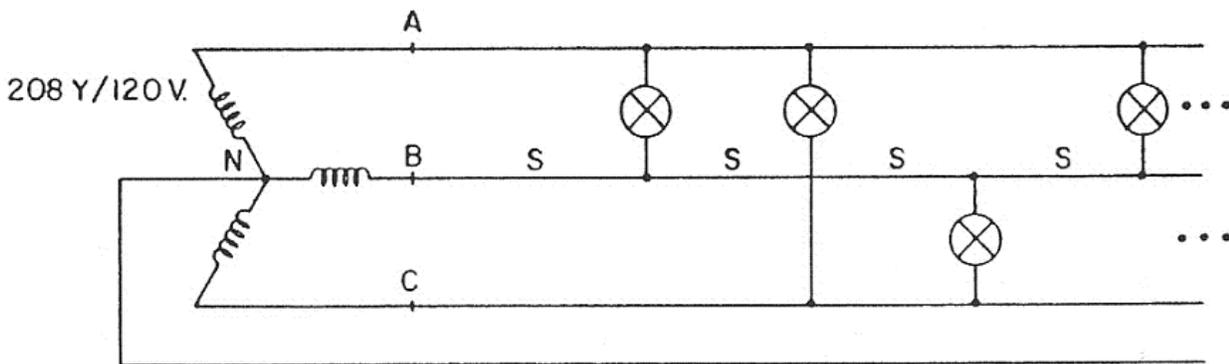
Esta disposición tiene como característica que la red está alimentada por dos transformadores monofásicos 13,8Kv-120/240V donde el lado de alta está conectado en paralelo y el lado de baja está conectado en serie entre transformadores y en paralelo en las bobinas de un mismo transformador.

Al momento de una falla en una fase solo se pierde el funcionamiento de las luminarias de manera intercalada y éstas en ese estado no consumen energía.

#### A.14.2 Disposición unilateral, sistema trifásico, 4 hilos 208 Y/120V



**Figura A.3:** Alimentación de luminarias de un sistema trifásico, disposición unilateral



**Figura A.4:** Alimentación de luminarias de un sistema trifásico

Esta disposición tiene como característica que la red está alimentada por tres transformadores monofásicos 13,8Kv-208Y/120V. Al momento de una falla en una fase en el lado de alta de un transformador y las cargas están equilibradas la tensión en las bobinas del secundario de los transformadores que estén asociados a la línea de falla se reduce a la mitad, es decir, a 60 V lo que hace que las luminarias conectadas en esas fases estén consumiendo energía pero sin obtener un óptimo funcionamiento ya que estas requieren un voltaje de operación establecido.

### A14.3 Máxima cantidad de luminarias

Para este caso usaremos el sistema con disposición unilateral, sistema monofásico, 3 hilos 120/240V ya que por lo visto anteriormente este presenta mayor ventaja en cuanto a cantidad de transformadores, cantidad de conductor y continuidad de servicio ante una falla en una fase.

Nos basamos en el cálculo de caída de tensión en el cual establecimos una caída máxima de tensión del 3,5% (norma CADAFE). Haciendo referencia en el **anexo A13.6.2** la distancia interpostal recomendada es de 16 m y de acuerdo a la simulación en Dialux aun con 24 metros cumple con los parámetros de calidad de iluminación, con estos datos podemos calcular el máximo número de luminaria por circuito representado en la siguiente tabla:

KW por Luminaria	0.157					
Fp	0.98					
KVA	0.16					
distancia interpostal	24					
			# de luminarias	longitud	KVAm limite	KVAmcal
			10	216.00	1990.8	173.02
			20	456.00	1990.8	730.53
			30	696.00	1990.8	1672.53
			40	936.00	1990.8	2999.02
			50	1176.00	1990.8	4710.00
			60	1416.00	1990.8	6805.47
<b>sistema apropiado</b>			<b>32</b>	<b>744.00</b>	<b>1990.8</b>	<b>1907.07</b>

El sistema de alumbrado público se definió como una carga uniformemente distribuida por lo cual se pudo representar como una carga concentrada en la mitad del tramo de estudio.

$$\text{Longitud} = (\text{Nluminarias} - 1) \times \text{Distancia interpostal (A.2)}$$

$$\text{KVAmcal} = \text{KVA} \times \text{Nluminarias} \times L/2 \text{ (A.3)}$$

Los datos de los KVA limites son extraídos de la **tabla 4.10** para un conductor 2/0 AWG Aluminio.

### **A.15 PERIODICIDAD O FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO**

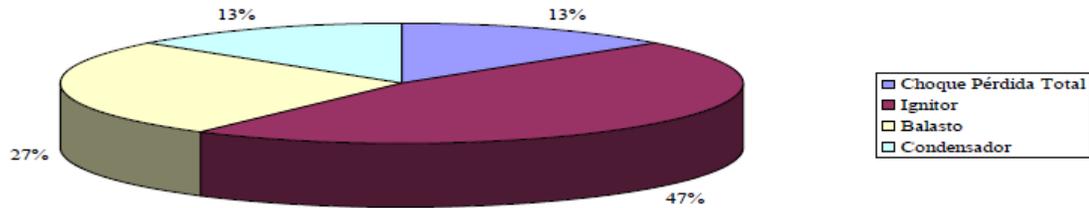
Este punto fue hecho para poder establecer un criterio del tiempo o periodo en que deba realizarse un correcto mantenimiento y/o reparación de las luminarias convencionales, aquí se utilizara el aporte de un trabajo de investigación de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo titulado **“Desarrollo de un marco metodológico orientado en el mantenimiento de sistemas de iluminación vial”** Autor: Patty Ferrer.

Según la CIE los parámetros para garantizar una calidad de servicio en la fuente de energía están representados por las variaciones de voltaje, introducción de armónicos y variación de la frecuencia lo cual hace que para el alumbrado público las condiciones mostradas por el fabricante sean notoriamente deformadas por una serie de factores existentes en su lugar de trabajo, como por ejemplo las fluctuaciones de voltajes durante las horas de trabajo, influyendo estas en la vida útil de las mismas. En la **tabla A.1** se muestra el estudio que se realizó a un circuito de 25 luminarias del estado Aragua- Palo Negro para observar la tendencia y motivo de falla de los equipos que integran cada luminaria a lo largo de un periodo de estudio de aproximadamente tres años. El cual tuvo como resultado lo siguiente:

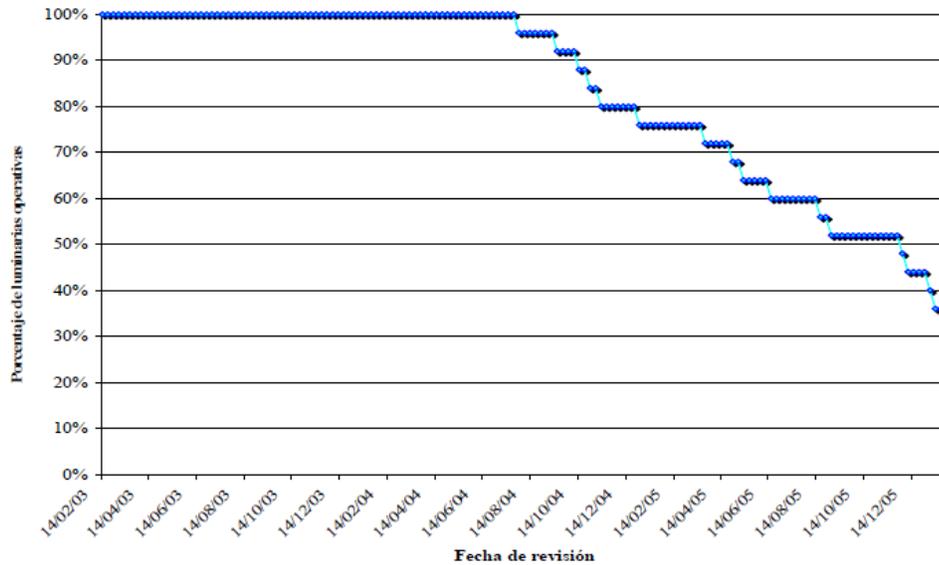
Control de Luminarias					
Circuito de prueba N°		01	Ubicación	Palo Negro	
Código de luminaria	Código de Poste	Fecha de Instalación	Fecha de desmontaje	Vida Útil (días)	Motivo de falla
5090301	N-5401-X	07/02/2003	07/01/2006	1.065	Choque pérdida total
5090302	N-5402-X	07/02/2003	---	---	---
5090303	N-5403-X	07/02/2003	26/12/2004	688	Ignitor
5090304	N-5404-X	07/02/2003	25/04/2005	808	Balasto
5090305	N-5405-X	07/02/2003	02/01/2006	1.060	Ignitor
5090306	N-5406-X	07/02/2003	---	---	---
5090307	N-5407-X	07/02/2003	16/09/2004	587	Balasto
5090308	N-5408-X	07/02/2003	28/07/2004	537	Ignitor
5090309	N-5409-X	07/02/2003	---	---	---
5090310	N-5410-X	07/02/2003	---	---	---
5090311	N-5411-X	07/02/2003	11/05/2005	824	Condensador
5090312	N-5412-X	07/02/2003	---	---	---
5090313	N-5413-X	07/02/2003	---	---	---
5090314	N-5414-X	07/02/2003	11/10/2004	612	Ignitor
5090315	N-5415-X	07/02/2003	09/11/2004	641	Ignitor
5090316	N-5416-X	07/02/2003	23/03/2005	775	Choque pérdida total
5090317	N-5417-X	07/02/2003	---	---	---
5090318	N-5418-X	07/02/2003	30/08/2005	935	Ignitor
5090319	N-5419-X	07/02/2003	23/10/2004	624	Ignitor
5090320	N-5420-X	07/02/2003	---	---	---
5090321	N-5421-X	07/02/2003	03/12/2005	1.030	Balasto
5090322	N-5422-X	07/02/2003	---	---	---
5090323	N-5423-X	07/02/2003	13/08/2005	918	Condensador
5090324	N-5424-X	07/02/2003	17/06/2005	861	Balasto
5090325	N-5425-X	07/02/2003	29/11/2005	1.026	Balasto
<b>Promedio de Vida Útil</b>				<b>812 días</b>	

