



# “EVALUACIÓN DE POTENCIALES Y PROPUESTA DE ESQUEMA OPERATIVO y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO MUNICIPAL”

MINISTERIO DE ENERGÍA  
BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID).  
VICEMINISTRO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS

FECHA: 4 de Septiembre del 2018

Elaborado para: Ministerio de Energía y Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Autor: Javier Ortega Solís

Las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión del Banco Interamericano de Desarrollo.

**El presente estudio fue elaborado por el ingeniero Javier Ortega Solís, bajo la supervisión del Ingeniero Sergio Enrique Ballón López (BID), en el marco del Sustainable Energy For All (SE4ALL), para la cual el BID es el centro regional de ALC (SE4ALL Américas).**

**El alcance de este informe corresponde a los puntos definidos en los términos de referencia, que se señalan a continuación:**

1. Revisar, bajo la orientación del personal de asignado a esta consultoría, toda la información disponible que permita contar con elementos para realizar una estimación de los potenciales de ahorro de energía existentes en los municipios de referencia, así como del monto de inversiones requeridas; entre la información a revisar se puede mencionar, a manera de orientación, la normativa de alumbrado público, los balances de energía vendida por las empresas distribuidoras a los municipios, el porcentaje calculado por el ente regulador para el alumbrado público, el/los tipos de luminarias existentes actualmente en los municipio, sistema tarifaria del pago de la energía eléctrica en la municipalidad de evaluación, entre otros.
2. Estimar los potenciales de ahorro y clasificarlos en función del tipo de luminaria a sustituir en caso co-existan tecnologías diversas en el parque lumínico existente, nivel de consumo de energía, potenciales de ahorro, y rentabilidad.
3. Determinar las medidas de eficiencia factibles, así como lo niveles de inversión y rentabilidad de las mismas por municipio de referencia, de acuerdo con la clasificación indicada en la actividad 2).
4. Establecer un potencial de ahorro de energía técnica y económicamente rentable y la inversión requerida para distintos escenarios de % de recambio en los municipios participantes en el Programa de Ahorro de Energía.
5. Revisar los antecedentes y propuestas de mecanismos de financiamiento de medidas de eficiencia energética considerados a la fecha, incluyendo los aspectos e instrumentos legales y administrativos considerados.
6. Diseñar y proponer uno o varios mecanismos financiero/administrativos para financiar medidas de ahorro de energía ya sea por inversiones directas del gobierno (o municipio) o a través de terceros que son pagados con los ahorros económicos de los proyectos.
7. Diseñar Términos de Referencia para la contratación y supervisión de firma o individuos que realicen los censos técnicos de los parques lumínicos existentes para los sitios que sean necesarios.

8. Diseñar Términos de Referencia para la licitación de las obras y bienes necesarios para el recambio de luminarias y/o accesorios, según corresponda en los municipios mencionados.
9. El consultor deberá viajar a Bolivia según sea necesario para ejecutar la presente consultoría.

# Contenido

1	Resumen Ejecutivo .....	8
1.1	Situación actual .....	8
1.2	Simulaciones realizadas .....	10
1.3	Análisis de resultados y opciones de sustitución recomendadas .....	11
1.4	Normatividad Boliviana .....	13
1.4.1	Recomendaciones generales .....	15
1.5	Determinación monto de inversión para implementar medidas de eficiencia energética. ....	17
1.5.1.1	Municipio de Oruro .....	17
1.5.1.2	Municipio de Potosí .....	18
1.6	Experiencias Internacionales de Programas de Eficiencia Energética .....	19
1.7	Propuesta de Mecanismo para implantar las medidas de eficiencia energética en las Municipalidades. ....	20
2	Metodología de trabajo para estimar los potenciales de ahorro, monto de inversión. ....	24
2.1	Antecedentes .....	24
2.2	Objetivo de la consultoría .....	25
2.3	Metodología de Trabajo .....	25
2.3.1	Etapa 1.- Evaluación Técnica .....	27
2.3.2	Etapa 2.- Estrategia de Operación .....	28
3	Análisis de la información del Sistema de Alumbrado Público en Municipios de Oruro y Potosí de Bolivia 29	
3.1	Información de Consumos de Municipios de Oruro y Potosí de Bolivia. ....	29
3.1.1	Municipio de Oruro .....	29
3.1.2	Municipio de Potosí .....	30
3.2	Sistema de Alumbrado Publico Actual. ....	30
3.2.1	Municipio de Oruro .....	30
3.2.2	Municipio de Potosí .....	34
3.3	Tipo de Viabilidades para Alumbrado Publico .....	36
3.3.1	Municipio de Oruro .....	36
3.3.2	Municipio de Potosí .....	38
3.4	Lámparas para Alumbrado Público .....	40
3.4.1	Tipo de lámparas Actuales .....	40
3.4.2	Comparación de tecnologías de iluminación para Alumbrado Público .....	42
3.4.3	Nuevas tecnologías para Alumbrado Publico .....	44
3.5	Normatividad internacional y Boliviana .....	46
3.5.1	Normatividad internacional .....	46
3.5.2	Normatividad Boliviana .....	48
3.6	Recomendaciones generales .....	50
4	Determinar potenciales de ahorro de energía, económicas y definir medidas de Eficiencia Energéticas en Municipios de Bolivia .....	53
4.1	Situación actual .....	53
4.2	Simulaciones realizadas .....	55
4.3	Análisis de resultados y opciones de sustitución recomendadas .....	59
4.3.1	Determinar las medidas eficientes y su base metodológica de cálculo energético....	63
4.3.2	Cálculo de ahorro de energía en sistema de iluminación .....	65
4.3.2.1	Metodología para calcular el ahorro de energía eléctrica en sistemas de iluminación tipo fluorescente .....	65

4.3.3	<i>Estimación de ahorro de energía en sistema de iluminación para Alumbrado Público</i> .....	66
4.3.3.1	Municipio de Oruro.....	66
4.3.3.1	Municipio de Potosí.....	70
5	Estimación de monto de inversión para implementar medidas en el Sistema de Alumbrado Público Municipal .....	74
5.1	Determinación monto de inversión para implementar medidas de eficiencia energética. ....	74
5.1.1.1	Municipio de Oruro.....	74
5.1.1.2	Municipio de Potosí.....	75
6	Antecedentes, aspectos e instrumentos legales y administrativos considerados a la fecha. ....	77
6.1	Antecedentes.....	77
6.2	Experiencias internacionales.....	78
6.3	México 78	
6.3.1	<i>Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)</i> .....	78
6.3.1.1	Programa Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal. ....	78
6.3.2	<i>Fideicomiso para el Ahorro de Electricidad (FIDE)</i> .....	80
6.3.2.1	Objetivos Estratégicos .....	81
6.3.2.2	Proyectos, Programas y Acciones de Apoyo Operados por el FIDE .....	82
6.3.3	<i>Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE)</i> .....	86
6.3.3.1	Reglas de Operación del Fideicomiso Público de Administración y Pago Denominado FOTEASE .....	86
6.4	Panamá .....	89
6.4.1	<i>Estructura general del FUREE</i> .....	90
6.5	Uruguay .....	92
6.5.1	<i>Fideicomiso Uruguayo de Ahorro y Eficiencia Energética (FUNDAEE)</i> .....	92
6.5.2	<i>Fondo de Eficiencia Energética (FEE)</i> .....	93
6.6	Brasil .....	94
6.7	Argentina .....	97
6.7.1	<i>Donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF en inglés)</i> .....	98
6.7.2	<i>Fondo Argentino de Eficiencia Energética</i> .....	99
7	Posibles mecanismos financiero/administrativos para financiar medidas de ahorro de energía en Municipalidades.....	100
7.1	Alternativa 1: Canalizar recursos a un Agente operador que de forma centralizada concurse e implante las medidas de eficiencia energética en las Municipalidades, mediante contratos por desempeño <i>ex ante</i> .....	100
7.2	Alternativa 2: Canalizar recursos a las Municipalidades para contratar la adquisición e instalación de equipo que genere eficiencia energética en Alumbrado Público, mediante validación <i>ex ante</i> de que la inversión tendrá un retorno en un plazo de hasta 5 años. ....	105
8	Términos de Referencia para Proyecto de Eficiencia Energética Alumbrado Público. ....	106
Anexo 1.-	Casos simulados y resultados obtenidos de DIALux.....	116
Anexo 2.-	Análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones .....	119
Anexo 3.-	Precios de Luminarias y costos de instalación .....	122

## Listado de Tablas

Tabla 1.	Participación de tipo de luminaria Alumbrado Público Municipio de Oruro .....	30
Tabla 2.	Participación de tipo de luminaria Alumbrado Público Municipio de Oruro .....	32
Tabla 3.	Cantidad de luminaria por potencia y tipo de luminaria Municipio de Potosí .....	34
Tabla 4.	Clase de iluminación para diferentes tipos de vías de acuerdo con la NB 1412001-2 .....	49
Tabla 5.	Criterios de control para las clases de iluminación de acuerdo con la NB 1412001-2 .....	49
Tabla 6.	Censo alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí .....	53
Tabla 7.	Configuraciones de avenidas utilizadas para las simulaciones .....	55
Tabla 8.	Resumen de las marcas y modelos de luminarias que se emplearon como opciones de sustitución en las simulaciones .....	57
Tabla 9.	Comparación entre los resultados de las simulaciones de un luminario de VSAP de 250 W y un luminario de LEDs de 134 W para la configuración No. 8. ....	59
Tabla 10.	Comparación de Indicadores de Desempeño Energético. ....	60
Tabla 11.	Potencias recomendadas con base en las simulaciones realizadas .....	61
Tabla 12.	Potencias recomendadas con base en la eficacia y depreciación del flujo luminoso .....	62
Tabla 13.	Definiciones de los parámetros para el cálculo energético y consideraciones ...	64
Tabla 14.	Sistema Actual vs Sistema Propuesto .....	66
Tabla 15.	Comparativo de ahorro de energía en Parques y Plazas .....	68
Tabla 16.	Estimación potencial de ahorro Municipio de Oruro .....	69
Tabla 17.	Estimación potencial de ahorro Avenidas y calles Municipio de Potosí .....	71
Tabla 18.	Estimación potencial de ahorro Avenidas y calles Municipio de Potosí .....	72
Tabla 19.	Tabla resumen de ahorros y rentabilidad Municipio de Oruro .....	74
Tabla 20.	Tabla Resumen de ahorros y rentabilidad Municipio Potosí .....	76
Tabla 21.	Proyectos y programas vigentes operados por el FIDE .....	85
Tabla 22.	Resumen de Características del FOTEASE .....	87
Tabla 23.	Características del FUREE .....	91
Tabla 24.	Roles propuestos para mecanismo de financiamiento de forma centralizada se implante MEE .....	103

## Lista de Figuras

Figura 1.	Metodología de la consultoría.....	26
Figura 2.	Método de Trabajo.....	26
Figura 3.	Gasto de Energía por Sector Municipio de Oruro .....	29
Figura 4.	Distribución por tipo de lámpara Municipio de Oruro .....	31
Figura 5.	Historial de cantidad de Luminarias reportadas 2016,2017 .....	32
Figura 6.	Historial de cantidad de Luminarias reportadas 2016 .....	33
Figura 7.	Distribución por tipo de lámpara Municipio de Potosí .....	35
Figura 8.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas.....	36
Figura 9.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria Municipio de Oruro .....	36
Figura 10.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria .....	37
Figura 11.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria Municipio de Oruro .....	37
Figura 12.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria .....	38
Figura 13.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria Municipio Potosí.....	39
Figura 14.	Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria .....	40
Figura 15.	Eficacia de las principales tecnologías de Alumbrado Público.....	42
Figura 16.	Vida nominal de principales tecnologías de Alumbrado Público .....	43
Figura 17.	Depreciación del flujo luminoso de las principales tecnologías de alumbrado público (al 40% de la vida nominal). .....	43
Figura 18.	Intervalo de los niveles de iluminación para alumbrado de avenidas recomendados por la CIE y la IES.....	48
Figura 19.	Ejemplo de simulaciones, Software Dialux.....	58
Figura 20.	Ejemplo de simulaciones, Software Dialux.....	58
Figura 21.	Metodológica de determinar potencial de ahorro energético .....	63
Figura 22.	<i>Relación entre Ahorro Energético e Índice de Mejora de Desempeño Energético</i> .....	64
Figura 23.	Potencial de Ahorro de energía MWh/año.....	69
Figura 24.	Potencial de Ahorro de energía MWh/año.....	72
Figura 25.	Potencial de Ahorro económico al año Municipio de Oruro .....	75
Figura 26.	Potencial de Ahorro económico al año Municipio de Potosí .....	76
Figura 27.	Esquema de Operación Programa de Alumbrado Público Municipal de Jalisco .....	80
Figura 28.	Bases legales para el establecimiento de las reglas de operación del FUREE..	91
Figura 29.	Mecanismo de financiamiento mediante un fideicomiso que de forma centralizada concurse e implante las MEE en las Municipalidades. ....	102
Figura 30.	Comparativo de ahorro energético vs inversión anual para el mecanismo de financiamiento mediante un fideicomiso que de forma centralizada concurse e implante las MEE para el APM. ....	104

# 1 Resumen Ejecutivo

El Objetivo de la consultoría, es la estimar los potenciales de ahorro de energía eléctrica en alumbrado público en los Municipios de la ciudad de Oruro y la ciudad de Potosí, Bolivia, evaluar la rentabilidad de las inversiones a realizar para la implementación de las mismas en los municipios señalados y proponer un mecanismo operativo incluyendo el modelo financiero y esquema administrativo que permita el análisis de la implementación de un fondo rotatorio a partir de los ahorros (totales o parciales) generados por un menor consumo eléctrico.

## 1.1 Situación actual

De acuerdo con la visita realizada y la información proporcionada, la mayor parte del alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí está conformada por sistemas de vapor de sodio alta presión. Asimismo en ambos casos tienen algunas luminarias de LEDs y en el caso de Potosí también cuentan con equipos de vapor de mercurio para el alumbrado de avenidas, así como de aditivos metálicos para los parques y plazas y tungsteno para los centros deportivos.

En la siguiente tabla se muestra el censo de alumbrado público que se proporcionó para ambos municipios:

Sistema actual	Potencia	Municipio / Cantidad		Aplicación
		Oruro	Potosí	
LEDs	360 W	372	0	Alumbrado de avenidas
LEDs	210 W	0	600	Alumbrado de avenidas
LEDs	270 W	0	114	Alumbrado de avenidas
Vapor de sodio alta presión	400 W	137	27	Alumbrado de avenidas
	250 W	13,403	1,870	Alumbrado de avenidas
	150 W	2,753	6,893	Alumbrado de avenidas
	100 W	0	0	Alumbrado de avenidas
	70 W	11,791	1,952	Alumbrado de avenidas Parques y plazas
Vapor de mercurio	85 W		0	Parques y plazas
	175 W	145	64	Alumbrado de avenidas
	125 W	263	583	Alumbrado de avenidas
	250 W	59	0	Alumbrado de avenidas



Vapor de aditivos metálicos	1000 W	238	0	Parques y plazas
	400 W	933	0	Parques y plazas
	250 W	479	0	Parques y plazas
	150 W	162	0	Parques y plazas
	100 W	36	0	Parques y plazas
Tungsteno	1000 W	52	0	Campos deportivos
	500 W	16	0	Campos deportivos
<b>Total</b>		<b>30,839</b>	<b>12,103</b>	

Fuente: Elaboración Propia con datos de los Municipios de Oruro y Potosí

Siempre es importante contar con información vigente de los censos de alumbrado público, que incluya el número de luminarias y su potencia nominal, la mayor información posible referente a las características de los equipos. En el Municipio de Potosí, está en proceso de actualización del censo en forma conjunta con el Suministrador de Energía, por lo que todavía falta inventario de plazas y parques.

Por otro lado, de acuerdo con los recorridos realizados, las luminarias se encuentran en avenidas de diferentes tipos y características, predominando las vías primarias y locales de 2 y 3 carriles con control de tráfico escaso. En cuanto a la configuración de las luminarias, en el caso de Oruro es muy común la configuración bilateral apareada, mientras que en el caso de Potosí predomina la configuración unilateral. En ambos casos las distancias interpostales van de 30 a 40 m, con una altura de montaje de 8 a 11 m.

En la mayoría de los casos la potencia de los equipos instalados está acorde con el tipo de vialidad y los niveles de iluminación que se requieren cumplir, sin embargo en los recorridos realizados se detectaron algunos casos en los que los luminarias ya tienen una depreciación considerable por motivos de mantenimiento, por lo que el nivel de iluminación se encuentra castigado.

Asimismo en algunas avenidas se apreció un nivel de iluminación excesivo, como en el caso de la vialidad del municipio de Oruro en la que se instalaron luminarias de LEDs de 360 W; asimismo sucedió en las luminarias de LEDs de 210 y 270 W instalados en el municipio de Potosí que proporcionan un nivel de iluminación por arriba de lo recomendado para el tipo de vialidad en la que se encuentran instalados.

En algunos casos se encontraron situaciones complicadas en las que las luminarias se encuentran a una distancia entre 1, 3 y 5 m de la vialidad, lo que dificulta proporcionar un nivel de iluminación adecuado. Para este tipo de situaciones se recomienda en la medida de lo posible corregir la situación, ya que será difícil encontrar luminarias que proporcionen la iluminación adecuada, sin tenerlos que inclinar excesivamente y generar un deslumbramiento indeseable.

## 1.2 Simulaciones realizadas

Con el fin de analizar las opciones de sustitución para los sistemas de alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí, a fin de evaluar el potencial de ahorro de energía y económico, se realizaron simulaciones en el software DIALux con diferentes tipos de luminarias y tecnologías.