**Tabla A.1:** Control de luminarias del circuito de estudio

### Representación Gráfica de causa de falla



**Grafica A.1:** Causa de falla en porcentaje



**Grafica A.2:** Representación de las luminarias operativas

Profundizando el análisis, se obtuvo un total de 14 equipos de la luminarias dañados (donde el principal equipo que está más propenso a daño es el ignitor) teniendo un promedio por año de un 20% del total instalado. Por otro lado, para este periodo de estudio de tres años, el porcentaje de luminarias que quedaron operativas, es decir, no se realizó ningún tipo de reparación, fue de un 35%.

## A.16 FOTOS DE LAS LUMINARIAS GE LED EN EL MERCADO VENEZOLANO



**Figura A.5:** Luminaria GE EVOLVE LED Cobrahead vista inferior



**Figura A.6:** Luminaria GE Evolve LED Cobrahead



**Figura A.7:** Luminaria GE Evolve LED Flood Light EFMU



**Figura A.8:** Luminaria GE F150 LED FLOOD

**A.17 FOTOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN LA AV. MONSEÑOR ADAMS VALENCIA, VENEZUELA**



**Después**



**Antes**



**Después**



**Antes**



**Después**



**Mediciones**

## **A.18 CONTAMINACION POR MERCURIO**

La humanidad usa el mercurio desde hace 2000 años. Ya es bastante conocido que el contacto con la piel y su ingestión ocasiona afecciones leves y graves a la salud humana, al ambiente, en especial a la fauna acuática. A continuación, se muestra una recopilación de información acerca de la contaminación por mercurio de manera de poder aportar una idea de lo que podría traer como consecuencia el continuo uso de lámparas que utilicen mercurio y además propuesta de algunas empresas de Venezuela para evitar este mal.

El mercurio es un metal pesado que puede trasladarse a grandes distancias una vez que es emitido a la atmósfera, que al asentarse en medios acuáticos se transforma en metilmercurio (Se cree que el metilmercurio es uno de los seis peores contaminantes del planeta). Esta potente neurotoxina se asienta en peces y otros animales, y luego en los humanos al pasar a formar parte de su dieta. Afectando al sistema nervioso, riñones e hígado. Llegando a ocasionar trastornos mentales y daños en el sistema motor, sistema reproductor, en el habla, la visión y el oído. También es posible su contaminación por contacto con la piel e inhalaciones de gases producto de su uso en procesos industriales. Hay casos en varias partes del mundo de comunidades gravemente dañadas, con casos de muerte por contaminación con mercurio. Para completar el mercurio no desaparece del ambiente, permanece donde sea depositado, aumentando el nivel de contaminación con el paso del tiempo.

Cada bombillo ahorrador de energía contiene entre cuatro y ocho miligramos de mercurio, Luis Morales, profesor de la Escuela de Biología de la Universidad Central de Venezuela, explicó que los bombillos ahorradores, suelen ocasionar más daños en los hogares de menos recursos económicos, debido a que además de los cambiados por los funcionarios del gobierno, se suele comprar adicionales para evitar las altas multas fijadas por CORPOELEC a quienes consuman mucha energía en el hogar.

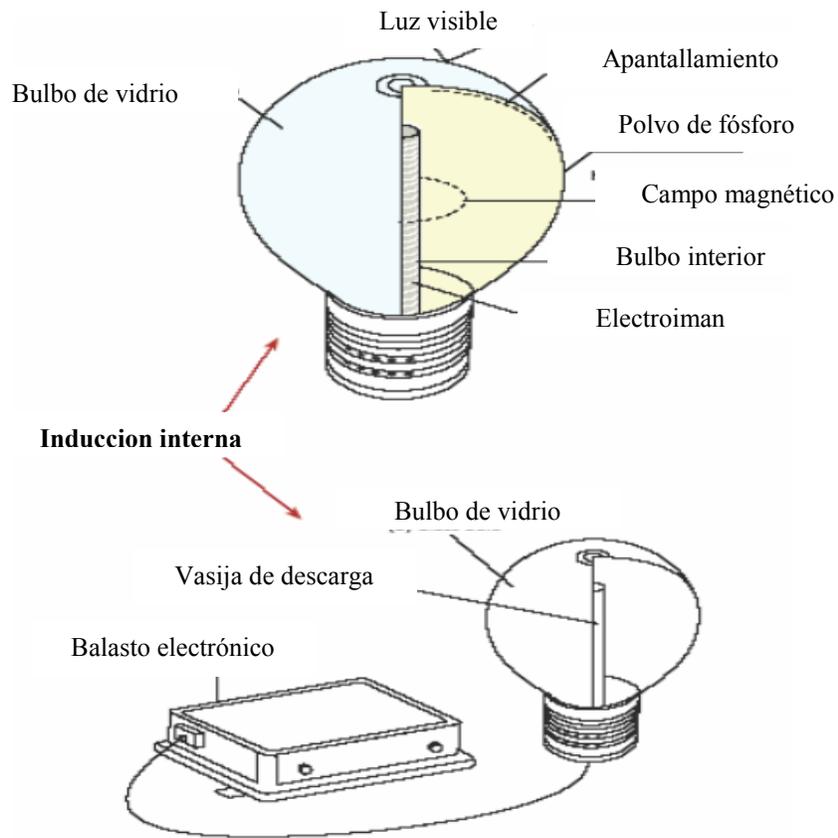
En caso de instalarse los 140 millones de bombillos ahorradores previstos por el Gobierno (según la página web de CORPOELEC) se estarían generando entre 560 kilos y 1 tonelada de mercurio, que van a dar en su mayoría a los hogares de escasos recursos, que además no cuentan con adecuada educación ambiental, aseguró Morales. Indicó que siete años después del anuncio del proyecto para sustituir bombillos tradicionales por ahorradores, se desconocen las políticas con que el Gobierno está tratando el reciclaje de éstos. "Vemos gente reciclando cartón, vidrio, plástico y botellas, pero nunca bombillos", aseguró Vitalis Ojaldo, presidente de la Vita ambiente, durante su participación en la I Jornada de Producción, Reciclaje y Consumo Responsable, realizado en la sede de El Nacional y organizado por ASOPRODEM.

La empresa presentó una propuesta de reciclaje que consiste en unos contenedores que se instalan en las compañías, principalmente fábricas y hospitales, que suelen ser retirados cuando alcanzan 80% de su capacidad. Luego éstos son transportados a un centro de procesamiento, donde se obtiene vidrio molido, polvo y mercurio. Este último puede ser llevado a su forma líquida para que pueda ser reutilizado por fabricantes de tableros electrónicos, entre otros usos más eficientes. En la actividad participó Empresas Polar, presentando su Proyecto 3R, con el que fomenta el reciclaje en diversas playas de los estados Sucre y Miranda y en las caminerías y vías de Vargas. También estuvo la empresa TecnoOfic, que promueve el reciclaje de los desechos tecnológicos como los celulares y pantallas de laptops en desuso.

## A19. LAMPARA DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA (IEM)

### A19.1 Clasificación de las lámparas de Inducción Electromagnética:

A19.1.1 Lámpara de Inducción Electromagnética INTERNA (IEM-I) de alta frecuencia (sin electrodos: frecuencia de operación: 2.65MHz. +



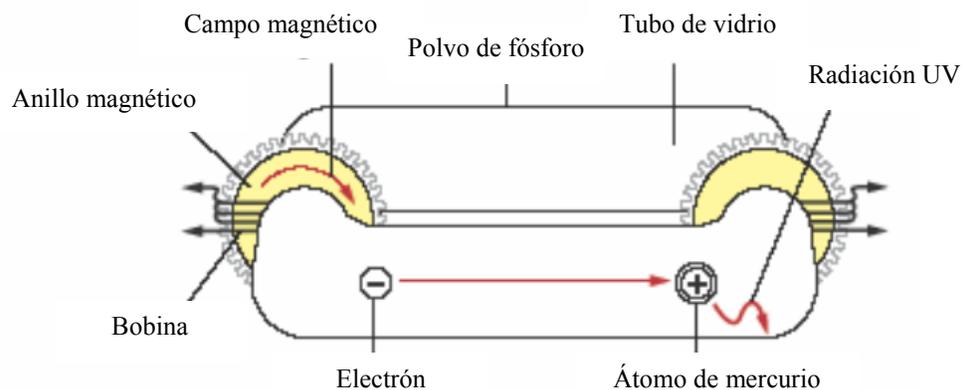
**Figura A.9:** Lámpara de Inducción Electromagnética interna

La Lámpara de IEM INTERNA de alta frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia que posee, envía un voltaje constante con 2.65MHz hacia la antena que está instalada dentro del bulbo y conectada a un balasto electrónico de la lámpara a través de un cable de alta frecuencia. La antena crea un fuerte campo magnético estático dentro del bulbo, generando una reacción e ionización del gas que se encuentra al vacío dentro de las 2 paredes del bulbo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía

obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible. En cuanto al diseño de la fuente de poder y gracias a que su factor de potencia llega a niveles mayores de 0,98 el generador de alta frecuencia puede enviar una tensión constante y una alta frecuencia constante cuando la lámpara está encendida. Así que, aunque la tensión de entrada de la fuente de alimentación fluctúe dentro de cierto rango, el brillo de la lámpara y su luminosidad no va a cambiar.

A19.1.2 Lámpara de Inducción Electromagnética EXTERNA (IEM-E) de baja frecuencia (sin electrodos): frecuencia de operación: 2.50KHz

#### Inducción externa



**Figura A.10:** Lámpara de Inducción Electromagnética externa

La Lámpara de IEM EXTERNA de baja frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena de doble poder y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia envía un voltaje constante hacia los 2 anillos metálicos, a través del un cable de alta frecuencia. Los anillos, son los encargados de producir el campo magnético alrededor del tubo de vidrio. En otras palabras, el acoplador de energía (anillos metálicos), que se instalan en el exterior del bulbo y conectado con el balasto electrónico de la lámpara a través del cable de alta frecuencia, va a crear un fuerte campo magnético estático en el

espacio de descarga de la cáscara de cristal. Así, la ruta circular del campo magnético, motivado por el bucle, forma un circuito cerrado, lo que genera la aceleración de los electrones libres. Entonces, estos electrones libres que chocan con los átomos de mercurio, permiten que el gas que se encuentra al vacío dentro del bulbo genere una reacción e ionización del mismo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible.

## A19.2 Comparacion Tecnica de luminarias con tecnologia LED – induccion Magnetica-HID cosmopolis

Esta esta realizada en base a datos suministrado en catalogos de las empresas GE, Philips y osram syvania las cuales desarrollan tecnologias en la busqueda de mejor comportamiento visual en el area de alumbrado publico con la tendencia del ahorro energetico.

Caracteristicas fotometricas y colorimetricas

### Philips cosmopolis

Gama de lámparas	Flujo luminoso (lm)	Casquillo	Voltaje de lámpara (V)	Temperatura del color (K)	Índice de reproducción cromática	Vida útil de servicio (h)	Mantenimiento de lúmenes durante la vida útil de servicio	Código de pedido (EOC) 8711500
Philips MASTER CosmoWhite 45W/628	4.300	PGZ 12	230	2600 - 2850	60	12.000	80%	211194 15
Philips MASTER CosmoWhite 60W/728	6.850	PGZ 12	230	2600 - 2850	65	12.000	80%	208514 15
Philips MASTER CosmoWhite 90W/728	10.450	PGZ 12	230	2600 - 2850	65	16.000	80%	211217 15
Philips MASTER CosmoWhite 140W/728	16.500	PGZ 12	230	2600 - 2850	65	16.000	80%	208538 15

\* Las lámparas están optimizadas para el uso horizontal, pero pueden funcionar en todas las posiciones.

La temperatura del color y el índice de reproducción cromática dependen de la posición (los datos correspondientes son para la posición vertical/horizontal).

## Lámparas de Alta Intensidad de Descarga (HID)

Potencia	Clave	Estatus	ANSI / Voltaje	Bulbo	Base	Características y Símbolos Especiales	Kelvin (TC)	IRC	MOL (mm)	Vida Promedio (Hr)	Flujo Luminoso Inicial	Flujo Luminoso Promedio	Unidad de Empaque (piezas)
<b>MASTER Colour CDM TD</b>													
70W	110353	MTS	M85/M139	TD 22mm	RX7s	Horizontal. UV Block	3,000	82	119.6	16,000	6,500	5,200	12
	123539	MTS	M85/M139	TD 22mm	RX7s	Horizontal. UV Block	4,200	92	119.6	16,000	6,000	4,200	12
150W	110972	MTS	M81/M102/M142	TD 25mm	RX7s	Horizontal. UV Block	3,000	88	137.4	16,000	13,250	13,250	12
	110980	MTS	M81/M102/M142	TD 25mm	RX7s	Horizontal. UV Block	4,200	96	137.4	16,000	14,200	12,070	12
<b>MASTER SDW TG (Mini Sodio Blanco)</b>													
100W	161257	MTO	S167	TC 19mm	GX12-I	Universal. UV Block	2,500	83	110.0	10,000	4,900	4,410	12
<b>Metal Halide Doble Contacto MHN TD</b>													
70W	605410	MTS	M85	TD 22mm	RX7s	Horizontal. UV Block	4,200	80	119.6	10,500	5,700	4,674	12
150W	110890	MTS	M81	TD 25mm	RX7s	Horizontal. UV Block	4,200	85	137.4	10,500	12,900	10,062	12
<b>MASTER CosmoWhite CPO TW</b>													
60W	157313	MTO	Primavision Xtreme	T (19mm)	PGZ12	❖ Universal. Atenuable. Luz Blanca	2,720	72	132.0	24,000	6,800	5,440	12
90W	234393	MTO	Primavision Xtreme	T (19mm)	PGZ12	❖ Universal. Atenuable. Luz Blanca	2,750	66	143.0	30,000	10,450	9,405	12
140W	217745	MTO	Primavision Xtreme	T (19mm)	PGZ12	❖ Universal. Atenuable. Luz Blanca	2,860	66	147.0	30,000	16,500	14,685	12

## Otras marcas

### ARTÍCULO



[Solicitar información del artículo](#)

#### Lámpara de Inducción 150W 9.800lm

Inducción Electromagnética "sin electrodos" (IEM) es un nuevo concepto de muy alta tecnología para el ahorro energético en la iluminación, basado en el principio de gas de descarga de las lámparas fluorescentes y en el principio de la inducción electromagnética de alta frecuencia.