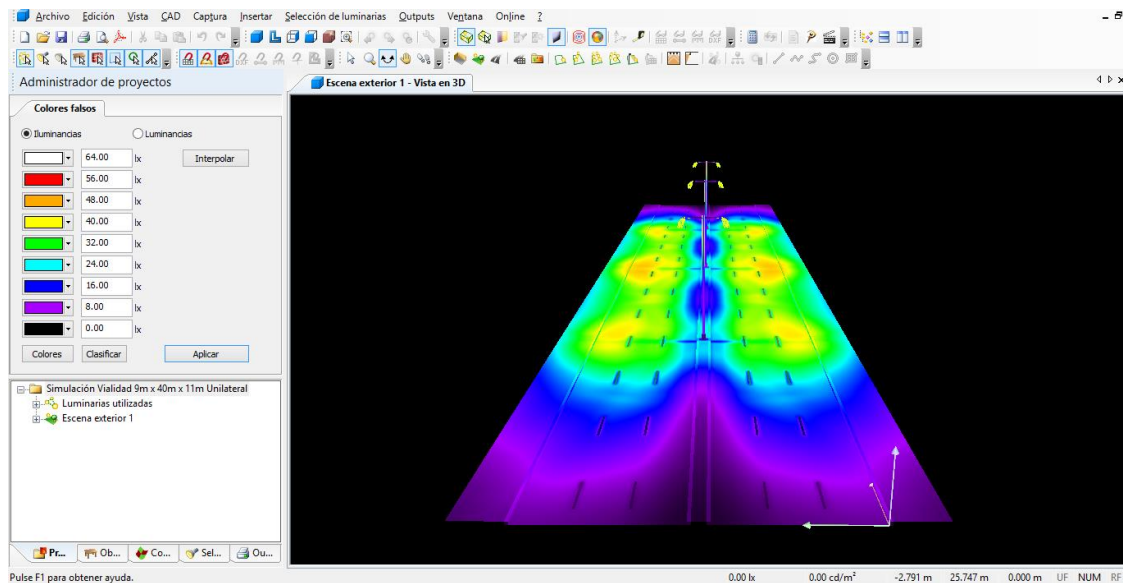
Para realizar las simulaciones se modelaron diferentes tipos de avenidas en el software DIALux, procurando que las configuraciones utilizadas fueran similares a las que se encontraron en los recorridos a los municipios de Oruro y Potosí. En total se modelaron 11 casos diferentes, 7 para el municipio de Oruro y 4 para el municipio de Potosí, tal como se muestra en la tabla 7.

Tomando en cuenta las características observadas en las avenidas, para cada tipo de vialidad se consideró una clase de iluminación específica de acuerdo con la norma NB 1412001-2, a fin de poder evaluar si las opciones propuestas cumplieran con lo establecido en dicha norma. Asimismo, en todos los casos se consideró un pavimento tipo R3, tal como se recomienda en la NB 1412001-2.

Para la selección de las luminarias que se emplearon como opciones de sustitución, se tomaron en cuenta luminarias de alto desempeño de cada una de las tecnologías analizadas y de marcas de reconocido prestigio y trayectoria en la industria de la iluminación, a fin de determinar el potencial de ahorro para cada uno de los casos base. En total se emplearon 41 curvas fotométricas para las opciones de sustitución, de los fabricantes Philips, GE, Cooper Lighting y LED Roadway Lighting, además de las curvas empleadas para los casos base. En la 10 se muestra un resumen de las marcas y modelos empleados como opciones de sustitución.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de las simulaciones realizadas en DIALux.

### Ejemplo de simulaciones, Software Dialux



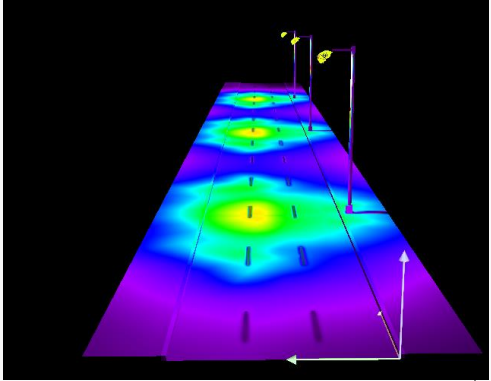
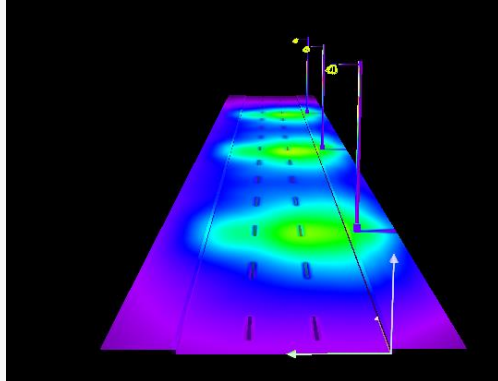
Fuente: Software Dialux

### 1.3 Análisis de resultados y opciones de sustitución recomendadas

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, para cada caso simulado, hay opciones de sustitución que permiten reducir considerablemente la potencia respecto al caso base, manteniendo o incluso mejorando los niveles de iluminación, cumpliendo también con los valores indicados en la norma NB 1412001-2.

En los resultados se observa que la diferencia entre el la potencia, el flujo luminoso y el nivel de iluminación obtenido, no solo está relacionada con la eficacia de las fuentes de luz, sino que también influye la depreciación del flujo luminoso y sobre todo, el control óptico de los luminarias.

Comparación entre los resultados de las simulaciones de un luminario de VSAP de 250 W y un luminario de LEDs de 134 W para la configuración No. 8.

VSAP 250 W		LEDs LRL NXT Lite M 134 W	
			
Potencia de línea	290 W	Potencia de línea	134 W
Flujo luminoso	28,500 lm	Flujo luminoso	16,337 lm
Eficacia	98.3 lm/W	Eficacia	122.1 lm/W
Luminancia promedio	1.27 cd/m <sup>2</sup>	Luminancia promedio	1.63 cd/m <sup>2</sup>

Fuente-. Elaboración propia datos simulaciones

Como parte del análisis de las simulaciones se calcularon algunos indicadores de desempeño energético (EnPI) tomando en cuenta las recomendaciones indicadas en la ISO 50006: Energy Management Systems – Measuring Energy Performance using Energy Baselines (EnB) and Energy Performance Indicators (EnPI) – General Principles and Guidance, incluyendo la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (W/m<sup>2</sup>, considera solo la parte iluminada de la vialidad) y el consumo anual de energía por unidad de iluminancia (kWh/lx), este último para la depreciación el flujo luminoso inicial, a las 12,000 horas y al 70% de la vida nominal de la fuente de luz.

A manera de resumen y para fines comparativos, en la tabla se muestran los intervalos de los resultados obtenidos para cada una de las tecnologías utilizadas en las simulaciones.

Comparación de Indicadores de Desempeño Energético.

Tecnología	Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado [W/m <sup>2</sup> ]	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia promedio (Considerando 12 horas de uso al día)		
		Inicial [kWh/lx]	A las 12,000 horas de vida [kWh/lx]	Al 70% de la vida nominal [kWh/lx]
VSAP	0.37 – 1.47	36.1 – 76.3	43.1 – 102.1	44.5 – 106.0
VSAP Optimizado	0.25 – 0.88	31.2 – 49.4	36.8 – 60.3	37.6 – 62.3
VAM Cerámico	0.21 – 0.49	26.3 – 43.4	32.8 – 54.1	34.4 – 56.7
LEDs	0.13 – 0.70	15.4 – 34.8	17.7 – 39.9	18.7 – 42.1

Fuente-. Elaboración propia

Como se puede observar de acuerdo con las simulaciones realizadas, la tecnología de mejor desempeño energético son las luminarias de LEDs, ya que requieren de una menor potencia instalada por unidad de área y además consumen menos energía por cada unidad de iluminancia promedio que entregan. Después de los LEDs encontramos a los sistemas aditivos metálicos cerámicos y a los sistemas de vapor de sodio alta presión optimizados. En el caso de los LEDs, la reducción de los indicadores es prácticamente del 50%, mientras que en el caso de VAM C y VSAP Opt es de un 25 a un 40%.

A fin de evitar inconvenientes, como parte del concurso que se realice para los proyectos de alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí, se recomienda revisar tanto los resultados simulados de las opciones que se propongan, así como realizar mediciones en campo en las que se prueben los luminarias propuestos a fin de verificar su consumo energético y que cumplan con los niveles de iluminación requeridos por la norma NB 1412001-2.

## 1.4 Normatividad Boliviana

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), es la organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de normas Bolivianas, quien estableció las siguientes normas de Alumbrado Público:

- NB 1412001:1:2013 Alumbrado público - Definiciones (Primera revisión).
- NB 1412001:2:2013 Alumbrado público - Reglas generales y especificaciones técnicas para vías de circulación pública (Primera revisión).
- NB 1412001:3:2013 Alumbrado público - Mantenimiento y depreciación de las instalaciones (Primera revisión).

No obstante, las especificaciones establecidas en la norma NB 1412001-2, son muy similares a las de la CIE 115:2010.

La norma NB 1412001:2:2013 Alumbrado público - Reglas generales y especificaciones técnicas para vías de circulación pública (Primera revisión), establece las reglas fundamentales para que los beneficiarios y/o usuarios circulen sobre las vías públicas con toda seguridad y con el máximo de seguridad, incluyendo: la velocidad de las avenidas, el tipo de cruces y la separación entre usuarios, así como la densidad y control de tráfico

Asimismo, la NB 1412001-2 establece ciertos requerimientos para cada clase de iluminación, en cuanto a los niveles de iluminación, la uniformidad y las condiciones de deslumbramiento, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Criterios de control para las clases de iluminación de acuerdo con la NB 1412001-2

Criterios de control	Zona de aplicación						
	Todas las vías				Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas	
Clase de iluminación	Luminancia (L) mínima mantenida	Iluminancia promedio mínima mantenida (E)'		U <sub>o</sub>	T.I.	U <sub>L</sub>	SR
	[cd/m <sup>2</sup> ]	Calzada clara	Calzada oscura	Valor mínimo	Valor máximo inicial [%]	Valor mínimo	Valor mínimo
M1	2.00	15 - 20	30 - 50	0.4	10	0.5 - 0.71	0.5
M2	1.50	10 - 20	20 - 30	0.4	10	0.5 - 0.72	0.5
M3	1.00	5 - 10	10 - 20	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	2 - 5	5 - 10	0.4	15	No requiere	No requiere
M5	0.50	1 - 3	2 - 6	0.4	15	No requiere	No requiere

Fuente: Normatividad Vigente de Bolivia

En este sentido, los proyectos de ahorro de energía que se realicen para los municipios Oruro y Potosí, deberán cumplir con las especificaciones establecidas en las normas Bolivianas mencionadas anteriormente.

#### **1.4.1 Recomendaciones generales**

Al implementar un proyecto de ahorro de energía en alumbrado público se debe buscar la mejor opción a corto y largo plazo considerando la inversión y los costos operativos, cuidando que sea técnicamente factible y financieramente viable.

Cuando se descuidan aspectos relevantes en la evaluación de las propuestas y en la selección final, se pueden obtener resultados indeseables como el desconocimiento de los ahorros por parte de la compañía suministradora, una alta mortalidad de equipos, incumplimiento de los niveles de iluminación requeridos o falta de liquidez para el pago del financiamiento, entre otros.

Para evitar ese tipo de inconvenientes, los equipos seleccionados deben tener las características que les permitan cumplir las necesidades y expectativas de los usuarios y el administrador del servicio, además de cubrir los requerimientos que solicite la compañía suministradora.

Asimismo se debe contar con el censo actualizado de los equipos e instalaciones con el fin de establecer el caso base y determinar las opciones de sustitución. El censo consiste en cuantificar el número de luminarias, lámparas, balastos, elementos de control y demás elementos que conforman el sistema de alumbrado, indicando sus principales características y el estado en el que se encuentran, así como su ubicación y los detalles de la misma.

Dentro de las recomendaciones básicas para implementar un proyecto de ahorro de energía en alumbrado público se encuentran las siguientes:

##### **Respecto a los equipos:**

- Dar preferencia a las tecnologías de larga vida y baja depreciación, ya que reducen las necesidades de mantenimiento.
- Solicitar las pruebas fotométricas de un laboratorio debidamente acreditado, que incluya la curva fotométrica impresa y en formato electrónico, \*.ies.
- Verificar que los equipos cumplan con las certificaciones de seguridad eléctrica aplicables, a fin de tener la certidumbre de que están diseñados bajo normas y estándares eléctricos adecuados.
- Observar si los equipos cuentan con alguna certificación de eficiencia energética, lo cual los identifica como equipos ahorradores de energía.



- En el caso de las luminarias de LEDs, es altamente recomendable solicitar el certificado de la prueba IES LM-79 para verificar el flujo luminoso y la potencia de entrada del luminario, así como el certificado de la IES LM-80 para verificar la depreciación del mismo, la cual deberá ser proyectada conforme al método establecido en la IES TM-21. En su caso también se pueden aceptar informes de prueba equivalentes basados en recomendaciones de la CIE. Estos certificados dan mayor certidumbre del desempeño ofrecido por un luminario de LEDs.
- Evitar la instalación de *retrofits*, que consisten en cambiar la lámpara y balastro conservando el luminario, ya que en la mayoría de los casos no proporcionan el nivel y distribución de iluminación adecuada, debido a que las luminarias están diseñados para un determinado tipo de lámpara.
- Seleccionar equipos con mayores plazos de garantía por escrito. Es un hecho que entre mayor es el plazo de garantía, mayor es la confianza que tienen los fabricantes de sus productos y su control de calidad. Es recomendable solicitar fianza por la garantía de los equipos, especialmente en caso de tener ofertas con más de 5 años de garantía.
- Favorecer las fuentes de luz con bajo contenido de mercurio y sin otras sustancias potencialmente tóxicas, como lo son vapor de sodio optimizado, aditivos metálicos cerámicos y LEDs.

Respecto a la evaluación y selección de las propuestas:

- Instalar muestras de los equipos y efectuar mediciones en campo de los niveles de iluminación y parámetros eléctricos con equipo debidamente calibrado y certificado, a fin de evaluar que las propuestas cumplan con lo establecido en las normas locales referentes a los niveles de iluminación.
- Invitar a participar a la compañía suministradora en el proceso de evaluación a fin de facilitar el proceso de reconocimiento de ahorros, en caso de que aplique.
- Solicitar información acerca del fabricante y/o proveedor. Evitar empresas que no se especialicen o tengan poca experiencia en iluminación o alumbrado público.
- A fin de reducir el tiempo de recuperación, es recomendable instalar los equipos de mayor costo únicamente en las zonas y avenidas de mayor importancia, que son en las que normalmente se emplean los equipos de mayor potencia y por lo tanto tienen mayor margen de ahorro.



## 1.5 Determinacion monto de inversión para implementar medidas de eficiencia energética.

### 1.5.1.1 Municipio de Oruro

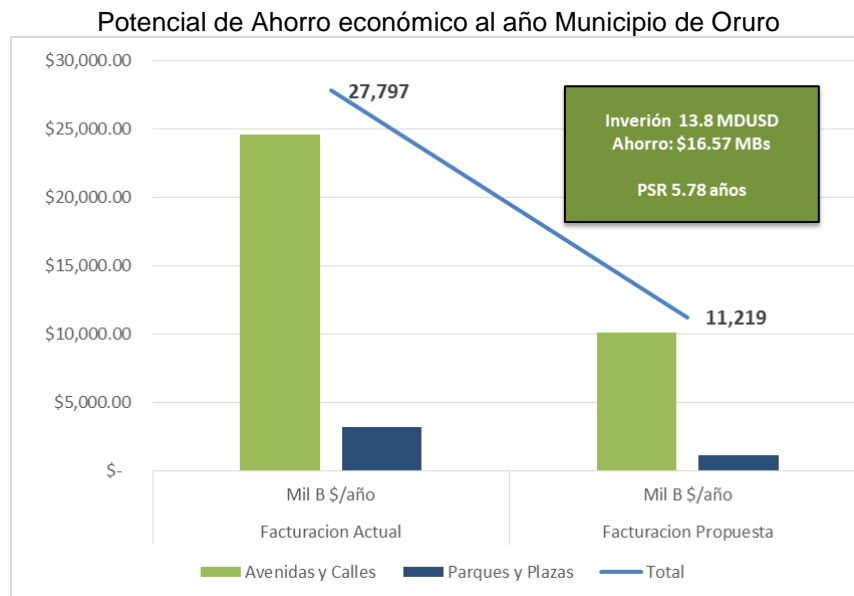
Se propone cambiar 30,229 luminarias de Alumbrado Público, el cual se tendrá un potencial de ahorro de energía en el Municipio de Oruro de 14.72 GWh/año, con un ahorro económico de \$16.578 millones de Bs al año, representando un ahorro del 59.6%, la inversión estimada para implementar las Medidas Eficientes es de \$13.87 millones de USD, la rentabilidad del proyecto tiene un Periodo Simple de Recuperación (PSR) de 5.78 años.

Adicionalmente se contempla un ahorro adicional de 1.25 millones de Bs al año por concepto de reducción de costos de mantenimiento del sistema de Alumbrado Público, que consiste en compra de materiales y de reposición de lámparas y balastos para las luminarias existentes, por lo tanto el ahorro total del proyecto por aplicar Medidas Eficientes en el sistema de Alumbrado Público es de \$21.57 millones de Bs al año, lo que permite reducir la rentabilidad a 4.4 años.