##### Características:

Color : blanco  
 Consumo: 150W  
 Alimentación: AC 170V - 260V  
 Intensidad: AC 1.4 - 0.7A  
 Medidas (mm): Ø120 x 238  
 Frecuencia operación: 2.65 MHz  
 Tiempo de encendido: 0.5s  
 Flujo lumínico: 65-70 Lm/W  
 Vida útil: más de 60.000h  
 Lúmenes: 9.800 lm  
 Luminosidad transcurridas 20.000h: >80%  
 Color temperatura: 3.000 - 6.500K  
 Temperatura de trabajo: -30°C - +50°C  
 Factor de potencia: >0.98  
 RA: >75

##### Ventaja frente a fuentes tradicionales:

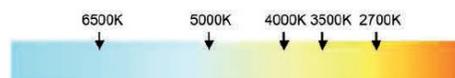
Alta Eficiencia  
 Larga vida útil  
 No emite calor  
 Nivel alto de rendimiento cromático  
 Encendido rápido  
 Encendido a bajas temperaturas  
 Sin parpadeo ni deslumbramiento  
 Sin ruido

#### Información Técnica

Modelo	Tensión (V)	Ra	Flujo Luminoso (lm)*	Temperatura Operativa	Mantenimiento Luminancia (60.000 hrs)
VSOL- COR - 40W	12 / 24 / 230	80~85	2800 - 3000	75°C - 105°C	70%
VSOL- COR - 50W	230	80~85	3500 - 3750	75°C - 105°C	70%
VSOL- COR - 60W	230	80~85	4200 - 4500	80°C - 115°C	70%
VSOL- COR - 80W	230	80~85	6000 - 6400	85°C - 115°C	70%
VSOL- COR - 100W	230	80~85	7500 - 8000	85°C - 115°C	70%
VSOL- COR - 120W	230	80~85	9000 - 9600	90°C - 120°C	70%
VSOL- COR - 150W	230	80~85	12000 - 12750	95°C - 120°C	70%
VSOL- COR - 200W	230	80~85	16000 - 17000	95°C - 120°C	70%
VSOL- COR - 250W	230	80~85	20000 - 21500	100°C - 125°C	70%
VSOL- COR - 300W	230	80~85	24000 - 25500	110°C - 130°C	70%

**Ámbito de aplicación:**  
 Industria, comercios, instalaciones deportivas, iluminación vial e iluminación solar.

#### VSOL-CORNER



\*El flujo luminoso(lm) varía según la temperatura de color solicitada.

# Philips Induction QL

## Ordering, Electrical and Technical Data (Subject to change without notice)

Product Number	Ordering Code	Watts	Pack. Qty.	Description	MOL (In.)	Rated Avg. Life (Hrs.) <sup>1</sup>	Approx. Initial Lumens <sup>2</sup>	Approx. Mean Lumens <sup>2</sup>	CRI	CCT (K)
13542-6	QL 55W/GEN100-120V	55	6	Generator, 120V	—	100,000	—	—	—	—
13543-4	QL 55W/GEN200-277V	55	6	Generator, 277V	—	100,000	—	—	—	—
13544-2	QL 55W/PC	55	6	Power Coupler	—	100,000	—	—	—	—
13545-9	QL 55W/830	55	6	Lamp 3K	5½	100,000	3500	2800	80	3000
13546-7	QL 55W/840	55	6	Lamp 4K	5½	100,000	3500	2800	80	4000
20095-6	QL 55W/850	55	6	Lamp 5K	5½	100,000	3500	2800	80	5000
13547-5	QL 85W/GEN100-120V	85	6	Generator, 120V	—	100,000	—	—	—	—
13548-3	QL 85W/GEN200-277V	85	6	Generator, 277V	—	100,000	—	—	—	—
13549-1	QL 85W/PC	85	6	Power Coupler	—	100,000	—	—	—	—
13550-9	QL 85W/830	85	6	Lamp 3K	7½	100,000	6000	4800	80	3000
13551-7	QL 85W/840	85	6	Lamp 4K	7½	100,000	6000	4800	80	4000
20096-4	QL 85W/850	85	6	Lamp 5K	7½	100,000	6000	4800	80	5000
14991-4	QL 165W/GEN100-120V	165	6	Generator, 120V	—	100,000	—	—	—	—
14990-6	QL 165W/GEN200-277V	165	6	Generator, 277V	—	100,000	—	—	—	—
36916-5	QL 165W/PC	165	6	Power Coupler	—	100,000	—	—	—	—
36917-3	QL 165W/830	165	6	Lamp 3K	8½	100,000	12,000	9600	80	3000
36918-1	QL 165W/840	165	6	Lamp 4K	8½	100,000	12,000	9600	80	4000
20097-2	QL 165W/850	165	6	Lamp 5K	8½	100,000	12,000	9600	80	5000

1) Rated average life is the life obtained, on the average, from large representative groups of lamps in laboratory tests under controlled conditions at 10 or more operating hours per start. It is based on survival of at least 50% of the lamps and allows for individual lamps or groups of lamps to vary considerably from the average.

2) Approximate lumen values listed are for vertical operation of the lamp.

3) Approximate lumen output at 60% of lamp rated average life.

**Note:** QL System requires all three components to operate (order 3 product numbers).

Power Factor > .9, THD < 10%

QL System Listings: UL, CSA, FCC Class A

# Osram sylvania Icteron

## Ordering Information

SYSTEMS Lamp Description	Ballast Description	Lamp Wattage	System Wattage 120/277V	Ballast Factor	System Lumens <sup>1</sup>	Mean Lumens <sup>1,2</sup>	Rated Life	Initial LPW 120/277V
ICE40/RCT/2P	QT 1X40ICE/UNV-T	40	44	1.00	2800	1850 <sup>4</sup>	100,000	63
ICE40/CIR/2P	QT 1X40ICE/UNV-T	40	44	1.00	2800	1850 <sup>4</sup>	100,000	63
ICE70/2P/ECO	QT 1x100ICE/UNV-T	70	79/77	1.05	6500	4830	100,000	82/84
ICE100/2P/ECO	QT 1x100ICE/UNV-T	100	106/103	1.00	8000	5945	100,000	75/77
ICE100/2P/ECO	QT 1x150ICE/UNV-T	100	154/149	1.375	11,000	8175	100,000	71/73
ICE150/2P/ECO	QT 1x150ICE/UNV-T	150	161/156	1.00	12,000	8915	100,000	74/76

LAMPS Item Number	Ordering Description	Initial Lamp Lumens <sup>3</sup>	Mean Lamp Lumens <sup>2</sup>	Color Temp <sup>3</sup>	CRI <sup>3</sup>
26310	ICE40/835/RCT/2P	2800	1850 <sup>4</sup>	3500K	80
26312	ICE40/841/RCT/2P	2800	1850 <sup>4</sup>	4100K	80
26314	ICE40/850/RCT/2P	2730	1850 <sup>4</sup>	5000K	80
26311	ICE40/835/CIR/2P	2800	1848	3500K	80
26313	ICE40/841/CIR/2P	2800	1850 <sup>4</sup>	4100K	80
26315	ICE40/850/CIR/2P	2730	1850 <sup>4</sup>	5000K	80
26087	ICE70/835/2P/ECO	6200	4605	3500K	80
26088	ICE70/841/2P/ECO	6200	4605	4100K	80
26089 <sup>1</sup>	ICE70/850/2P/ECO	5950	4420	5000K	80
26102	ICE100/835/2P/ECO	8000	5945	3500K	80
26103	ICE100/841/2P/ECO	8000	5945	4100K	80
26105 <sup>1</sup>	ICE100/850/2P/ECO	7600	5645	5000K	80
26161	ICE100/841/R/2P/ECO	7300	5425	4100K	80
26152	ICE150/835/2P/ECO	12,000	8915	3500K	80
26153	ICE150/841/2P/ECO	12,000	8915	4100K	80
26155 <sup>1</sup>	ICE150/850/2P/ECO	11,650	8655	5000K	80

1. Lumen data for 3500K and 4100K; lumens for 5000K will be slightly lower.

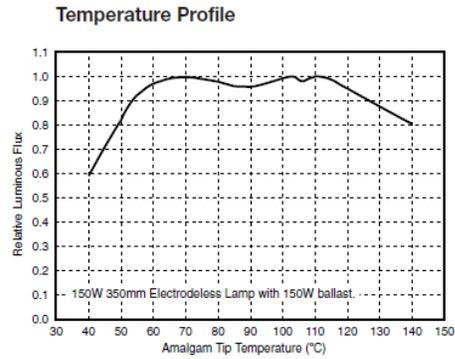
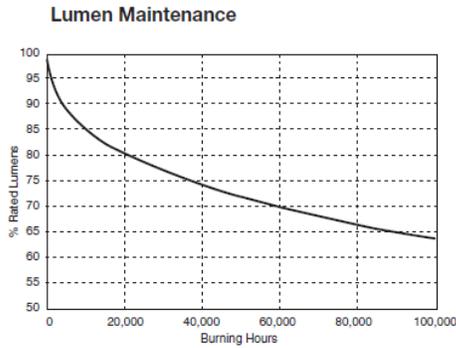
2. Mean Lumens at 40,000 hours.