Tabla resumen de ahorros y rentabilidad Municipio de Oruro

Sistema Actual (Caso Base) 2017					Propuestas de Luminarias Eficientes				Ahorro		Rentabilidad			
Equipo	Apliacación	Cantidad	Consumo de Energía Actual	Facturacion Actual	Equipo	Cantidad	Consumo de Energía Propuesto	Facturacion Propuesta	Energía Eléctrica		Facturacion	Inversión	PSR	Inversión
			MWh/año	Mil B \$/año			MWh/año	Mil B \$/año	MWh/año	%	Mil B \$/año	MIL B \$	años	MIL USD \$
Total	Avenidas y Calles	28,551	21,843.27	\$ 24,595.52	LED	28,551	8,983.34	\$10,115.24	12,859.93	58.9%	\$14,480.28	87,175.76	6.02	\$12,615.88
	Parques y Plazas	1,678	2,843.54	\$ 3,201.83		1,678	980.08	\$ 1,103.57	1,863.46	65.5%	\$ 2,098.26	8,681.73	4.14	\$ 1,256.40
	Total	30,229	24,686.81	\$ 27,797.35		30,229	9,963	\$11,218.82	14,723	59.6%	\$16,578.53	\$95,857.49	5.78	\$13,872.28

Fuente; Elaboración propia con datos del Municipio.



Fuente: Estimación de ahorros Municipio Oruro

### 1.5.1.2 Municipio de Potosí

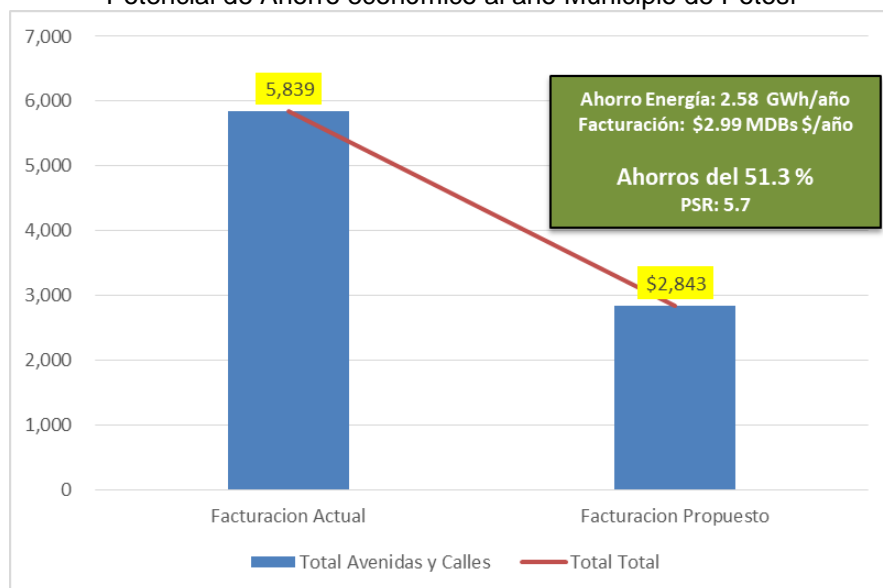
Se propone sustituir 7,574 luminarias de alumbrado Público, que representan el 64.5% de las luminarias de Vapor de sodio, de 70W, 150W y 250W, y el 100% de la VSAP de 400W y VM de 125W y 175W, el cual da un potencial de ahorro de energía en el Municipio de Potosí de 2.58 GWh/año y un ahorro económico de 2.99 millones de Bs al año, representando un ahorro del 51.3%, la inversión estimada es de 2.48 millones de USD, para aplicar las medidas eficientes.

Adicionalmente, se considera que el presupuesto para mantenimiento del sistema de Alumbrado Público, es de 0.95 millones de Bs al año, que contempla, compra de materiales y de reposición de lámparas y balastos, por lo tanto este monto se podrá ahorrar un 50% equivalente a 0.475 millones de Bs, lo que permitiría tener un ahorro total de \$3.47 millones de Bs al año, lo que permite tener la rentabilidad de 4.94 años.

Tabla Resumen de ahorros y rentabilidad Municipio Potosí

Sistema Actual (Caso Base) 2018					Propuestas de Luminarias Eficientes				Ahorro		Rentabilidad			
Equipo	Aplicación	Cantidad	Consumo de Energía Actual	Facturación Actual	Equipo	Cantidad	Consumo de Energía Propuesto	Facturación Propuesto	Energía Eléctrica		Facturación	Inversión	PSR	Inversión
			MWh/año	Mil B \$/año			MWh/año	Mil B \$/año	MWh/año	%	Mil B \$/año	Mil B \$	años	Mil USD \$
Total	Avenidas y Calles	7,574	5,033	5,839	LED	7,574	2,451	\$ 2,843	\$ 2,582	51.3%	\$ 2,995	\$ 17,143	5.72	\$ 2,480
	Total	7,574	5,033	5,839		7,574	2,451	\$ 2,843	\$ 2,582	51.30%	\$ 2,995	\$ 17,143	5.72	\$ 2,480

Potencial de Ahorro económico al año Municipio de Potosí



Fuente; Elaboración propia.

## 1.6 Experiencias Internacionales de Programas de Eficiencia Energética

La eficiencia energética ha tomado un papel preponderante durante las últimas décadas debido a los altos costos de la energía que se han presentado en el Sector Energético de los diferentes países a nivel mundial, lo que ha propiciado la necesidad de reducir costos de operación de las empresas, comercios y servicios, a fin de aumentar su competitividad, reducir los gastos de la economía familiar en los hogares, diferir inversiones al sector eléctrico de los países, vía el ahorro y uso eficiente de la energía y contribuir a la mitigación del Cambio Climático Global por la reducción de la quema de combustibles fósiles necesarios para la generación de electricidad.

De acuerdo a lo anterior, se han implementado diferentes iniciativas por diversos países, a fin de propiciar el ahorro y uso eficiente de la energía a través de proyectos y programas pilotos y a gran escala, tanto por el sector público como privado y, uno de los mecanismos novedosos es la promoción de la eficiencia energética por medio de la creación y operación de fideicomisos, los cuales operan con fondos nacionales o internacionales con el objeto de otorgar financiamiento a los usuarios de la energía para realizar proyectos de ahorro de energía en sus instalaciones, en la medida de lo posible, con tasas de interés competitivas, plazos fijos y, en algunos casos, operando con fondos de contragarantía para disminuir el riesgo de las carteras que tienen que administrar para recuperar los recursos financiados. En todos los casos, lo más conveniente es que los flujos de efectivo que generan los ahorros energéticos paguen los créditos otorgados a los beneficiarios al plazo de los créditos establecidos.

Es por lo anterior que, a fin de tener diversos antecedentes y referencias internacionales sobre el funcionamiento de operación en la implementación de proyectos y programas de eficiencia energética, en este capítulo se describen los resultados de una investigación de los casos Latinoamericanos más representativos de Fondos Fiduciarios (FF) para la eficiencia energética, tanto para el sector público como privado.

### **1.7 Propuesta de Mecanismo para implantar las medidas de eficiencia energética en las Municipalidades.**

A fin de que el ahorro económico efectivo para las Municipalidades se aumente significativamente, se propone la opción de que sea un Agente Operador el que canalice el financiamiento necesario para la adquisición de los sistemas y equipos, así como de los servicios de instalación para la lograr los ahorros energéticos y económicos estimados.

Bajo esta modalidad, el Agente operador efectuaría, directamente concursaría la adquisición e instalación de los sistemas correspondientes, incluyendo el desmontaje y disposición del equipo anterior y sus residuos. La Municipalidad pagaría la mensualidad correspondiente al costo del equipo más el costo por su instalación, al plazo determinado *ex ante* para que con el flujo liberado por el ahorro esperado se cubra la inversión efectuada.

Revisando las experiencias internacionales y la necesidad de que un Agente operador tenga capacidades y experiencia en eficiencia energética, se considera que el esquema podría funcionar si los recursos asignados al proyecto se aportan a través del agente operador el cual operaría el bajo la dirección y normativa que establezca el Viceministro de Energía.

Las principales características del esquema propuesto se describen a continuación:

- Los recursos asignados se utilizarían para la adquisición de los sistemas y equipos a instalar para la lograr los ahorros energéticos y económicos estimados. y se concursaría la adquisición e instalación de los sistemas correspondientes.
- Los Municipios pagarían mensualmente el monto correspondiente al costo del equipo, al plazo determinado ex ante para que con el flujo liberado por el ahorro esperado se cubra la inversión efectuada.
- El recurso para el Agencia Operadora sería aportado en primera instancia por Ministerio Hacienda.
- El fondeo se obtendría con un préstamo a largo plazo (15 años) de un Organismo Multilateral, e.g. BID.
- Las Municipalidades amortizarían las inversiones de acuerdo al contrato definido.

A continuación se presenta un modelo de cómo podría funcionar este mecanismo:

Mecanismo de financiamiento mediante un fideicomiso que de forma centralizada concurse e implante las MEE en las Municipalidades.



Fuente: Elaboración Propio, experiencia internacional.

Los roles propuestos para los actores involucrados se describen a continuación:

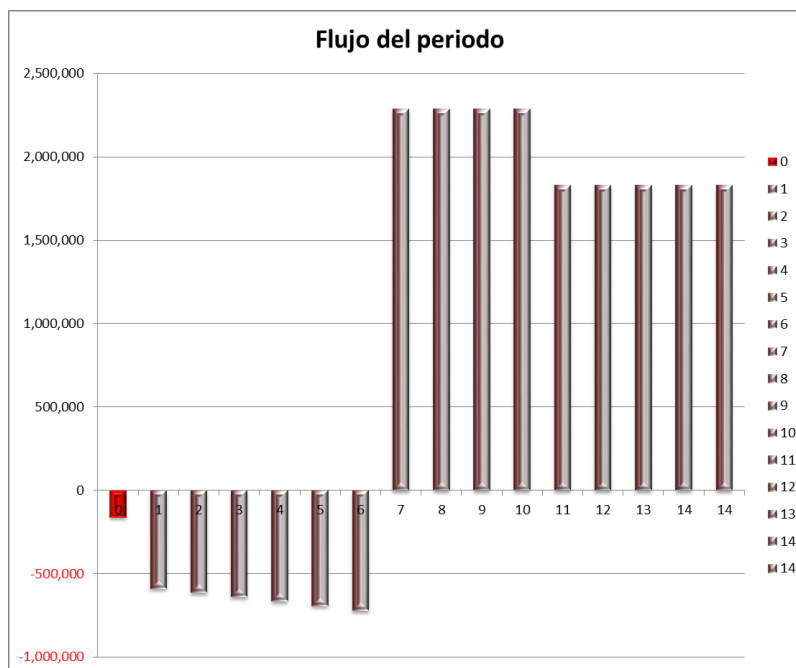
Roles propuestos para mecanismo de financiamiento de forma centralizada se implante MEE

Actor	Rol	Actividades principales
Ministerio de Energía	Agencia ejecutora	Coordinar con Hacienda, Municipalidades, Organismo Multilateral, Fideicomiso y desarrollo del programa.
Ministerio de Hacienda	Prestatario	Autorizar contratación de crédito. Autorizar contratos con los Municipios participantes. Asignar los recursos necesarios para el Proyecto
Organismo Multilateral	Financiador	Otorgar el crédito y recursos para asistencia técnica.
Banca de Desarrollo	Vehículo financiero	Canalización de los recursos del componente de inversión, administrar los recursos del crédito.
Viceministro de Energía	Coordinador del Programa	Seguimiento y verificación del programa (MRV). Otras: normalización, capacitación, disseminación.
Unidad Ejecutora	Operador del programa	Determinación de lineamientos y tecnologías eficientes de Alumbrado Público. Determinar criterios técnicos para sistema de Alumbrado Público, equipos eficientes a instalar Concursar la compra e instalación de sistemas de EE. Contratar con las Municipalidades el pago a plazo de 5 años de las inversiones efectuadas. Recibir el pago de las Municipalidades y reintegrarlo al Fondo.
Proveedor	Proveedores de equipo instaladores	Presentar propuestas Contratar con Fideicomiso la proveeduría e instalación del equipo. Implementar las MEE
Municipalidad	Verificación de instalación y operación	Verificación de la correcta instalación de luminarias Contar con capacidad de financiera para ser sujeto de crédito Verificar los resultados de medidas aplicadas Realizar pago del financiamiento
Empresa Suministradora	Verificar los ahorros generados	Supervisar resultados de la implantación de medidas de EE. Verificar y aceptar os ahorros energéticos generados Recuperar las aportaciones de alumbrado Público..

Fuente: Elaboración Propio, experiencia internacional.

De esta manera, considerando que las tecnologías a instalar tienen una vida útil de 10-15 años, y un fondo para el proyecto sería de 16.352 millones de USD que se integraría con recursos aportados por Ministerio de Hacienda, que serían financiados vía reembolso con un crédito del Organismo Multilateral, se tiene que para el sexto año se habría recuperado la inversión inicial, requerida para implantar las MEE en los Municipios, sin considerar los intereses generados.

Comparativo de ahorro energético vs inversión anual para el mecanismo de financiamiento de forma centralizada concurse e implante las MEE



Fuente: Elaboración propia, considerando que las MEE tendrán un PSR de 5 años y un programa de inversión

De acuerdo al análisis de rentabilidad el proyecto de eficiencia energética, se tiene un VPN de 3.78 millones de USD a 15 años y una TIR de 24.06%.

Por otro lado, se solicitarían al Organismo Multilateral recursos de asistencia técnica no reembolsable para cubrir algunas actividades requeridas para la gestión eficiente del programa, que incluirían lo siguiente:

- Apoyo a la implementación
- Diagnósticos energéticos y otros estudios
- Capacitación
- Normalización
- Evaluación de ahorros, reducción de GEI y cobeneficios

## **2 Metodología de trabajo para estimar los potenciales de ahorro, monto de inversión.**

### **2.1 Antecedentes.**

Cabe desatacar que la iluminación juega un papel trascendental en el desarrollo de las actividades del ser humano; a nivel mundial se estima que representa más del 15% del consumo total de energía eléctrica.

Los sistemas de alumbrado público, que incluyen el alumbrado de avenidas y el alumbrado exterior, tienen una importante participación en el consumo, ya que están presentes en casi todas ciudades y comunidades, permaneciendo encendidos hasta 12 horas al día los 365 días del año.

Como servicio público, al alumbrado público tiene el objetivo de satisfacer las necesidades básicas de iluminación en avenidas y espacios públicos, de manera que contribuya a garantizar la seguridad y bienestar de los usuarios.

Por lo tanto, el Ministerio de Energía de Bolivia, es una institución rectora del sector energético del país que formula e implementa políticas como pilar fundamental para el desarrollo económico y social del vivir bien, proyectando al país como el centro energético de la región, y tiene una Misión Estratégica del Estado Plurinacional de Bolivia que formula, gestiona y evalúa las políticas, normas y planes orientado al desarrollo integral del sector energético, contribuyendo al Vivir Bien de las Bolivianas y bolivianos en un marco de equidad y sustentabilidad en armonía con la madre tierra.

El Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES), 2016-2020, se esperan resultados en los siguientes puntos, i) ampliar el sistema de transmisión y mejorar la confiabilidad del suministro de energía, mediante la construcción de 4.043km de nuevas líneas de transmisión, ii) incrementar la generación mediante energías alternativas en 411MW, iii) alcanzar una cobertura eléctrica del 97% a nivel nacional (100% urbana y 90% rural); y iv) mejorar la eficiencia energética.

Asimismo, dentro de los 10 objetivos específicos planteados por el Ministerio de Energía, destaca el punto 3, señalando que se debe “Formular, implementar y promover políticas, planes de Eficiencia Energética, que garanticen una producción y consumo racional y sostenible, en armonía con el medio ambiente”.



Por lo tanto, para dar cumplimiento en el punto iv), se determinó implementar un proyecto piloto de Eficiencia Energética en los Municipios de Oruro y Potosí de Bolivia, por lo tanto en coordinación con el Ministerio de Energía y el BID se apoyó el desarrollo de una consultoría para estimar potenciales de ahorro energético, establecer medidas de eficiencia energética y las inversiones para su implementación, así como la rentabilidad de las mismas; donde la consultoría tiene los siguientes objetivos:

## **2.2 Objetivo de la consultoría**

- a) Estimar los potenciales de ahorro de energía eléctrica en alumbrado público en los Municipios de la ciudad de Oruro y la ciudad de Potosí, Bolivia. Evaluar la rentabilidad de las inversiones a realizar para la implementación de las mismas en los municipios señalados.
- b) Proponer un mecanismo operativo incluyendo el modelo financiero y esquema administrativo que permita el análisis de la implementación de un fondo rotatorio a partir de los ahorros (totales o parciales) generados por un menor consumo eléctrico.
- c) Apoyar el diseño y supervisión de censos de alumbrado público para determinar el inventario de parque lumínico a ser sustituido.

## **2.3 Metodología de Trabajo**

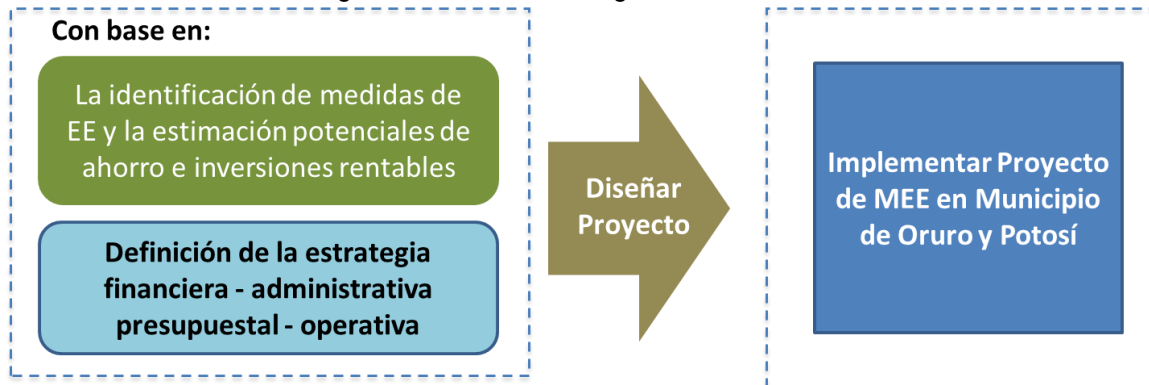
Para cumplir los objetivos planteados, se establece llevar a cabo los trabajos en dos Etapas que consiste en:

Etapas 1.- Identificación de medidas de EE y estimación de potenciales de ahorro de energía eléctrica e inversiones rentables.

Etapas 2.- Definición de la estrategia financiera – administrativa presupuestal – operativa.

Con el resultado de las 2 Etapas, se tiene la finalidad de desarrollar un “Proyecto de Inversiones para Implementar Medidas de Eficiencia Energética (MEE) en los Municipios de Oruro y Potosí, como se puede ver en la siguiente gráfica.

Figura 1. Metodología de la consultoría

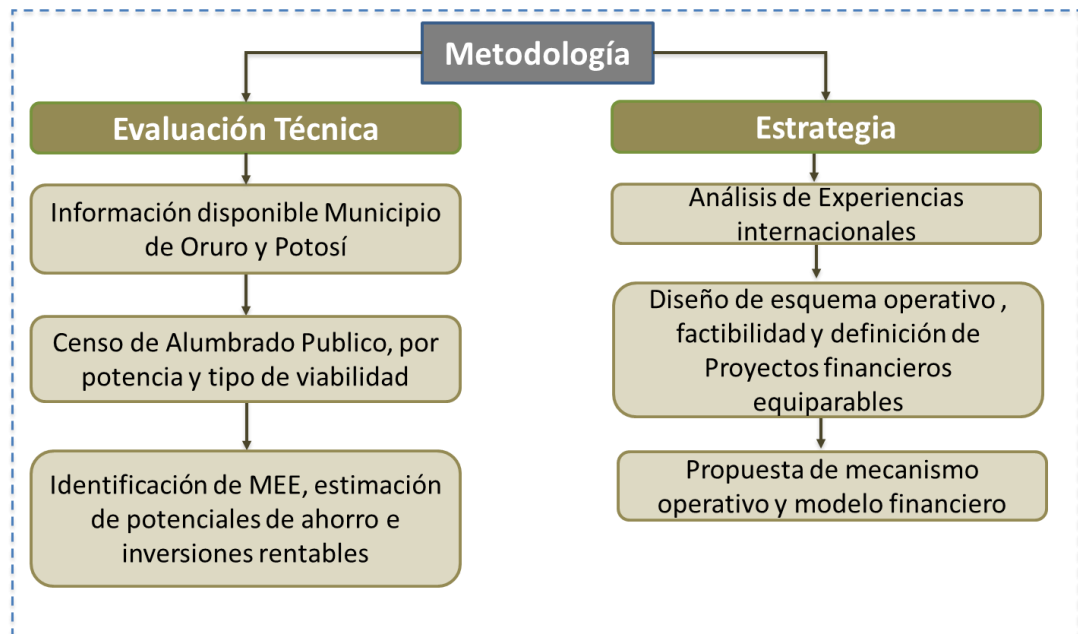


Fuente: Elaboración propia

En la Etapa 1, se plantea llevar a cabo actividades en 3 pasos, que permitan determinar los potenciales de ahorro de energía eléctrica y el monto de inversión requerido para implementar medidas de eficiencia energéticas que sean rentables.

En la Etapa 2 se establece realizar 2 pasos, con la finalidad de determinar la estrategia administrativa y modelo financiero, para aplicar las medidas de eficiencia energética, como se observa en la siguiente gráfica:

Figura 2. Método de Trabajo



Fuente: Fuente: Elaboración propia

### 2.3.1 Etapa 1.- Evaluación Técnica

Las actividades a desarrollar para la etapa 1 son:

#### 1. Paso 1a: Información disponible de Alumbrado Público (AP) de los Municipios de Oruro y Potosí

Recopilación que se proporcionó por parte de los Municipios de Oruro y Potosí como son:

- Recibo de pago de la energía eléctrica de cada Municipio, con desglose de consumo de energía y monto de pago.
- Nombre de la compañía suministradora
- Pliego tarifario o costo de la energía para Alumbrado Público por Municipio.
- Censo o inventario de luminarias disponible o actual de Alumbrado Público
- Facturación de pago de energía entre Municipio y la Compañía suministradora de energía.
- Cantidad de luminarias por avenidas primarias y secundarias.
- Av. Primerías, distancia interpostal, altura de postes y tipo de luminaria y lámpara.
- Av. Secundaria, distancia interpostal, altura de postes y tipo de luminaria y lámpara.
- Tipo de luminarias o lámpara y tipo de balastos que se compra actualmente en un año.
- Monto de gasto al año por compra de luminarias, lámpara y balastos para alumbrado público.
- Reglamentación de Alumbrado Público en Bolivia.
- Voltaje de Alimentación en alumbrado Publico

#### 2. Paso 1b: Análisis de la información

a) Análisis de la información:

- Por tipo de luminarias y potencia de lámparas
- Por tipo de avenida
- Tipo de poste, altura y distancia entre poste
- Se verificará la Normatividad vigente de alumbrado Publico

Se llevará a cabo diferentes modelajes, utilizando el software de diseño de iluminación “DIALux”, con la finalidad de verificar si las luminarias y el tipo de lámpara instaladas en la calles y avenidas, son adecuadas para el tipo de avenida, adicionalmente, se verificará si se cumple la normatividad vigente de alumbrado público (AP) en Bolivia.

Asimismo, se realizará con el software “DIALux”, modelaje con las nuevas tecnologías para que se propondrán para Alumbrado Público, como pueden ser lámparas de aditivos metálicos: Súper sodio, Cerámicos y Diodos Emisores de Lux (LED) y para determinar la potencia adecuada a iluminar en las calles y avenidas de los Municipios de Oruro y Potosí.

### **3. Paso 1c: Determinar medidas eficientes y estimar potenciales de ahorro**

De acuerdo a la información analizada de los Censos de Alumbrado Público, su instalación entre postes y tipo de avenidas y calles, así como del resultado de los modelajes de las diferentes tecnologías de alta eficiencia, se podrá determinar el tipo de luminaria recomendada, para estimar el potencial de ahorro de energía que se puede implementar.

El ahorro de energía eléctrica se dará por la sustitución de los sistemas de iluminación ineficientes que se encuentran en operación por equipos de nueva tecnología de alta eficiencia.

Para estimar el potencial de ahorro de energía eléctrica, el ahorro económico y determinar el monto inversión requerida por la aplicación de medidas eficientes en el sistema de Alumbrado Público de los Municipios de Oruro y Potosí, se establece la aplicación de una base Metodología que se define por la ISO 50006:2014. “Sistemas de Gestión Energética - Medición del rendimiento energético utilizando líneas de base de energía (ENB) y los indicadores de desempeño energético (IDEn’s)”, para poder cuantificar los ahorros y el monto inversión se llevará a cabo el siguiente proceso:

- Cuantificar el ahorro de energía por Municipio
- Cuantificar el ahorro económico
- Cuantificar el monto de inversión requerido para la aplicación de medidas eficientes.

#### **2.3.2 Etapa 2.- Estrategia de Operación**

Experiencias internacionales.- Se revisaran los mecanismos de operación de Programas de Eficiencia Energética a nivel internacional, que se están desarrollando o se han desarrollado, con la finalidad de conocer casos de éxito o los principales aprendizajes.

Diseño de esquema de operativo.- Tomando como referencia las experiencias internacionales, y definiendo las entidades Bolivianas, del sector energético, proponer un esquema que sea factible de operar con la finalidad de lograr éxito en el Proyecto de Ahorro de Energía en sistemas de Alumbrado Público en los Municipios de Oruro y Potosí.

### 3 Análisis de la información del Sistema de Alumbrado Público en Municipios de Oruro y Potosí de Bolivia

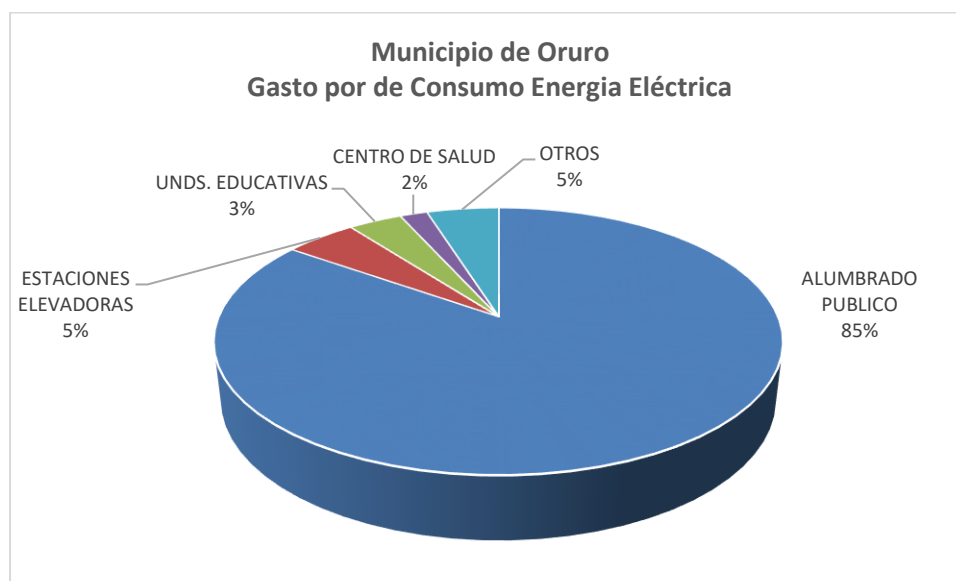
#### 3.1 Información de Consumos de Municipios de Oruro y Potosí de Bolivia.

##### 3.1.1 Municipio de Oruro

Oruro es uno de los nueve departamentos que forman el Estado Plurinacional de Bolivia. Su capital es la homónima Oruro. Está ubicado en al oeste del país, limitando al norte con La Paz, al este con Cochabamba, al este sur con Potosí y al oeste con Chile. Con 53 588 km<sup>2</sup> es el tercer departamento menos extenso, por delante de Chuquisaca y Tarija. Según datos del Instituto Nacional de Estadística INE, el censo realizado el año 2012 muestra que la población departamental alcanza los 494.587 habitantes.

En relación al gasto por concepto de consumo de energía eléctrica que tiene el Municipio, equivale a \$33.39 millones de Bs al año, el principal gasto corresponde a el sistema de Alumbrado Público que representa el 85% del total por concepto de energía eléctrica, seguido por las estaciones elevadoras que corresponden el 5%, las unidades educativas el 2% y otras entidades como: Mercados, semáforos, Despachos, Secretarías Municipales, Áreas Verdes, parques, entre otras, representan el 5%.

Figura 3. Gasto de Energía por Sector Municipio de Oruro



Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

### 3.1.2 Municipio de Potosí

Potosí es un municipio conocida como la Villa Imperial de Potosí, es una ciudad del sur de Bolivia. Se extiende a las faldas de una legendaria montaña llamada Cerro Rico. Cuenta con una población de unos 828.093 habitantes, datos 2012, mientras que en la ciudad (capital) su población llega a los 189.652 habitantes.

En relación al gasto por concepto de energía eléctrica en Alumbrado Público del Municipio, se estimada es de \$12.97 MBs al año, (referencia promedio de factura de los meses de Abril, mayo y junio del 2018).

Concepto	Unidades	abr-18	may-18	jun-18	Promedio	Año
Consumo de Energía	MWh	921	952	924	932	11,185
Factura Energía	Mil Bs	1,064	1,106	1,072	1,081	12,971
Precio Medio	KWh/Bs	1.16	1.16	1.16	1.16	

### 3.2 Sistema de Alumbrado Publico Actual.

#### 3.2.1 Municipio de Oruro

De acuerdo al censo de Alumbrado Público correspondiente al Municipio de Oruro, realizado por parte de la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) y de conformidad con el Municipio de Oruro, al cierre del mes de Diciembre de 2016, se establece que existen un total de 30,839 lámparas para el Alumbrado Público, con una carga total conectada de 5,677 kW y un consumo de 2,164 KWh/mes, el promedio de horas de operación de las luminarias son de 12 horas al día.

Entre las diferentes tipos de lámparas que se encuentran instaladas son:

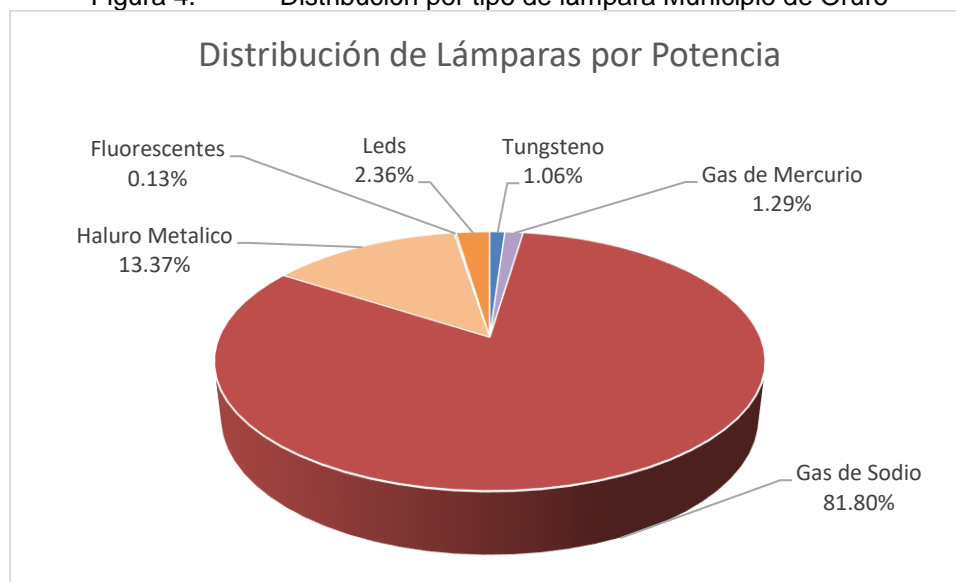
Tabla 1. Participación de tipo de luminaria Alumbrado Público Municipio de Oruro

Tipo de Lámpara	Potencia por Tipo de Lámparas kW	%	Potencia de Lámparas Watts
Tungsteno	60.00	1.06%	Entre 1,000 y 500 W
Gas de Mercurio	73.00	1.29%	Entre 250, 125 y 175
Gas de Sodio	4,644	81.80%	Entre 400, 250, 150 y 70 W
Haluro Metálico	759	13.37%	Entre 1,000, 400, 250, 150 y 100 W
Fluorescentes	7.57	0.13%	Entre 53 y 16 W
Leds	134.00	2.36%	360 W
Total	5,677	100%	

Fuente: Elaboración Propia datos Municipio de Oruro

Por lo tanto, la principal lámpara instalada, es la de Gas o Vapor de Sodio representando el 81.80%, le sigue Haluro Metálico con 13.37%, el Gas de Mercurio con 1.29%, lámpara de tungsteno con el 1.06%, lámparas fluorescentes con 0.13% y finalmente Led con 2.36%.

Figura 4. Distribución por tipo de lámpara Municipio de Oruro

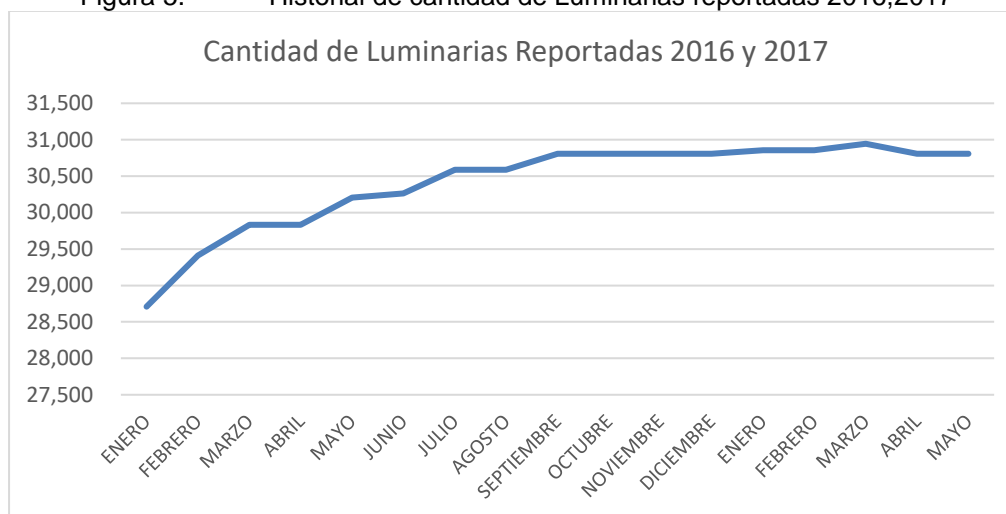


Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

Es importante señalar que la lámpara de Gas de Mercurio, esta considera como una lámpara muy ineficiente, debido a que su eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W, no es recomendable para utilizarla para Alumbrado Público.