3. Lumens, wattage, color and CRI measured @ an amalgam tip temperature of 149°F (65°C) for ICETRON® 100 and @ 158°F (70°C) amalgam tip temperature for ICETRON 70 & ICETRON 150.

4. Preliminary engineering data.

## Depreciación del flujo luminoso

### Technical Information



## Luminaria GE Evolve Cobrahead LED



### Fotometrías

CÓDIGO ÓPTICO	TIPO	LÚMENES INICIALES TÍPICOS			CONSUMO DE ENERGÍA TÍPICO DEL SISTEMA		ESPACIADO DEL POSTE (2-4 CARRILES)	NÚMERO DE ARCHIVO IES*		
		4300K	6000K	6500K	120-277V	347-480V		4300K	6000K	6500K
A1	Asimétrico ancho	5400	6000	N/A	95	100	4-6.1	454245	454237	N/A
A2	Asimétrico ancho	7800	8700	N/A	142	149	4-6.1	454246	454238	N/A
A3	Asimétrico ancho	8600	9600	N/A	157	165	4-6.1	454247	454239	N/A
A4	Asimétrico corto	4600	5100	N/A	80	84	2-4.1	454248	454240	N/A
A5	Asimétrico corto	6300	7000	N/A	115	121	2-4.1	454249	454241	N/A
A6	Asimétrico corto	7000	7800	N/A	127	133	2-4.1	454250	454242	N/A
A7	Asimétrico ancho	2800	3100	N/A	52	55	4-6.1	454251	454243	N/A
A8	Asimétrico ancho	3700	4100	N/A	65	68	4-6.1	454252	454244	N/A
B1	Asimétrico corto	5400	6000	N/A	95	100	2-4.1	454583	454577	N/A
B4	Asimétrico ancho	4600	5100	N/A	80	84	4-6.1	454584	454578	N/A
B5	Asimétrico ancho	6300	7000	N/A	115	121	4-6.1	454585	454579	N/A
B6	Asimétrico ancho	7000	7800	N/A	127	133	4-6.1	454586	454580	N/A
B7	Asimétrico corto	2800	3100	N/A	52	55	2-4.1	454587	454581	N/A
B8	Asimétrico corto	3700	4100	N/A	65	68	2-4.1	454588	454582	N/A
C1	Asimétrico ancho	6300	N/A	7020	95	100	4-6.1	454594	N/A	454589
C3	Asimétrico ancho	10260	N/A	11340	157	165	4-6.1	454595	N/A	454590
C5	Asimétrico corto	5670	N/A	6300	115	121	2-4.1	454596	N/A	454591
C6	Asimétrico corto	8280	N/A	9270	127	133	2-4.1	454597	N/A	454592
C7	Asimétrico ancho	3240	N/A	3600	52	55	4-6.1	454598	N/A	454593

\*Disponible en opciones con protector. Contacte la fábrica para los archivos IES.

## Resumen

características	Cosmopolis Philips		Inducción		LED GE
			Philips	Osram	
Potencia [W]	90	140	165	150	157
Fp	0.9		0.98		0.98
Flujo luminoso [Lm]	10450	16500	12.000	12.000	9600
Eficacia [Lm/W]	96-118		65-85		60-120
IRC	65		80	80	70
Tc [°K]	2.600-2.850		5.000	5.000	6.000
Vida útil [hrs]	16.000-30.000		100.000	60.000	50.000

Realizando el análisis para una vía principal observamos que la luminaria cosmopolis de la Philips para el flujo luminoso que entrega (mayor entre todas las alternativas) tiene un consumo de energía menor, características importantes ya que destaca que sea posible que cumpla la normativa establecida a un menor consumo. En cuanto a la eficacia el rango de la cosmopolis también es mayor pero cabe destacar lo nombrado en la geometría óptica adecuada de la luminaria LED donde la mayor parte del flujo es utilizado o direccionado hacia la calzada.

La luminaria de inducción en las características colorimétricas resalta en cuanto a la cosmopolis y es competitiva con la luminaria LED, también la característica de la vida útil es mejor pero genera dudas ya que la depreciación del flujo luminoso representada por los datos de la lámpara de Osram ya a las 20.000 horas el flujo luminoso se depreciado un 20 % dato respaldado por las característica de vida útil de las otras lámparas de otras marcas. Es posible que consideren las 100.000 horas por una estimación del agotamiento de los componentes que conforman la lámpara que conlleven a su apagado.

La IESNA LM-80 certifica a la luminaria LED GE que al 20 % de depreciación del flujo estas alcanzan una vida útil 50.000 horas lo cual no indica que se apague estudios dicen que los LEDs tienen una durabilidad de 100.000 horas de uso dependiendo de condiciones de trabajo.

## Análisis económico

		Costo lámpara	Costo luminaria
<b>Cosmopolis Philips</b>		<b>300 BF</b>	<b>1.500 – 2000 BF</b>
<b>Inducción</b>	<b>Philips</b>	<b>80€ - 520BF</b>	<b>400€ - 2600 BF</b>
	<b>Osram</b>		
<b>LED GE</b>		<b>0 BF</b>	<b>6.347 BF</b>

Da como resultado lo concluido en el proyecto de grado que la luminaria LED el costo de adquisición es muy elevado y otra desventaja es que los remplazos por razones externas debido a que están expuesta en la calle como vandalismo y choque contra el poste se ven obligados a remplazar toda la luminaria por las características propias (luminaria-lámpara integrado) que aun en el país no se comercializan las partes.

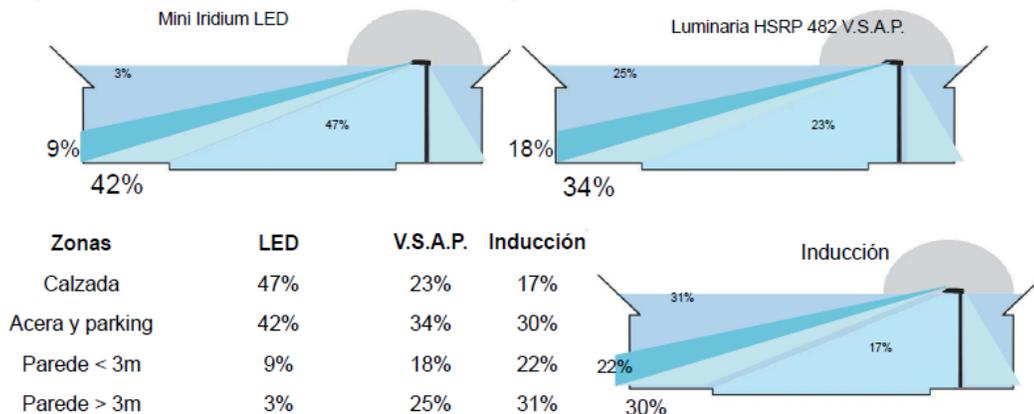
La tecnología de inducción y la mejora en HID MH cosmopolis son competitivas en costo sin embargo, la tecnología de inducción por sus características fotométricas y VIDA UTIL 60.000 horas destaca su conveniencia económica.

## PHILIPS

### Sistemas ópticos

*Como sacar el máximo provecho a la luz*

*Cuanto más pequeña es la fuente del luz más fácil es llevar la luz donde se necesita*

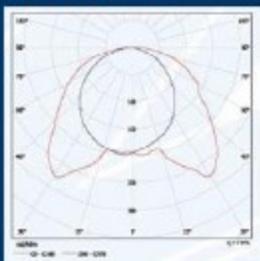


En la actualidad la mejor solución cuando queremos fuentes de luz de larga vida son los LEDs, con una vida útil de 60.000 horas obtenemos el mejor factor de utilización y por lo tanto la mejor eficiencia energética. Son además libres de mercurio y su pequeño tamaño nos ayuda a reducir el impacto medioambiental en el transporte y en el uso de materiales.