Durante 2016y 2017, el Municipio y ENDE, han estado revisando y ajustando las cantidades de luminarias que tienen instaladas, por lo que el censo se ve incrementado durante estos años, para los análisis se tomara el ultimo que corresponde al mes de Mayo del 2017, a continuación se ve la evolución:

Figura 5. Historial de cantidad de Luminarias reportadas 2016,2017



Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

Tomando como referencia el último censo del mes de mayo del 2017, se tiene la siguiente cantidad de lámparas, por potencia y consumo de energía al mes:

Tabla 2. Participación de tipo de luminaria Alumbrado Público Municipio de Oruro

Tipo de luminaria	Potencia Nominal	Cantidad	Consumo mes	Consumo día	Horas
	Watts	Pza.	kWh/mes	kWh/día	-
Vapor de Mercurio	125	263	78.0	2.52	16.42
	250	59	111.0	3.58	11.68
	175	145	71.0	2.29	10.68
Vapor de sodio	70	11,791	31.0	1.00	11.65
	150	2,753	60.0	1.94	10.53
	250	13,403	58.0	1.87	10.53
	400	137	166.0	5.35	10.92
Aditivos Metálico	400	933	173.6	5.60	11.42
	1000	238	434.0	14.00	11.42
	100	36	43.4	1.40	11.42
	150	162	65.1	2.10	11.42
	250	479	108.5	3.50	11.42
Tungsteno	1000	52	434.0	14.00	14.28
	500	16	217.0	7.00	14.28
Leds	360	372	113.0	3.65	10.33
<b>Total<sup>1</sup></b>		<b>30,839</b>	<b>2,164</b>	<b>70</b>	<b>12.00</b>

Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

<sup>1</sup> No incluye lámparas fluorescentes

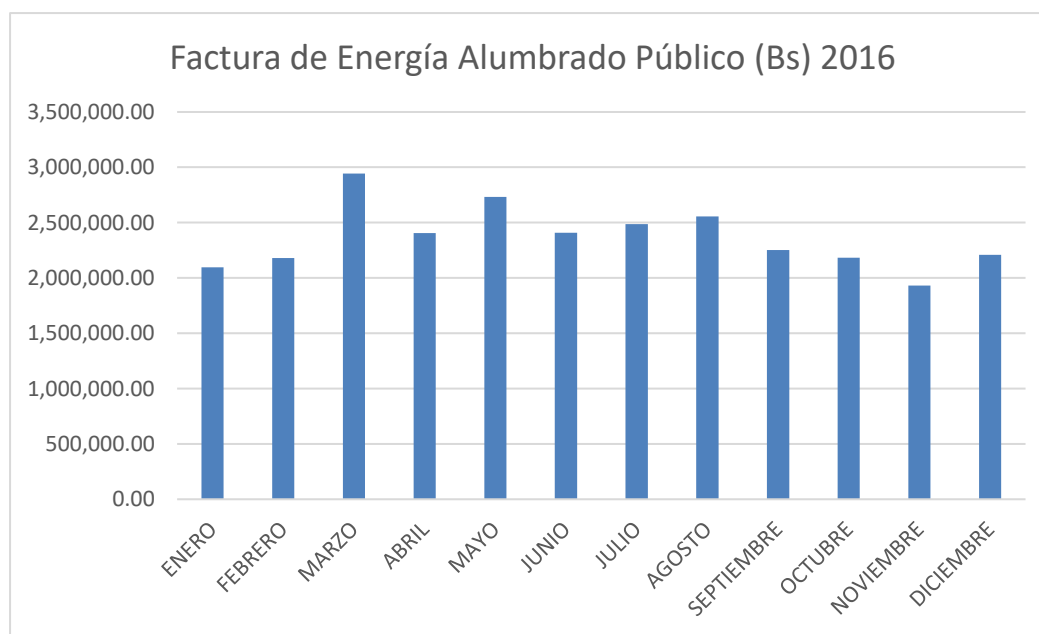


Cabe señalar que el acuerdo que se tiene el Municipio y la compañía de electricidad ENDE establece que para determinar el consumo mensual de energía eléctrica, es medir cada lámpara, es tomando de referencia cada luminaria tipo (Vapor de sodio, Gas de Mercurio, Led) por potencia, el resultado, se multiplica por el total de lámparas equivalentes y se multiplica por el precio del kWh, para obtener el pago mensual de servicio de energía eléctrica por parte del Municipio.

***CPD=Consumo de energía Medida (o Equivalente) (kWh/mes) X No. de lámparas.***

La facturación del sistema de Alumbrado Público es de \$28.38 millones de Bs al año, y su gasto mensual es la siguiente:

Figura 6. Historial de cantidad de Luminarias reportadas 2016



Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

En el mes de Marzo, el consumo de energía se observa un incremento de un 26% en promedio de los 11 meses, y es debido a las fiestas y Carnaval de la ciudad.

Es importante señalar que de la factura por concepto de energía consumida de todas las luminarias de Alumbrado Público en el Municipio de Oruro en la gestión 2016 fue de Bs. **28.380 Millones** de Bs y el monto recaudado de la gestión por concepto de tasa de alumbrado público con el 12% es de Bs. **11.107 Millones de Bs**, existiendo un déficit de gestión de Bs. **17.273 Millones de Bs**. lo que representa un 61% este monto total, el donde el Municipio de Oruro subvenciona este gasto.

### 3.2.2 Municipio de Potosí

El censo de Alumbrado Público del Municipio de Potosí, que se tiene acordado en el Municipio con Servicios Electricos de Potosí (SEPSA), al cierre del mes de Junio de 2018, existe un total de 12,103 lámparas para el Alumbrado Público, con una carga total conectada de 1,890 kW. Es importante señalar, que el Municipio solo tiene registro del 73% del total facturado por SEPSA.

Concepto	Unidades	Año	%
Censado AP Municipio	Mil Bs	9,470	73%
Factura Eléctrica SEPSA	Mil Bs	12,971	100%

Entre las diferentes tipos de lámparas que se encuentran instaladas son:

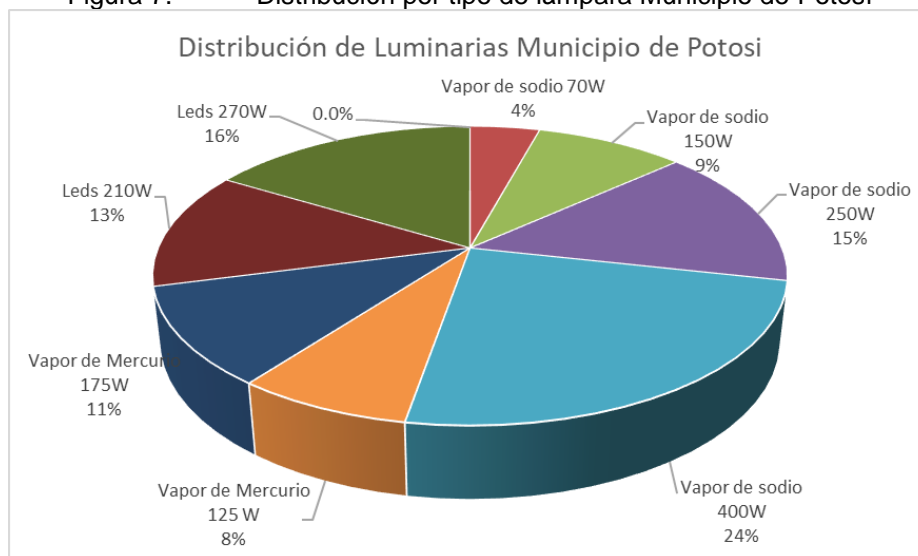
Tabla 3. Cantidad de luminaria por potencia y tipo de luminaria Municipio de Potosí

Tipo de luminaria	Potencia Nominal	Cantidad	Consumo mes	%
	W	Pza.	kWh/mes	
Vapor de sodio	70	1,952	49,190	7.2%
	150	6,893	372,222	54.7%
	250	1,870	168,300	24.7%
	400	27	3,888	0.6%
Vapor de Mercurio	125	583	26,235	3.9%
	175	64	4,032	0.6%
Leds	210	600	45,360	6.7%
	270	114	11,081	1.6%
Total		<b>12,103</b>	<b>680,308</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

Por lo tanto, la principal lámpara instalada, es la de Vapor de Sodio representando el 87.3%, en potencia de 70W, 150W, 250W y 400W, en Vapor de Mercurio representa el 4.4%, en potencia de 125W y 175W y en luminarias tipo Led, hay 714 representando ya el 8.3%, con potencias de 210W y 270W.

Figura 7. Distribución por tipo de lámpara Municipio de Potosí



Fuente: Elaboración Propia con datos del Municipio

Cabe señalar que el acuerdo que se tiene el Municipio y la compañía de electricidad de electricidad (SEPSA), establece que para determinar el consumo mensual de energía eléctrica, es tomando de referencia la potencia de cada luminaria tipo (Vapor de sodio, Gas de Mercurio, Led), se multiplica por el total de lámparas equivalentes, 12 horas al mes y los días del mes corriente y se multiplica por el precio del kWh, para obtener el pago mensual de servicio de energía eléctrica por parte del Municipio.

$$CPD = \text{Potencia equivalente por luminario} \times 12 \text{ (hr/día)} \times \text{días (mes)} \text{ (kWh/mes)} \times \text{No. de lámparas.}$$

El gasto por concepto de energía eléctrica en Alumbrado Público del Municipio, se estimada es de \$12.97 MBs al año.

Concepto	Unidades	abr-18	may-18	jun-18	Promedio	Año
Consumo de Energía	MWh	921	952	924	932	11,185
Factura Energía	Mil Bs	1,064	1,106	1,072	1,081	12,971
Precio Medio	KWh/Bs	1.16	1.16	1.16	1.16	

Factura de Energía Eléctrica Abril, mayo y junio del 2018

### 3.3 Tipo de Viabilidades para Alumbrado Publico

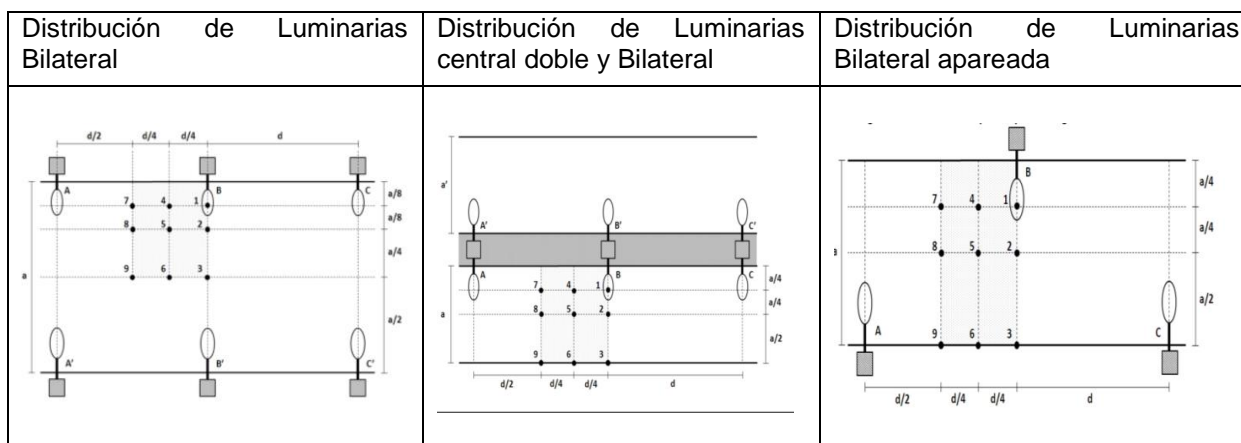
#### 3.3.1 Municipio de Oruro

- **Avenidas Primarias**

En las avenidas primarias, se encontraron 3 tipos de distribución de postes para el Alumbrado de Publico:

- Distribución de Luminarias Bilateral
- Distribución de Luminarias central doble y Bilateral
- Distribución de Luminarias Bilateral apareada

Figura 8. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas



Fuente: Normatividad vigente

Figura 9. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria Municipio de Oruro

Distribución de Luminarias Bilateral	Distribución de Luminarias central doble y Bilateral	Distribución de Luminarias Bilateral apareada

Fuente: Fotos Municipio Oruro

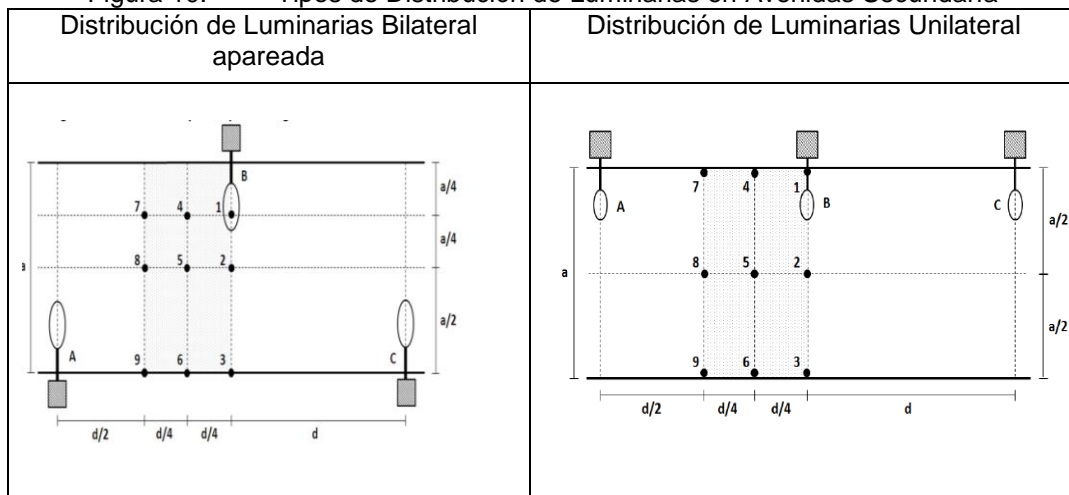
Los postes son metálicos, y se tiene una distancia interpostal entre 35 y 40 metros, con brazo con una longitud de 1.5 y 3 metros.

- **Avenidas Secundarias.-**

Se encontraron 2 tipos de distribución de postes para el Alumbrado de Publico:

- Distribución de Luminarias Bilateral apareada
- Distribución de Luminarias Unilateral

Figura 10. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria



Fuente: Normatividad Vigente

Figura 11. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria Municipio de Oruro

Distribución de Luminarias Bilateral apareada	Distribución de Luminarias Unilateral
	

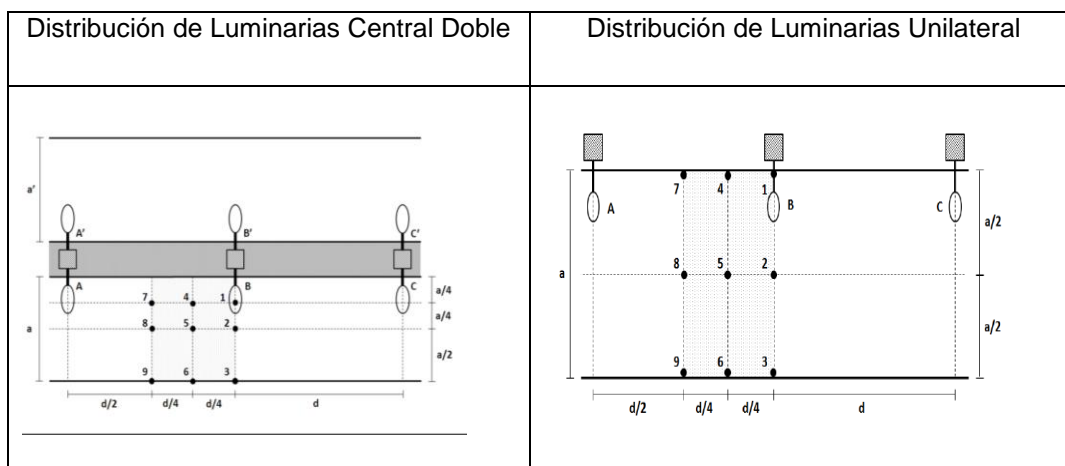
Fuente: Fotos Municipio Oruro

Los postes son de acero y de concreto, estos le pertenecen a la compañía suministradora ENDE, tienen distancia interpostal de 35 a 40 metros, con brazo con una longitud de 1.5 y 3 metros.

### 3.3.2 Municipio de Potosí

- **Avenidas Primarias.-** En las avenidas primarias, se encontraron 2 tipos de distribución de postes para el Alumbrado de Publico:
- Distribución de Luminarias Unilateral
- Distribución de Luminarias Central Doble

Figura 12. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria



Fuente: Normatividad Vigente

Figura 13. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Primaria Municipio Potosí



Fuente: Fotos Municipio Potosí

Los postes son metálicos, y se tiene una altura de 11 metros y distancia interpostal de 30 a 35 metros, con brazo con una longitud de 1.5 metros.

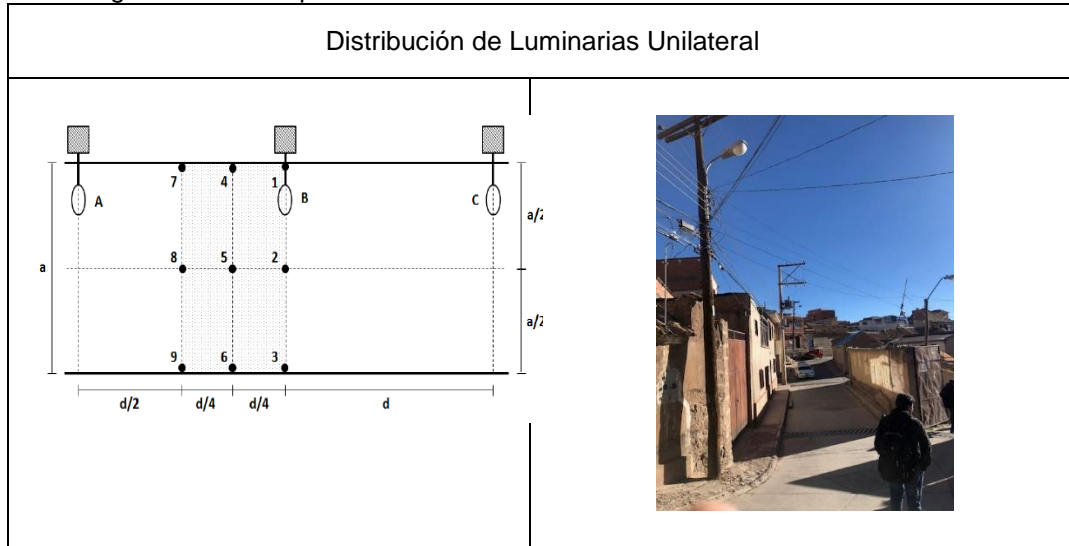
- Avenidas Secundaria**



En las avenidas secundarias, se encontró solo un tipo de distribución de poste para el Alumbrado de Público:

- Distribución de Luminarias Unilateral

Figura 14. Tipos de Distribución de Luminarias en Avenidas Secundaria



Fuente: Normatividad Vigente y Foto de Municipio de Potosí

Los postes son de concreto y le pertenecen a la compañía suministradora SEPSA, distancia interpostal de 30 a 40 metros, con brazo con una longitud de 0.5 y 1.5 metros.

### 3.4 Lámparas para Alumbrado Público

#### 3.4.1 Tipo de lámparas Actuales

Las principales tecnologías que se ocupan actualmente para Alumbrado Público destacan:

1. **Vapor de Sodio de Alta Presión:** Los sistemas de vapor de sodio de alta presión se introdujeron en el mercado hace más de 40 años para su uso en aplicaciones industriales, exteriores y de seguridad. Desde entonces fueron considerados la mejor opción para el alumbrado público debido principalmente a su alta eficacia.

Las lámparas de vapor de sodio alta presión están constituidas por un tubo de descarga de material cerámico que contiene sodio, mercurio y un gas noble,



generalmente xenón o argón. El tubo de arco se encuentra contenido en un bulbo de vidrio de forma ovoide o tubular, y en algunos modelos puede contar con un recubrimiento blanco. Se diferencian de otras lámparas de HID en que el sodio es el principal elemento que se encarga de producir la luz, además de que únicamente poseen electrodos de operación.

Además de balastro, al no tener electrodos de arranque, las lámparas de VSAP requieren de un ignitor que proporcione un pulso de alto voltaje con corriente limitada para poder encender y reencender.

2. **Vapor de Aditivos Metálicos:** Las lámparas de vapor de sodio de alta presión están disponibles en potencias de 35 a 1,000 W, aunque en alumbrado público las potencias más utilizadas son las de 70 a 250 W; en estas potencias la eficacia nominal de la lámpara es de 85 a 114 lm/W mientras que la del conjunto es de 64 a 100 lm/W.

Su vida nominal es de 18,000 a 30,000 horas, aunque típicamente en la mayoría de los modelos es de 24,000 horas. Su depreciación del flujo luminoso es baja, de 0.81 a 0.93 al 40% de la vida la nominal. Su temperatura de color es de 1,900 a 2,150 K, con un índice de rendimiento de color muy bajo, típicamente de 20 a 21, lo que dificulta el reconocimiento de detalles y colores.

Las lámparas de aditivos metálicos se desarrollaron en los años sesentas para su uso en aplicaciones industriales. Por sus características y gracias a varias mejoras que han tenido, actualmente son utilizadas en una gran variedad de aplicaciones. Desde hace algunos años en varias partes del mundo, estas lámparas han sido utilizadas para sustituir a los sistemas de sodio de alta presión del alumbrado público.

Son similares a las lámparas de vapor de mercurio, aunque contienen adicionalmente otros compuestos metálicos. El tubo de descarga es de cuarzo y cuentan con electrodos de arranque y de operación. Las lámparas de aditivos metálicos se fabrican en potencias de 32 a 2,000 W, aunque en alumbrado público las potencias más utilizadas son de 150 a 250 W; en estas potencias, la eficacia de la lámpara es de 63 a 82 lm/W y la del conjunto es de 52 a 72 lm/W.

Su vida y depreciación se ven afectadas drásticamente por el desgaste de los electrodos de arranque y de operación; su vida nominal es de 6,000 a 15,000 horas y su depreciación es de 0.50 a 0.79 al 40% de la vida la nominal, siendo las

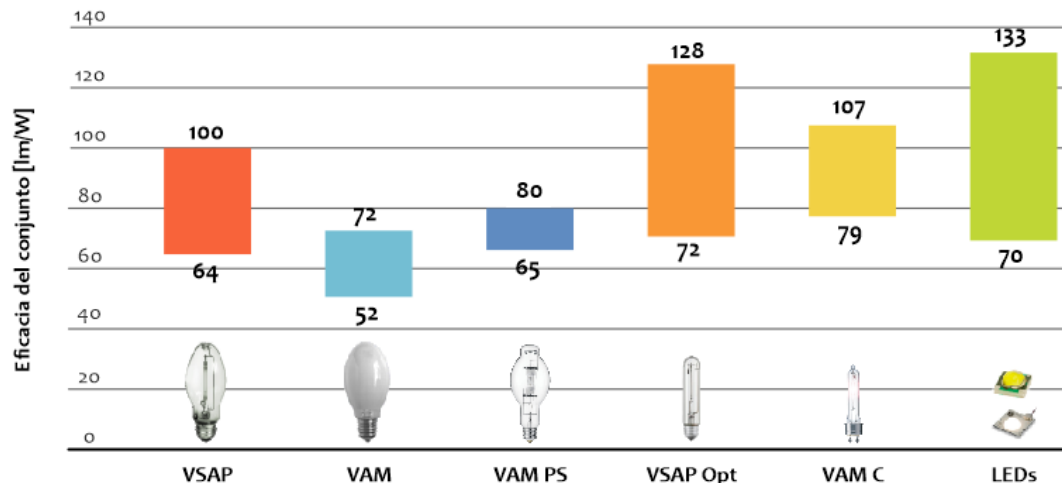
lámparas con mayor depreciación. Emiten una luz blanca de calidad media a alta, con una TCC de 3,600 a 4,200 K e IRC típicamente de 60 a 70, aunque en algunas versiones puede ser hasta de 90.

### 3.4.2 Comparación de tecnologías de iluminación para Alumbrado Público

Para poder seleccionar la tecnología más adecuada para un proyecto de alumbrado público se deben conocer las diferentes características de las tecnologías disponibles, así como las necesidades e intereses específicos del proyecto; no siempre la tecnología más eficiente o más costosa es la mejor opción para un proyecto, ya que influyen varios factores. Partiendo de que el sistema propuesto debe cumplir con los niveles de iluminación requeridos, algunos de los parámetros más importantes a considerar son la eficacia del sistema, la vida nominal y la depreciación del flujo luminoso, ya que estos impactan directamente en el costo de operación del sistema.

A continuación se presentan gráficas que muestran los intervalos característicos de estos parámetros para las principales tecnologías de alumbrado público.

Figura 15. Eficacia de las principales tecnologías de Alumbrado Público

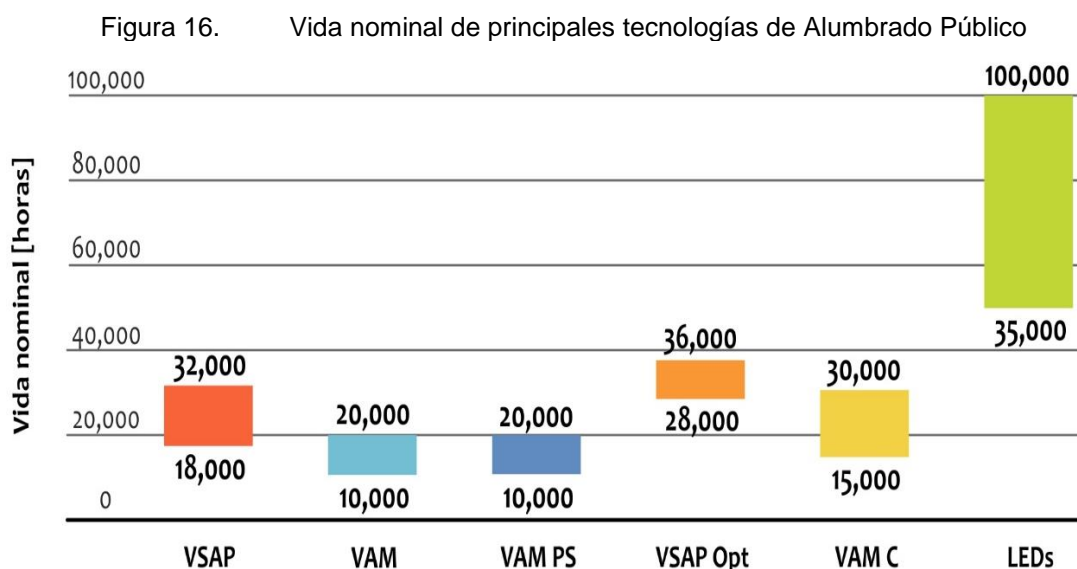


Fuente: Elaboración Propia datos de folletos fabricante

Como se puede observar las nuevas tecnologías como: los sistemas de VSAP Optimizado, VAM Cerámico y Diodos Emisores de Lux (LEDs), tienen una eficacia más

alta que los sistemas convencionales de VAM, VAM PS y VSAP, lo cual representa una evolución en las tecnologías de alumbrado público.

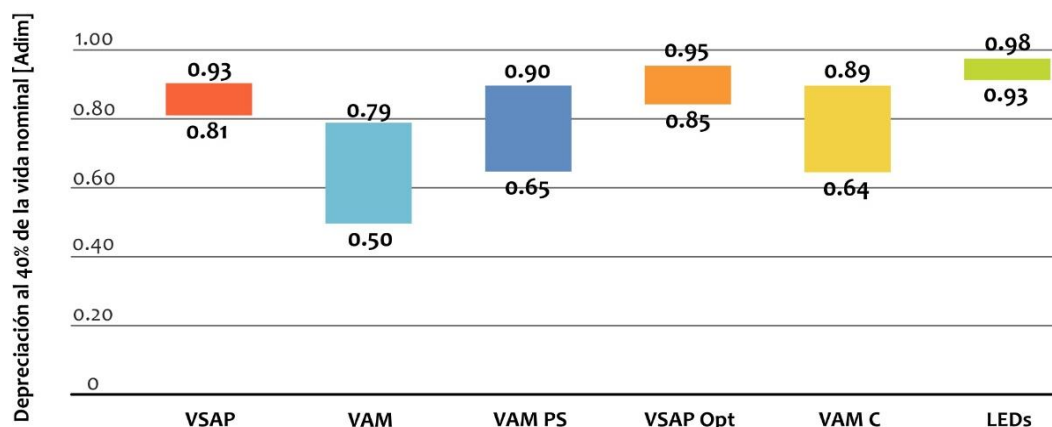
Aunque la eficacia es un parámetro que nos permite tener una idea del desempeño de un luminario o de un sistema en conjunto, existen otros parámetros que se deben tomar en cuenta, como el coeficiente de utilización y la depreciación del flujo luminoso, ya que estos inciden directamente en el nivel de iluminación mantenido que se obtiene en la práctica.



Fuente: Elaboración Propia datos de folletos fabricante

Una mayor vida útil se refleja en un menor costo de mantenimiento debido al menor número de replazos requeridos en una instalación. En este sentido, los sistemas de VSAP Opt, VAM C y LEDs tienen una mayor vida nominal que las tecnologías convencionales. Especialmente en el caso de los LEDs, de acuerdo con los métodos de prueba utilizados actualmente, se considera que los modelos de mayor calidad pueden alcanzar una vida de hasta 100,000 horas de uso, no obstante se recomienda considerar una vida útil de 50,000 horas.

Figura 17. Depreciación del flujo luminoso de las principales tecnologías de alumbrado público (al 40% de la vida nominal).



Fuente: Elaboración Propia datos de folletos fabricante

Las tecnologías más modernas también tienen una menor depreciación del flujo luminoso, lo que permite que los sistemas de alumbrado público mantengan su nivel de iluminación por mayor tiempo, lo cual a su vez permite tener un mayor margen al momento de especificar la potencia que requiere un luminario para cumplir con los niveles establecidos por norma.

### 3.4.3 Nuevas tecnologías para Alumbrado Publico

Se ha desarrollado diversas tecnologías que permiten mejorar los sistemas de iluminación en Alumbrado Público, como son:

- **Vapor de Sodio optimizado.**- Estas lámparas tienen mayor salida luminosa que las lámparas de vapor de sodio convencionales para modelos de la misma potencia, teniendo una eficacia de lámpara de 95 a 133 lm/W y una eficacia en conjunto de 72 a 128 lm/W. Su vida nominal es de 30,000 a 36,000 horas y tienen una depreciación de 0.85 a 0.95 al 40% de la vida nominal. Sin embargo, el aspecto cromático de estas lámparas es el mismo, teniendo una TCC y un IRC iguales al de las lámparas convencionales.
- **Vapor de Aditivos Metálicos (VAM).**- Existen dos tipos de lámparas de aditivos metálicos mejoradas: las de arranque por pulso (VAM PS) y las de tubo de descarga cerámico (VAM C).

La eficacia de las lámparas de aditivos metálicos de arranque por pulso es un poco mayor a la de las lámparas convencionales y su depreciación es de 0.65 a 0.90 al 40% de su vida nominal.

Por otro lado, los sistemas de aditivos metálicos con tubo de descarga cerámico tienen una eficacia de lámpara 88 a 118 lm/W, mientras que la del conjunto es de 79 a 107 lm/W, en potencias de 60 a 150 W. Su vida nominal es de 12,000 a 30,000 horas y su depreciación es de 0.64 a 0.89 al 40% de su vida nominal. Estas lámparas son de luz blanca más cálida, con una TCC de 2,700 a 3,000 K, con IRC de 65 a 90. Gracias a su tamaño compacto permiten un muy buen control de luz y el diseño de Luminarias más eficientes con una gran variedad de curvas fotométricas.

- **LEDs.**- Se introdujeron a mediados de los años sesentas como un componente utilizado de indicador o señalizador en los dispositivos electrónicos; desde entonces han evolucionado considerablemente, al grado de que actualmente existen equipos de LEDs para la gran mayoría de las aplicaciones de iluminación.

Aún en la actualidad existe algo de incertidumbre sobre la aplicación de los LEDs en la iluminación, específicamente relacionada con los métodos de prueba y medición para determinar su vida útil y su depreciación, no obstante, cada día esta tecnología logra una mayor eficiencia y confiabilidad en su operación.

Los LEDs son dispositivos semiconductores que emiten luz como parte de la energía que disipan cuando la corriente eléctrica circula a través de ellos. A diferencia de las lámparas de descarga (HID), los LEDs no contienen mercurio ni otros compuestos contaminantes.

Los LEDs no producen luz blanca de manera directa, sino en porciones muy pequeñas del espectro visible, resultando en una luz monocromática. Actualmente, el método más utilizado para que los LEDs produzcan luz blanca, es el que emplea LEDs azules con un recubrimiento fosfórico para modificar el aspecto cromático de la luz; también existe el método RGB en el que se emplean LEDs de color rojo, verde y azul que se combinan para formar luz blanca.

Los LEDs se integran, en diferentes cantidades y arreglos, en luminarias diseñados con una óptica dedicada y con sistemas de disipación de calor que permiten controlar su temperatura en un rango óptimo para su operación.

A diferencia de las lámparas de HID, los LEDs utilizan un driver que convierte la corriente de AC en corriente de DC con valores típicos de 200 a 1,200 mA y voltajes de 2 a 4 V. Los controladores deben integrar alguna forma de regulación

que permita que las variaciones en la línea no afecten el control de corriente, ya que el flujo luminoso y la vida de los LEDs son muy sensibles a las variaciones de ésta.

Las luminarias de LEDs para alumbrado público están disponibles en potencias de 15 a 400 W. La eficacia de las luminarias es de 70 a 133 lm/W incluyendo las pérdidas del driver. Además de que su eficacia es cada vez mayor, el control de luz de las luminarias de LEDs permite que su coeficiente de utilización alcance valores de hasta 0.8 en comparación con las luminarias de HID que típicamente tienen un CU entre 0.25 y 0.45.

Gracias a que carecen de electrodos de arranque y operación, los LEDs tienen una vida nominal de 35,000 a 100,000 horas de acuerdo con los métodos de prueba de envejecimiento acelerado que se utilizan actualmente, aunque se recomienda considerar una vida útil de 50,000 horas.

Los LEDs están disponibles en una amplia gama de temperaturas de color; específicamente en el caso de los luminarias de alumbrado público su TCC es de 3,000 a 6,500 K, aunque usualmente con una TCC mayor a 6,000 K el color de la luz se torna violáceo. El índice de rendimiento de color depende principalmente del tipo y calidad del LED, sus valores están entre 70 y 85.

### 3.5 Normatividad internacional y Boliviana

#### 3.5.1 Normatividad internacional

A nivel internacional, son dos las principales organizaciones que desarrollan normas y recomendaciones en iluminación:

1. **Comisión Internacional de Iluminación.** La CIE, por sus siglas en francés, es el máximo organismo en iluminación a nivel internacional; publica normas, reportes técnicos y recomendaciones sobre varios aspectos relacionados con la fotometría y la radiometría.

En conjunto con la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha publicado algunas normas internacionales, como es el caso del estándar ISO 23539:2005(E) / CIE S 010/E:2004 *Photometry – The CIE System of physical*

*photometry*, en el que se establece el sistema de fotometría de la CIE, que es la base de la medición de la iluminación. Referente al alumbrado de avenidas, algunos de los reportes técnicos y recomendaciones que ha publicado son los siguientes:

- CIE 115:2010 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic
- CIE 132-1999 Design methods for lighting roads
- CIE 140-2000 Road lighting calculations
- CIE 194:2011 On site measurements of the photometric properties of road and tunnel lighting.

2. **Sociedad de Ingenieros en Iluminación.** La IES, por sus siglas en inglés, es una organización que agrupa ingenieros, arquitectos, fabricantes, distribuidores, y todos aquellos involucrados en algún campo de la iluminación, principalmente de Estados Unidos, Canadá y México, no obstante tiene presencia en gran parte del mundo. Una parte de sus miembros participan directamente en comités que se encargan de desarrollar normas, recomendaciones y guías de diseño, así como procedimientos de medición, pruebas y cálculos.

La IES en conjunto con ANSI publica la norma ANSI/IES RP-8-00 *Roadway Lighting*, que es la base para el diseño de los sistemas de iluminación de avenidas en Estados Unidos. Asimismo, la IES ha publicado otros documentos que dan recomendaciones sobre aspectos particulares del alumbrado exterior y de avenidas.