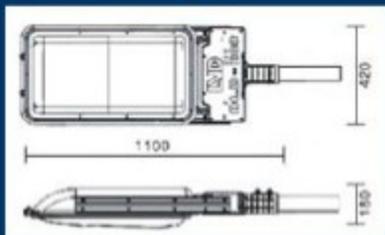
Corrida piloto DIALUX  
**Inducción Magnética ENERHELIA**  
Model 0612B.



Curva de distribución



Dimensión del aparato



Categoría: Farola.

No.: 0612B.

Dimensión: 1100x420x180 mm.

Potencia: 120 W – 300 W.

Dimensión embalaje: 1180x495x270 mm.

Características:

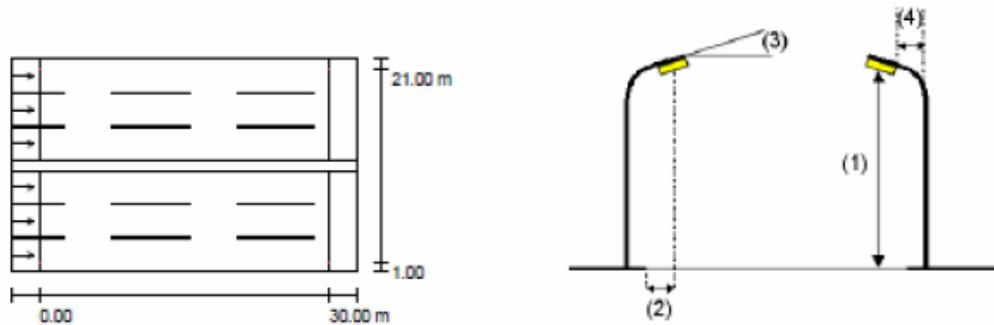
1. Cuerpo y caja eléctrica moldeados en alta presión de aluminio.
2. Cristal templado resistente a las altas temperaturas e intensidades.
3. Óptima distribución de la luz, reflector de alta pureza de aluminio.
4. Tecnología de pulverización estática de plástico en la superficie.
5. Switch controlador opcional.
6. Instalación por separado del balastro y la lámpara.
7. Con esta lámpara sin electrodo de serie Square, el aparato dispone de las características como alta eficiencia luminosa, vida larga, alto rendimiento de color, luz constante y suave, libre de estroboscopia, ahorro de energía y flujo luminoso constante

**Perfil de la vía pública**

Calzada 2	(Anchura: 10.500 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcoén central	(Anchura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 10.500 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.70

**Disposiciones de las luminarias**



Flujo luminoso de las luminarias:	16000 lm
Potencia de las luminarias:	208.3 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Altura de montaje (1):	10.000 m
Altura del punto de luz:	9.903 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.026 m
Inclinación del brazo (3):	15.0 °
Longitud del brazo (4):	1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica  
 con 70° : 130 cd/klm  
 con 80° : 85 cd/klm  
 con 90° : 44 cd/klm  
 Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).  
 La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.  
 La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Trama: 10 x 9 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

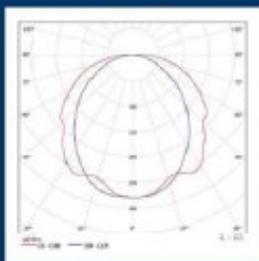
Valores reales según cálculo:	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores de consigna según clase:	1.28	0.6	0.6	15	0.9
Cumplido/No cumplido:	≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.6	≤ 15	≥ 0.5
	✓	✓	✓	✓	✓

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
24	13	30	0.545	0.331

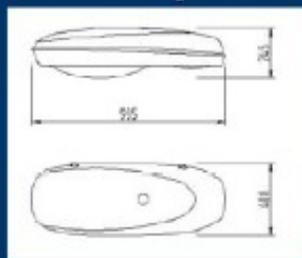
Model 06-008.



### Curva de distribución



### Dimensión del aparato



Categoría: Farola.

No.: 06 – 008.

Dimensión: 335x400x245 mm.

Potencia: 120 W – 200 W.

Dimensión embalaje: 960x410x290 mm.

Características:

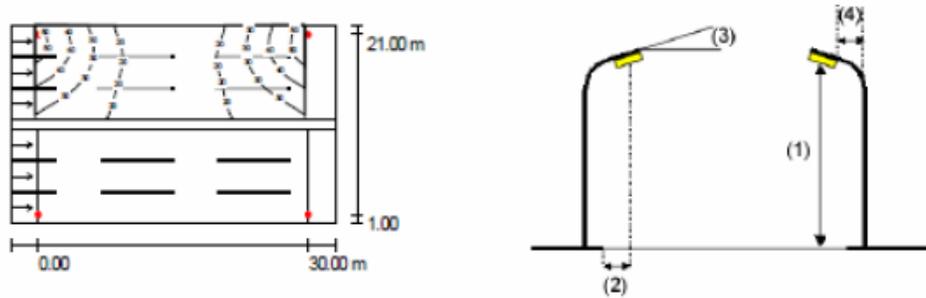
1. Modelado de alta presión por aluminio.
2. Alta intensidad, cristal templado resistente a las altas temperaturas.
3. Óptima distribución de la luz.
4. Pulverización estática de plástico para la superficie.
5. Switch controlador opcional.
6. Con esta lámpara sin electrodo de serie Square, el aparato dispone de las características como alta eficiencia luminosa, vida larga, alto rendimiento de color, luz constante y suave, libre de estroboscopia, ahorro de energía y flujo luminoso constante.

### Perfil de la vía pública

Calzada 2	(Anchura: 10.500 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central	(Anchura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 10.500 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.70

### Disposiciones de las luminarias



Flujo luminoso de las luminarias:	16000 lm
Potencia de las luminarias:	212.3 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Altura de montaje (1):	10.000 m
Altura del punto de luz:	10.000 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.000 m
Inclinación del brazo (3):	15.0 °
Longitud del brazo (4):	1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica	
con 70 ° :	139 cd/klm
con 80 ° :	98 cd/klm
con 90 ° :	53 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.	

Trama: 10 x 9 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

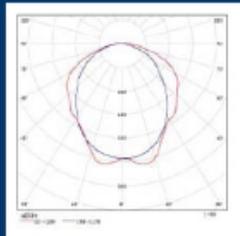
	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.36	0.6	0.7	18	0.8
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.6	≤ 15	≥ 0.5
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓		✓

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
28	13	51	0.490	0.250

Model 06-007.

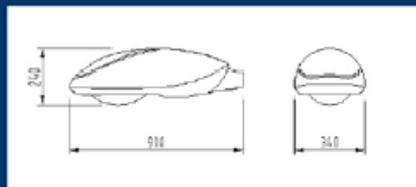


### Curva de distribución



Lámpara Venus de 40 W

### Dimensión



Categoría: Farola.

No.: 06 – 007.

Dimensión: 900x340x240 mm.

Potencia: 20 W – 40 W.

Características:

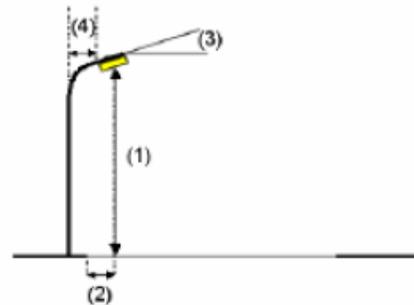
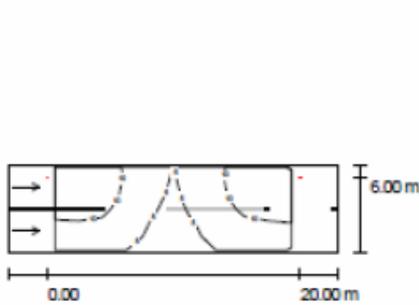
1. Moldeado de alta presión por aluminio.
2. Alta intensidad, vidrio templado resistente a las altas temperaturas.
3. Ofrece una óptima distribución de reflexión de alta pureza de aluminio moldeado sólo una vez.
4. Tecnología de pulverización estática de plástico a superficie.
5. Cuerpo de la lámpara y cavidad cerradas herméticamente.
6. Con esta lámpara sin electrodo de serie Venus, el aparato dispone de las características como alta eficiencia luminosa, vida larga, alto rendimiento de color, luz constante y suave, libre de estroboscopia, ahorro de energía y flujo luminoso constante.

**Perfil de la vía pública**

Calzada (Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.70

**Disposiciones de las luminarias**



- Flujo luminoso de las luminarias: 3200 lm
- Potencia de las luminarias: 40.0 W
- Organización: unilateral arriba
- Distancia entre mástiles: 20.000 m
- Altura de montaje (1): 7.000 m
- Altura del punto de luz: 6.903 m
- Saliente sobre la calzada (2): 1.026 m
- Inclinación del brazo (3): 15.0 °
- Longitud del brazo (4): 1.500 m

- Valores máximos de la intensidad lumínica
- con 70° : 130 cd/klm
- con 80° : 85 cd/klm
- con 90° : 44 cd/klm
- Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).
- La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.
- La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Trama: 10 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:  
 Valores de consigna según clase:  
 Cumplido/No cumplido:

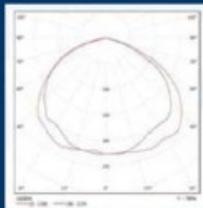
$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
0.48	0.4	0.6	13	0.7
≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.6	≤ 15	≥ 0.5
	✓	✓	✓	✓

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
8.67	3.75	15	0.432	0.247

**Model 0639.**

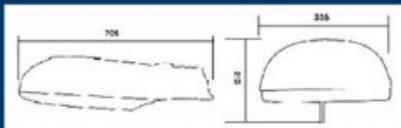


**Curva de distribución**



Lámpara Saturno de 80 W

**Dimensión del aparato**



Categoría: Farola.

No.: 0639.

Dimensión: 705x335x210 mm.

Potencia: 40 W – 80 W.

Dimensión embalaje: 725x365x225 mm.

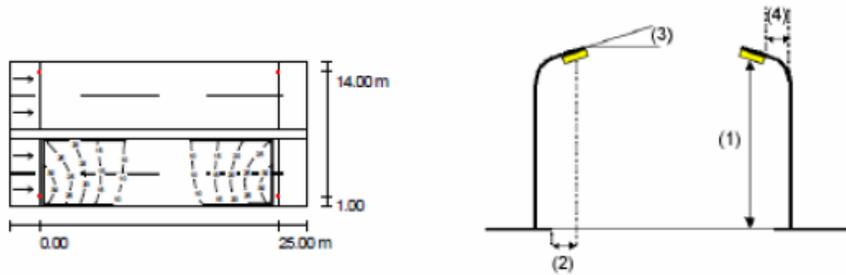
**Características:**

1. Cuerpo de aleación de aluminio moldeado.
2. Reflector de óxido de aluminio de alta pureza, ofrece mejor distribución de luz.
3. Pulverización estática de plástico para la superficie.
4. Switch controlador opcional.
5. Con esta lámpara sin electrodo de serie Saturno, el aparato dispone de las características como alta eficiencia luminosa, vida larga, alto rendimiento de color, luz constante y suave, libre de estroboscopia, ahorro de energía y flujo luminoso constante.

Calzada 2 (Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)  
 Arcén central (Anchura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)  
 Calzada 1 (Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.70

Disposiciones de las luminarias



Flujo luminoso de las luminarias: 6400 lm  
 Potencia de las luminarias: 95.7 W  
 Organización: bilateral frente a frente  
 Distancia entre mástiles: 25.000 m  
 Altura de montaje (1): 8.000 m  
 Altura del punto de luz: 7.903 m  
 Saliente sobre la calzada (2): 1.026 m  
 Inclinación del brazo (3): 15.0 °  
 Longitud del brazo (4): 1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica  
 con 70° : 109 cd/klm  
 con 80° : 75 cd/klm  
 con 90° : 34 cd/klm  
 Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).  
 La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.  
 La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.8.

Trama: 10 x 6 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores de consigna según clase:	0.79	0.6	0.6	10	0.8
Cumplido/No cumplido:	≥ 0.75	≥ 0.4	≥ 0.6	≤ 15	≥ 0.5
	✓	✓	✓	✓	✓

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
16	6.49	31	0.406	0.212

# Luminaria GE Evolve LED Cobrahead ERMC

Corrida piloto Tesla

Universidad de Carabobo



Proyecto elaborado por Eduardo Tovar, Cesar Palma  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## Av Monseñor Adams / Datos de planificación

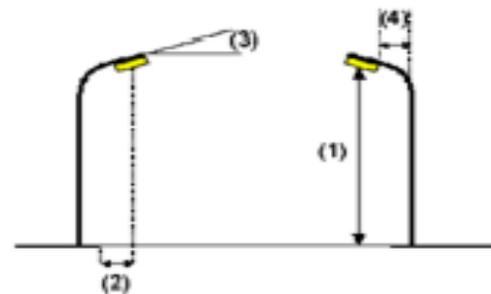
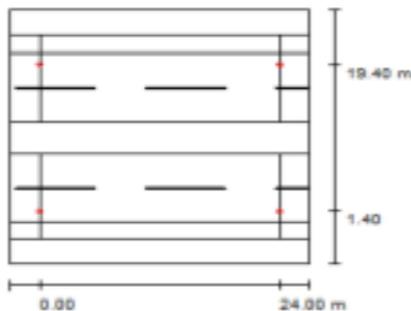
Corrida con luminaria LED IESNA RP8

### Perfil de la vía pública

Línea verde 2	(Anchura: 3.000 m)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.000 m)
Calzada 2	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 4.000 m, Altura: 0.400 m)
Calzada 1	(Anchura: 8.400 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 1	(Anchura: 2.000 m)
Línea verde 1	(Anchura: 3.000 m)

Factor mantenimiento: 0.95

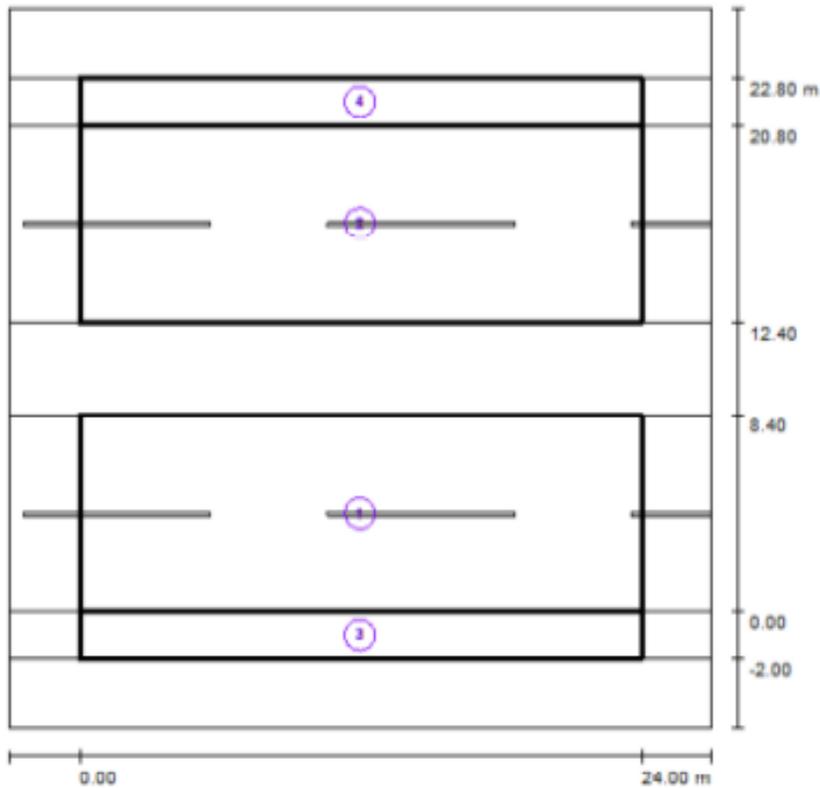
### Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	GE LIGHTING SOLUTIONS <a href="http://www.gelightingssolutions.com">www.gelightingssolutions.com</a> ERMC_A360A_
Flujo luminoso (Luminaria):	9599 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	9599 lm
Potencia de las luminarias:	157.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	24.000 m
Altura de montaje (1):	12.000 m
Altura del punto de luz:	11.882 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.400 m
Inclinación del brazo (3):	0.0 °
Longitud del brazo (4):	1.800 m