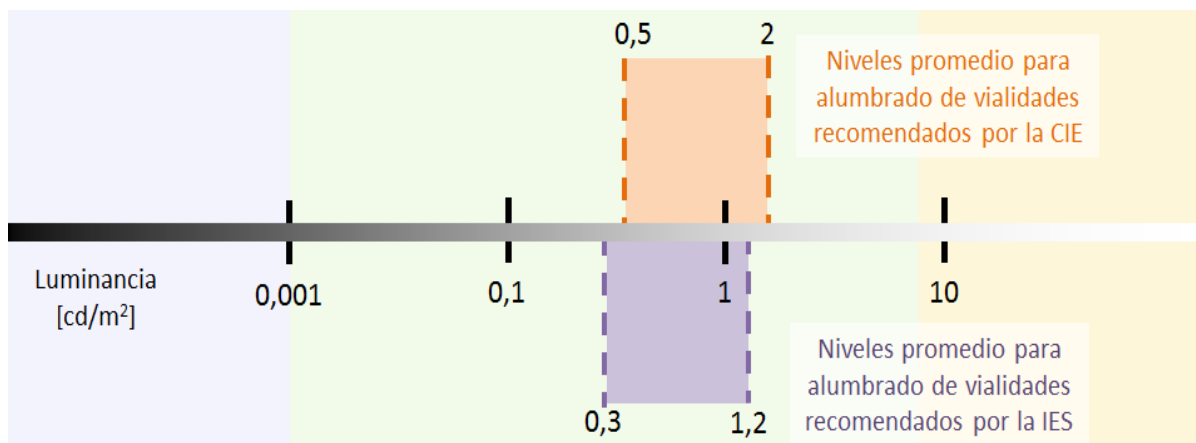
La mayoría de las normas de iluminación que utilizan en los países son adaptaciones de las normas publicadas por estos dos organismos. Por ejemplo, en el caso de México, las especificaciones de los niveles de iluminación establecidas en la NOM-013-ENER-2013, se basan en la norma ANSI/IES RP-8-00. Asimismo, la norma europea CEN EN 13201 *Road Lighting*, publicada por el Comité Europeo para la Normalización, se basa en el documento CIE 115:2010.

Aunque las recomendaciones establecidas en la CIE 115:2010 y la ANSI/IES RP-8-00 son diferentes, se basan en criterios similares para definir la clasificación de avenidas y los niveles de iluminación requeridos. No obstante los niveles de iluminación establecidos en la CIE 115:2010 están en un intervalo más



alto de luminancia que los indicados en la norma ANSI/IES RP-8-00, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 18. Intervalo de los niveles de iluminación para alumbrado de avenidas recomendados por la CIE y la IES.



Fuente: Normatividad CIE y IES

### 3.5.2 Normatividad Boliviana

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), es la organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de normas Bolivianas, quien estableció las siguientes normas de Alumbrado Público:

- NB 1412001:1:2013 Alumbrado público - Definiciones (Primera revisión).
- NB 1412001:2:2013 Alumbrado público - Reglas generales y especificaciones técnicas para vías de circulación pública (Primera revisión).
- NB 1412001:3:2013 Alumbrado público - Mantenimiento y depreciación de las instalaciones (Primera revisión).

No obstante, las especificaciones establecidas en la norma NB 1412001-2, son muy similares a las de la CIE 115:2010.

La norma NB 1412001:2:2013 Alumbrado público - Reglas generales y especificaciones técnicas para vías de circulación pública (Primera revisión), establece las reglas fundamentales para que los beneficiarios y/o usuarios circulen sobre las vías públicas con toda seguridad y con el máximo de seguridad, incluyendo: la velocidad de las



avenidas, el tipo de cruces y la separación entre usuarios, así como la densidad y control de tráfico

Tabla 4. Clase de iluminación para diferentes tipos de vías de acuerdo con la NB 1412001-2

Descripción de la vía	Clase de iluminación
Vías de alta velocidad con calzadas separadas exentas de cruces a nivel y con accesos completamente controlados: autopistas expresas. Densidad de tráfico y complejidad de la vía: Alto Medio Bajo	M1 M2 M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía: Escaso Suficiente	M1 M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía: Escaso Bueno	M2 M3
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales. Vías que conducen a las propiedades y a las otras vías conectoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía: Escaso Bueno	M4 M5

Fuente: Normatividad Vigente de Bolivia

Asimismo, la NB 1412001-2 establece ciertos requerimientos para cada clase de iluminación, en cuanto a los niveles de iluminación, la uniformidad y las condiciones de deslumbramiento, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5. Criterios de control para las clases de iluminación de acuerdo con la NB 1412001-2

Criterios de control	Zona de aplicación
----------------------	--------------------

Clase de iluminación	Todas las vías				Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia (L) mínima mantenida	Iluminancia promedio mínima mantenida (E)'		U <sub>o</sub>	T.I.	SR
	[cd/m <sup>2</sup> ]	Calzada oscura	Calzada clara	Valor mínimo	Valor máximo inicial [%]	Valor mínimo
M1	2.00	15 - 20	30 - 50	0.4	10	0.5 - 0.71
M2	1.50	10 - 20	20 - 30	0.4	10	0.5 - 0.72
M3	1.00	5 - 10	10 - 20	0.4	10	0.5
M4	0.75	2 - 5	5 - 10	0.4	15	No requiere
M5	0.50	1 - 3	2 - 6	0.4	15	No requiere

Fuente: Normatividad Vigente de Bolivia

En este sentido, los proyectos de ahorro de energía que se realicen para los municipios Oruro y Potosí, deberán cumplir con las especificaciones establecidas en las normas Bolivianas mencionadas anteriormente.

### 3.6 Recomendaciones generales

Al implementar un proyecto de ahorro de energía en alumbrado público se debe buscar la mejor opción a corto y largo plazo considerando la inversión y los costos operativos, cuidando que sea técnicamente factible y financieramente viable.

Cuando se descuidan aspectos relevantes en la evaluación de las propuestas y en la selección final, se pueden obtener resultados indeseables como el desconocimiento de los ahorros por parte de la compañía suministradora, una alta mortalidad de equipos, incumplimiento de los niveles de iluminación requeridos o falta de liquidez para el pago del financiamiento, entre otros.

Para evitar ese tipo de inconvenientes, los equipos seleccionados deben tener las características que les permitan cumplir las necesidades y expectativas de los usuarios y el administrador del servicio, además de cubrir los requerimientos que solicite la compañía suministradora.

Asimismo se debe contar con el censo actualizado de los equipos e instalaciones con el fin de establecer el caso base y determinar las opciones de sustitución. El censo consiste en cuantificar el número de luminarias, lámparas, balastros, elementos de control y demás elementos que conforman el sistema de alumbrado, indicando sus

principales características y el estado en el que se encuentran, así como su ubicación y los detalles de la misma.

Dentro de las recomendaciones básicas para implementar un proyecto de ahorro de energía en alumbrado público se encuentran las siguientes:

**Respecto a los equipos:**

- Dar preferencia a las tecnologías de larga vida y baja depreciación, ya que reducen las necesidades de mantenimiento.
- Solicitar las pruebas fotométricas de un laboratorio debidamente acreditado, que incluya la curva fotométrica impresa y en formato electrónico, \*.ies.
- Verificar que los equipos cumplan con las certificaciones de seguridad eléctrica aplicables, a fin de tener la certidumbre de que están diseñados bajo normas y estándares eléctricos adecuados.
- Observar si los equipos cuentan con alguna certificación de eficiencia energética, lo cual los identifica como equipos ahorradores de energía.
- En el caso de las luminarias de LEDs, es altamente recomendable solicitar el certificado de la prueba IES LM-79 para verificar el flujo luminoso y la potencia de entrada del luminario, así como el certificado de la IES LM-80 para verificar la depreciación del mismo, la cual deberá ser proyectada conforme al método establecido en la IES TM-21. En su caso también se pueden aceptar informes de prueba equivalentes basados en recomendaciones de la CIE. Estos certificados dan mayor certidumbre del desempeño ofrecido por un luminario de LEDs.
- Evitar la instalación de retrofits, que consisten en cambiar la lámpara y balastro conservando el luminario, ya que en la mayoría de los casos no proporcionan el nivel y distribución de iluminación adecuada, debido a que las luminarias están diseñados para un determinado tipo de lámpara.
- Seleccionar equipos con mayores plazos de garantía por escrito. Es un hecho que entre mayor es el plazo de garantía, mayor es la confianza que tienen los fabricantes de sus productos y su control de calidad. Es recomendable solicitar fianza por la garantía de los equipos, especialmente en caso de tener ofertas con más de 5 años de garantía.
- Favorecer las fuentes de luz con bajo contenido de mercurio y sin otras sustancias potencialmente tóxicas, como lo son vapor de sodio optimizado, aditivos metálicos cerámicos y LEDs.
- Respecto a la evaluación y selección de las propuestas:

- Instalar muestras de los equipos y efectuar mediciones en campo de los niveles de iluminación y parámetros eléctricos con equipo debidamente calibrado y certificado, a fin de evaluar que las propuestas cumplan con lo establecido en las normas locales referentes a los niveles de iluminación.
- Invitar a participar a la compañía suministradora en el proceso de evaluación a fin de facilitar el proceso de reconocimiento de ahorros, en caso de que aplique.
- Solicitar información acerca del fabricante y/o proveedor. Evitar empresas que no se especialicen o tengan poca experiencia en iluminación o alumbrado público.
- A fin de reducir el tiempo de recuperación, es recomendable instalar los equipos de mayor costo únicamente en las zonas y avenidas de mayor importancia, que son en las que normalmente se emplean los equipos de mayor potencia y por lo tanto tienen mayor margen de ahorro.

## 4 Determinar potenciales de ahorro de energía, económicas y definir medidas de Eficiencia Energéticas en Municipios de Bolivia

### 4.1 Situación actual

De acuerdo con la visita realizada y la información proporcionada, la mayor parte del alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí está conformada por sistemas de vapor de sodio alta presión. Asimismo en ambos casos tienen algunas luminarias de LEDs y en el caso de Potosí también cuentan con equipos de vapor de mercurio para el alumbrado de avenidas.

En la siguiente tabla se muestra el censo de alumbrado público que se proporcionó para ambos municipios:

Tabla 6. Censo alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí

Sistema actual	Potencia	Municipio / Cantidad		Aplicación
		Oruro	Potosí	
LEDs	360 W	372	0	Alumbrado de avenidas
	210 W	0	600	Alumbrado de avenidas
	270 W	0	114	Alumbrado de avenidas
Vapor de sodio alta presión	400 W	137	27	Alumbrado de avenidas
	250 W	13,403	1,870	Alumbrado de avenidas
	150 W	2,753	6,893	Alumbrado de avenidas
	100 W	0	0	Alumbrado de avenidas
	70 W	11,791	1,952	Alumbrado de avenidas Parques y plazas
Vapor de mercurio	85 W	0	0	Parques y plazas
	175 W	145	64	Alumbrado de avenidas
	125 W	263	583	Alumbrado de avenidas
	250 W	59	0	Alumbrado de avenidas
Vapor de aditivos metálicos	1000 W	238	0	Parques y plazas
	400 W	933	0	Parques y plazas
	250 W	479	0	Parques y plazas
	150 W	162	0	Parques y plazas
	100 W	36	0	Parques y plazas
Tungsteno	1000 W	52	0	Campos deportivos
	500 W	16	0	Campos deportivos
<b>Total</b>		<b>30,839</b>	<b>12,103</b>	

Fuente: Elaboración Propia con datos de los Municipios de Oruro y Potosí

Siempre es importante contar con información vigente de los censos de alumbrado público, que incluya el número de luminarias y su potencia nominal, la mayor información posible referente a las características de los equipos.

Cabe mencionar que en algunas ciudades del mundo han optado por realizar censos georeferenciados con información detallada que incluye la ubicación de los puntos de luz, las características de montaje y de la vialidad, así como la antigüedad y el historial de mantenimiento de los equipos; estos censos permiten realizar el mantenimiento del alumbrado público de manera más eficiente y contar con información detallada en caso de querer realizar un proyecto de alumbrado público, no obstante, la realización de este tipo de censos implica un costo considerable.

Por otro lado, de acuerdo con los recorridos realizados, las luminarias se encuentran en avenidas de diferentes tipos y características, predominando las vías primarias y locales de 2 y 3 carriles con control de tráfico escaso. En cuanto a la configuración de las luminarias, en el caso de Oruro es muy común la configuración bilateral apareada, mientras que en el caso de Potosí existe el Bilateral en Av primarias y con las configuraciones unilaterales para Av. secundarias. En ambos casos las distancias interpostales van de 30 a 40 m, con una altura de montaje de 8 a 11 m.

En la mayoría de los casos la potencia de los equipos instalados está acorde con el tipo de vialidad y los niveles de iluminación que se requieren cumplir, sin embargo en los recorridos realizados se detectaron algunos casos en los que los luminarias ya tienen una depreciación considerable por motivos de mantenimiento, por lo que el nivel de iluminación se encuentra castigado.

Asimismo en algunas avenidas se apreció un nivel de iluminación excesivo, como en el caso de la vialidad del municipio de Oruro en la que se instalaron luminarias de LEDs de 360 W; asimismo sucedió en las luminarias de LEDs de 210 y 270 W instalados en el municipio de Potosí que proporcionan un nivel de iluminación por arriba de lo recomendado para el tipo de vialidad en la que se encuentran instalados.

En algunos casos se encontraron situaciones complicadas en las que las luminarias se encuentran a una distancia entre 0.5, 3 y 5 m de la vialidad, lo que dificulta proporcionar un nivel de iluminación adecuado. Para este tipo de situaciones se recomienda en la medida de lo posible corregir la situación, ya que será difícil encontrar luminarias que proporcionen la iluminación adecuada, sin tenerlos que inclinar excesivamente y generar un deslumbramiento indeseable.

## 4.2 Simulaciones realizadas

Con el fin de analizar las opciones de sustitución para los sistemas de alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí, a fin de evaluar el potencial de ahorro de energía y económico, se realizaron simulaciones en el software DIALux con diferentes tipos de luminarias y tecnologías.

Para realizar las simulaciones se modelaron diferentes tipos de avenidas en el software DIALux, procurando que las configuraciones utilizadas fueran similares a las que se encontraron en los recorridos a los municipios de Oruro y Potosí. En total se modelaron 11 casos diferentes, 7 para el municipio de Oruro y 4 para el municipio de Potosí, tal como se muestra en la tabla 7.

Tomando en cuenta las características observadas en las avenidas, para cada tipo de vialidad se consideró una clase de iluminación específica de acuerdo con la norma NB 1412001-2, a fin de poder evaluar si las opciones propuestas cumplían con lo establecido en dicha norma. Asimismo, en todos los casos se consideró un pavimento tipo R3, tal como se recomienda en la NB 1412001-2.

Las simulaciones se realizaron considerando un caso base, para lo cual se tomaron en cuenta luminarias de la misma potencia y tecnología de los que están instalados actualmente, así como varias opciones de sustitución, empleando luminarias de vapor de sodio alta presión optimizado (VSAP Opt), vapor de aditivos metálicos (VAM C) y LEDs.

Tabla 7. Configuraciones de avenidas utilizadas para las simulaciones

No.	Municipio	Tipo de Vialidad Considerada	Clase de Iluminación Considerada	Caso base	Ancho de calle [m]	Distancia Interpostal [m]	Altura de montaje [m]	Distribución de luminarias
1	Oruro	Vías primarias y distribuidores con control de tráfico escaso	M2	VSAP 400 W	9	35	10	Bilateral apareada
2	Oruro	Vías primarias y distribuidores con control de tráfico bueno	M3	VSAP 250 W	9	35	10	Bilateral apareada
3	Oruro	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico escaso	M4	VSAP 150 W	6	40	9	Bilateral apareada
4	Oruro	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico escaso	M4	VSAP 150 W	9	40	9	Unilateral
5	Oruro	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico bueno	M5	VSAP 100 W	8.4	35	9	Unilateral
6	Oruro	Vías primarias y distribuidores con control de tráfico escaso	M2	LEDs 360 W	9	40	10	Unilateral

No.	Municipio	Tipo de Vialidad Considerada	Clase de Iluminación Considerada	Caso base	Ancho de calle [m]	Distancia Interpostal [m]	Altura de montaje [m]	Distribución de luminarias
7	Oruro	Vías primarias y distribuidores con control de tráfico escaso	M2	LEDs 360 W	9	40	10	Bilateral apareada
8	Potosí	Vías primarias y distribuidores con control de tráfico bueno	M3	VSAP 250 W	9	35	11	Unilateral
9	Potosí	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico bueno	M5	VSAP 70 W	6	40	8	Bilateral apareada
10	Potosí	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico bueno	M5	VSAP 70 W	6	40	8	Unilateral
11	Potosí	Vías locales y vías residenciales con control de tráfico escaso	M4	LEDs 65 W	9	30	11	Central doble

Fuente: Elaboración propia simulaciones propuestas

Para la selección de las luminarias que se emplearon como opciones de sustitución, se tomaron en cuenta luminarias de alto desempeño de cada una de las tecnologías analizadas y de marcas de reconocido prestigio y trayectoria en la industria de la iluminación, a fin de determinar el potencial de ahorro para cada uno de los casos base.

En total se emplearon 41 curvas fotométricas para las opciones de sustitución, de los fabricantes Philips, GE, Cooper Lighting y LED Roadway Lighting, además de las curvas empleadas para los casos base. En la tabla siguiente se muestra un resumen de las marcas y modelos empleados como opciones de sustitución.

Asimismo, para cada caso se procuró emplear, en la medida de lo posible, la curva fotométrica que se adaptara mejor a cada una de las avenidas simuladas, dando preferencia a las curvas tipo II media, así como a los luminario tipo cut off, o su equivalente en la clasificación BUG (que hace referencia a la distribución de la distribución luminosa hacia atrás del luminario, hacia arriba y hacia el piso), a fin de minimizar el deslumbramiento y contaminación lumínica.