EVOLVE ROADWAY MED COBRAHEAD ROADWAY MEDIUM  
Valores máximos de la Intensidad luminica  
con 70°: 514 cd/kim  
con 80°: 147 cd/kim  
con 90°: 0.00 cd/kim  
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).  
Ninguna Intensidad luminica por encima de 90°.  
La disposición cumple con la clase de intensidad luminica G2.  
La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

## Av Monseñor Adams / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.95

Escala 1:288

### Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1  
 Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.  
 Método IES: Illuminance

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

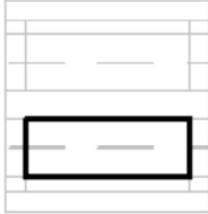
	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_v \max/L_m$
Valores reales según cálculo:	24.0	1.5	0.1
Valores de consigna según clase:	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

<p>2 Recuadro de evaluación Calzada 2          Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m          Trama: 3 x 3 Puntos          Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.          Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070          Clasificación de vías públicas: Major high ped. confl.          Método IES: Illuminance</p>	<p>(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)</p>												
<p>Valores reales según cálculo:          Valores de consigna según clase:          Cumplido/No cumplido:</p>	<table border="0"> <tr> <td><math>E_m</math> (R3) [lx]</td> <td><math>E_m/E_{min}</math></td> <td><math>L_{v\ max}/L_m</math></td> </tr> <tr> <td>24.0</td> <td>1.5</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td><math>\geq 17.0</math></td> <td><math>\leq 3.0</math></td> <td><math>\leq 0.3</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> </table>	$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$	24.0	1.5	0.1	$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$	✓	✓	✓
$E_m$ (R3) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$											
24.0	1.5	0.1											
$\geq 17.0$	$\leq 3.0$	$\leq 0.3$											
✓	✓	✓											

<p>3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1          Longitud: 24.000 m, Anchura: 2.000 m          Trama: 10 x 2 Puntos          Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.          Revestimiento de la calzada: , q0:          Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.          Método IES: Illuminance</p>	<p>(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)</p>												
<p>Valores reales según cálculo:          Valores de consigna según clase:          Cumplido/No cumplido:</p>	<table border="0"> <tr> <td><math>E_m</math> (R1) [lx]</td> <td><math>E_m/E_{min}</math></td> <td><math>L_{v\ max}/L_m</math></td> </tr> <tr> <td>12.4</td> <td>1.2</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td><math>\geq 5.0</math></td> <td><math>\leq 6.0</math></td> <td><math>\leq 0.4</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> </table>	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$	12.4	1.2	0.1	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$	✓	✓	✓
$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$											
12.4	1.2	0.1											
$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$											
✓	✓	✓											

<p>4 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2          Longitud: 24.000 m, Anchura: 2.000 m          Trama: 10 x 2 Puntos          Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.          Revestimiento de la calzada: , q0:          Clasificación de vías públicas: Local med. ped. confl.          Método IES: Illuminance</p>	<p>(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)</p>												
<p>Valores reales según cálculo:          Valores de consigna según clase:          Cumplido/No cumplido:</p>	<table border="0"> <tr> <td><math>E_m</math> (R1) [lx]</td> <td><math>E_m/E_{min}</math></td> <td><math>L_{v\ max}/L_m</math></td> </tr> <tr> <td>12.4</td> <td>1.2</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td><math>\geq 5.0</math></td> <td><math>\leq 6.0</math></td> <td><math>\leq 0.4</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> </table>	$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$	12.4	1.2	0.1	$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$	✓	✓	✓
$E_m$ (R1) [lx]	$E_m/E_{min}$	$L_{v\ max}/L_m$											
12.4	1.2	0.1											
$\geq 5.0$	$\leq 6.0$	$\leq 0.4$											
✓	✓	✓											

## Av Monseñor Adams / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



7.000	<u>31</u>	25	<u>31</u>
4.200	27	20	27
1.400	20	<u>16</u>	20
m	4.000	12.000	20.000

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
24	16	31	0.671	0.514

### Av Monseñor Adams CIE / Resultados luminotécnicos

**1** Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.66	0.85	0.95	7	0.83
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

**2** Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 24.000 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.66	0.85	0.95	7	0.83
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

## Luminaria Philips SGP340 FG 1xCPO-TW153W EB TP P1

### 1 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

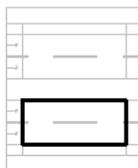
	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.30	0.84	0.90	6	0.82
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

### 2 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 19.600 m, Anchura: 8.400 m  
 Trama: 3 x 3 Puntos  
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.  
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070  
 Clase de iluminación seleccionada: ME3c

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	2.30	0.84	0.90	6	0.82
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓



7.000	47	47	47
4.200	43	40	43
1.400	32	26	32
m	3.267	9.800	16.333

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 3 x 3 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
40	26	47	0.646	0.542

## Resumen

Luminarias	Interdistancia (m)	Altura montaje (m)	Flujo (Lm)	Em (Lux) ≥ 17	Lm (Cd/m <sup>2</sup> ) ≥ 1	U <sub>0</sub> ≥ 0.40	UI ≥ 0.5	TI (%) ≤15	SR ≥ 0.5
0612B Ind-208W	30	10	16000	24	1.28	0.6	0.6	15	0.9
06-008 Ind-212W	30	10	16000	26	1.36	0.6	0.7	18	0.8
06-007 Ind-40W	20	7	3200	8.67	0.48	0.4	0.6	13	0.7
0639 Ind-95.7W	25	8	6400	16	0.79	0.6	0.6	10	0.8
Cosmopolis 153 W	19.6	10	12397	40	2.30	0.84	0.95	7	0.82
LED 157 W	19.6	10	9600	32	2.21	0.81	0.94	8	0.72
LED 157 W recomendado	24	12	9600	24	1.66	0.85	0.95	7	0.83

**Tabla 4.16:** Tabla resumen de la comparación luminotécnica entre las luminarias convencionales y Luminaria tipo LED a través del software Dialux (C.I.E)

Una de las grandes ventajas en la utilización de la tecnología LED está en el hecho de que su respuesta espectral esta sintonizada con la sensibilidad del ojo humano en la región mesópica, lo que potencia de forma clara y significativa su desempeño.

Los niveles de luminancia en cuestión son aproximadamente los siguientes:

- Modo fotópico-  $L \geq 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo mesópico-  $0,01 < L < 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo escotópico-  $L \leq 0,01 \text{ cd/m}^2$

Las tecnologías de lámparas de inducción tienen mayor alcance que las LED pero se observa con una luminaria que consume más energía, sin embargo, cumplen los valores de confort y capacidad visual el único detalle es que los niveles de deslumbramiento son mayores a lo que establece la norma.

## **A20. GLOSARIO**

Balasto: es un dispositivo que se utiliza con las lámparas HID para obtener las condiciones necesarias (voltaje, corriente y forma de onda) para iniciar y operar.

Candela (cd): la candela es una unidad perteneciente del SI de intensidad luminosa. Una candela es un lumen por estereorradián. Anteriormente llamado vela.

Corriente térmica: esta referida a la disipación de calor que ocurre en un paquete LED, en un circuito de modelo térmico, la disipación de energía es modelada como una fuente de corriente.

Deslumbramiento: es la sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es lo suficientemente mayor a la luminancia que puede permitir el ojo provocando así molestia o pérdida momentánea de la visión,

Fotón: es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio

Semiconductor: es un elemento que se comporta como un conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre

Producto Interno Bruto (PIB): es una medida agregada que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país durante un período (normalmente, un año).

UVA: comprenden la radiación solar menos nociva. La longitud de esta onda se encuentra entre los 320 y 400 nm y la mayoría de estos rayos llega a la superficie terrestre.

UVB: su longitud de onda oscila entre 280 y 320 nm. Estos son absorbidos en gran parte por la capa de ozono, pero sin embargo llegan a la superficie terrestre.

Visión foveal: esta nos permite ver con gran nitidez, que abarca un ángulo sólido muy pequeño (alrededor de unos 3° de campo visual) lo que hace que tengamos que mirar directamente a un objeto para verlo con claridad

Visión periférica: esta procede del resto de la retina, que da muy poca resolución pero es muy sensible al movimiento y ayuda a situarnos en el espacio.