Tabla 8. Resumen de las marcas y modelos de luminarias que se emplearon como opciones de sustitución en las simulaciones

Marca	Modelo	Tecnología	Potencias empleadas [W]	Eficacia inicial <sup>2</sup> [lm/W]
Philips	Philips Iridium <sup>2</sup>	VSAP Optimizado	50 - 150	72 - 105
	Philips AluRoad	VSAP Optimizado	70 - 250	82 - 121
	Philips Koffer SGP100	VAM Cerámico	45 - 140	85 - 107
	Philips Iridium <sup>2</sup>	LED	128	119
GE	Evolve ERL1	LED	32 - 88	97 - 125
	Evolve ERS2	LED	132 - 243	102 - 121
Copper	Archeon Streetworks	LED	31 - 54	108 - 114
	Navion Streetworks	LED	34 - 193	122 - 130
LED Roadway Lightng	Satellite	LED	86 - 175	80
	NXT Lite S	LED	38 - 75	113 - 121
	NXT Lite M	LED	100 - 180	110 - 122

Fuente-. Elaboración propia datos de luminarias en simulaciones

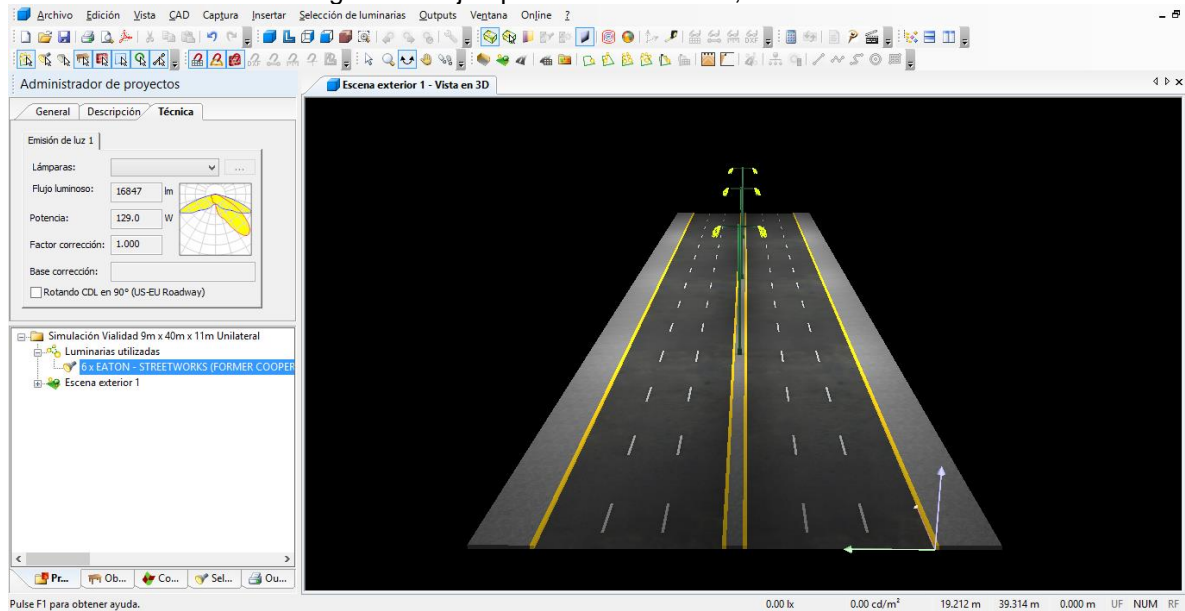
En total se realizaron 81 simulaciones, incluyendo los casos base. Para cada caso simulado se modelaron las condiciones necesarias para determinar los niveles de luminancia e iluminancia conforme a la NB 1412001-2, sin considerar un factor de mantenimiento en la simulación.

En particular para determinar el factor de mantenimiento empleado en el análisis de los resultados, se tomó en cuenta la depreciación del flujo luminoso obtenida de los catálogos y fichas técnicas de los fabricantes, así como un factor de 0.90 como una aproximación de los demás factores de reducción indicados en la NB 1412001-3. Asimismo, para fines comparativos y considerando que las distintas tecnologías evaluadas tienen diferentes intervalos de vida nominal, se calcularon los niveles de iluminación iniciales, a las 12,000 horas de vida y al 70% de la vida nominal.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de las simulaciones realizadas en DIALux. En el Anexo 1 se incluye la tabla con los resultados de todas las simulaciones realizadas.

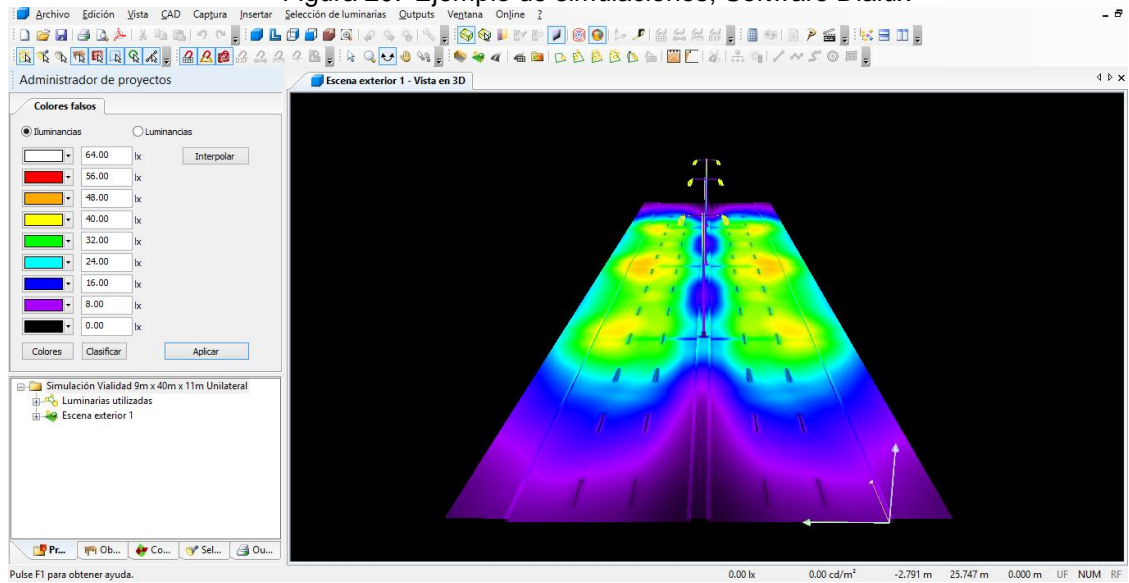
<sup>2</sup> En los casos de VSAP Optimizado y VAM Cerámico, la eficacia inicial corresponde a la del conjunto lámpara-balastro, mientras que en el caso de los LEDs, corresponde a la eficacia del luminario en conjunto

Figura 19. Ejemplo de simulaciones, Software Dialux.



Fuente: Software Dialux

Figura 20. Ejemplo de simulaciones, Software Dialux



Fuente: Software Dialux

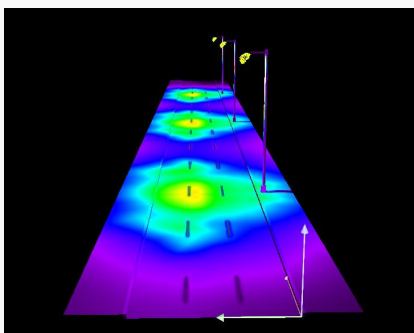
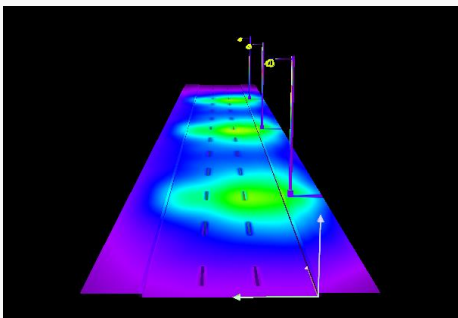
### 4.3 Análisis de resultados y opciones de sustitución recomendadas

De acuerdo con los resultados de las simulaciones, para cada caso simulado, hay opciones de sustitución que permiten reducir considerablemente la potencia respecto al caso base, manteniendo o incluso mejorando los niveles de iluminación, cumpliendo también con los valores indicados en la norma NB 1412001-2.

En los resultados se observa que la diferencia entre el la potencia, el flujo luminoso y el nivel de iluminación obtenido, no solo está relacionada con la eficacia de las fuentes de luz, sino que también influye la depreciación del flujo luminoso y sobre todo, el control óptico de los luminarias.

Por ejemplo, en la simulación del caso 8, se tiene instalado como caso base un luminario de vapor de sodio de alta presión de 250 W con un flujo luminoso para la lámpara de 28,500 lm, que dependiendo del balastro puede llegar a tomar una potencia de línea de 290 W, alcanzando una eficacia de 98.3 lm/W para el conjunto lámpara-balastro. Por otro lado, como uno de las opciones propuestas se tiene un luminario marca LED Roadway Lighting NXT Lite M, que tiene una potencia de línea de 134 W, con un flujo luminoso del luminario de 16,367 lm, alcanzando una eficacia de 122.1 lm/W para el luminario. A simple vista se podría pensar que el luminario de LEDs no podría sustituir al luminario de vapor de sodio alta presión, puesto que el primero tiene un flujo luminoso 74% mayor, no obstante, gracias al control óptico de los LEDs, el nivel de luminancia obtenido es un poco mayor para el caso de los LEDs. Para fines comparativos en la tabla se muestran los resultados de estas dos simulaciones.

Tabla 9. Comparación entre los resultados de las simulaciones de un luminario de VSAP de 250 W y un luminario de LEDs de 134 W para la configuración No. 8.

VSAP 250 W		LEDs LRL NXT Lite M 134 W	
			
Potencia de línea	290 W	Potencia de línea	134 W
Flujo luminoso	28,500 lm	Flujo luminoso	16,337 lm
Eficacia	98.3 lm/W	Eficacia	122.1 lm/W
Luminancia promedio	1.27 cd/m <sup>2</sup>	Luminancia promedio	1.63 cd/m <sup>2</sup>

Fuente-. Elaboración propia datos simulaciones

No obstante, se debe tener especial cuidado en la selección y especificación de los luminarias de LEDs, ya que también existen productos cuyo desempeño es bueno pero no sobresaliente, especialmente aquellos equipos de altas potencias que ocupan chips LED alimentados con una corriente nominal mayor o igual a 1,000 mA, ya que aunque requieren de una menor inversión, también tienen regularmente una menor eficacia menor y un menor tiempo de vida.

Cabe mencionar que en las visitas realizadas se observó que en el caso de Oruro las luminarias de LEDs de 360 W entregan un nivel de iluminación mayor al requerido, asimismo para el caso de Potosí, las luminarias de LEDs dan por arriba de lo requerido. En este sentido, como parte de las simulaciones, se simularon los casos de los LEDs que se tienen actualmente instalados en los municipios de Oruro y Potosí. Para estas configuraciones se ocuparon luminarias de LEDs de alta corriente para el caso base, tomando en cuenta que los equipos tienen ya un tiempo instalados. Para el primer caso se encontró que puede haber opciones de luminarias de LEDs que pueden entregar niveles similares con la mitad de la potencia.

Como parte del análisis de las simulaciones se calcularon algunos indicadores de desempeño energético (EnPI) tomando en cuenta las recomendaciones indicadas en la ISO 50006: Energy Management Systems – Measuring Energy Performance using Energy Baselines (EnB) and Energy Performance Indicators (EnPI) – General Principles and Guidance, incluyendo la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (W/m<sup>2</sup>, considera solo la parte iluminada de la vialidad) y el consumo anual de energía por unidad de iluminancia (kWh/lx), este último para la depreciación el flujo luminoso inicial, a las 12,000 horas y al 70% de la vida nominal de la fuente de luz.

A manera de resumen y para fines comparativos, en la tabla 10 se muestran los intervalos de los resultados obtenidos para cada una de las tecnologías utilizadas en las simulaciones.

Tabla 10. Comparación de Indicadores de Desempeño Energético.

Tecnología	Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado [W/m <sup>2</sup> ]	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia promedio (Considerando 12 horas de uso al día)		
		Inicial [kWh/lx]	A las 12,000 horas de vida [kWh/lx]	Al 70% de la vida nominal [kWh/lx]
VSAP	0.37 – 1.47	36.1 – 76.3	43.1 – 102.1	44.5 – 106.0
VSAP Optimizado	0.25 – 0.88	31.2 – 49.4	36.8 – 60.3	37.6 – 62.3
VAM Cerámico	0.21 – 0.49	26.3 – 43.4	32.8 – 54.1	34.4 – 56.7
LEDs	0.13 – 0.70	15.4 – 34.8	17.7 – 39.9	18.7 – 42.1

Fuente-. Elaboración propia

Como se puede observar de acuerdo con las simulaciones realizadas, la tecnología de mejor desempeño energético son las luminarias de LEDs, ya que requieren de una menor potencia instalada por unidad de área y además consumen menos energía por cada unidad de iluminancia promedio que entregan. Después de los LEDs encontramos a los sistemas aditivos metálicos cerámicos y a los sistemas de vapor de sodio alta presión optimizados. En el caso de los LEDs, la reducción de los indicadores es prácticamente del 50%, mientras que en el caso de VAM C y VSAP Opt es de un 25 a un 40%.

Independientemente de que los LEDs sean la opción más eficiente disponible actualmente, también se debe considerar la parte económica y financiera, de tal manera que los proyectos de alumbrado público sean técnicamente factibles y económicamente viables. En este sentido a veces la mejor opción es incluir luminarias de diferentes tecnologías, dependiendo de las potencias a sustituir, ya que normalmente la sustitución de las luminarias de mayor potencia representa un mayor ahorro económico, lo que permite adquirir equipos de mayor costo.

En la tabla 11 se presentan las potencias recomendadas para realizar las sustituciones de los luminarias actualmente instalados en los municipios de Oruro y Potosí, de acuerdo con los resultados de las simulaciones realizadas.

Tabla 11. Potencias recomendadas con base en las simulaciones realizadas

Caso Base		Sustituciones Propuestas	
Equipo	Potencia de Línea [W]	Equipo	Potencia de Línea [W]
Vapor de Sodio Alta Presión 400 W	464	Vapor de Sodio Optimizado 250 W	276
		LEDs 180 - 219 W	180 - 219
Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	290	Vapor de Sodio Optimizado 150 W	167
		Aditivos Metálicos Cerámicos 140 W	154
		LEDs 100 - 135 W	100 - 135
Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	173	Vapor de Sodio Optimizado 100 W	114
		Aditivos Metálicos Cerámicos 90 W	99
		LEDs 66 - 86 W	66 - 86
Vapor de Sodio Alta Presión 100 W	124	Aditivos Metálicos Cerámicos 60 W	66
		LEDs 38 - 54 W	38-54
Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	89	Vapor de Sodio Optimizado 50 W	61
		Aditivos Metálicos Cerámicos 45 W	51
		LEDs 31 - 38 W	31 - 38
Leds 360 W	382	Vapor de Sodio Optimizado 250 W	276
		LEDs 180 - 243 W	180 - 243

Fuente-. Elaboración propia

Por otro lado, para los casos que no se simularon en DIALux, en la siguiente tabla se muestran las opciones de sustitución recomendadas, considerando la eficacia de las fuentes de luz, la depreciación de flujo luminoso y el coeficiente de utilización típico de cada una de ellas.

Tabla 12. Potencias recomendadas con base en la eficacia y depreciación del flujo luminoso

Caso Base			Propuestas de Sustitución	
Tecnología	Potencia de Línea [W]	Aplicación	Tecnología	Potencia de Línea [W]
Vapor de Mercurio 250 W	280 - 295	Alumbrado Público	Vapor de Sodio Optimizado 150 W	167
			Aditivos Metálicos Cerámicos 140 W	154
			LEDs 85 - 105 W	85 - 105
Vapor de Mercurio 175 W	195 - 205	Alumbrado Público	Vapor de Sodio Optimizado 100 W	114
			Aditivos Metálicos Cerámicos 90 W	99
			LEDs 55 - 75 W	55 - 75
Vapor de Mercurio 125 W	140 - 150	Alumbrado Público	Vapor de Sodio Optimizado 70 W	89
			Aditivos Metálicos Cerámicos 60 W	66
			LEDs 35 - 45 W	35 - 45
Aditivos Metálicos 1000 W	1080 - 1120	Parques y Plazas	LEDs 320 - 380 W	320 - 380
Aditivos Metálicos 400 W	440 - 460	Parques y Plazas	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	154*
			LEDs 150 - 180 W	150 - 180
Aditivos Metálicos 250 W	285 - 300	Parques y Plazas	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	154
			LEDs 80 - 105 W	80 - 105
Aditivos Metálicos 150 W	175 - 185	Parques y Plazas	Aditivos metálicos cerámicos 90 W	99
			LEDs 40 - 60 W	40 - 60
Aditivos Metálicos 100 W	110 - 129	Parques y Plazas	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	66
			LEDs 25 - 35 W	30 - 40
Tungsteno 1000 W	1000	Campos Deportivos	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	154
			LEDs 80 - 105 W	80 - 105
Tungsteno 500 W	500	Campos Deportivos	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	66
			LEDs 25 - 35 W	25 - 35

\* Cada 2 luminarias de Aditivos Metálicos de 400W, se pueden sustituir por 3 de Aditivos Metálicos Cerámicos de 140 W.

Fuente-. Elaboración propia



A fin de evitar inconvenientes, como parte del concurso que se realice para los proyectos de alumbrado público de los municipios de Oruro y Potosí, se recomienda revisar tanto los resultados simulados de las opciones que se propongan, así como realizar mediciones en campo en las que se prueben los luminarias propuestos a fin de verificar su consumo energético y que cumplan con los niveles de iluminación requeridos por la norma NB 1412001-2.

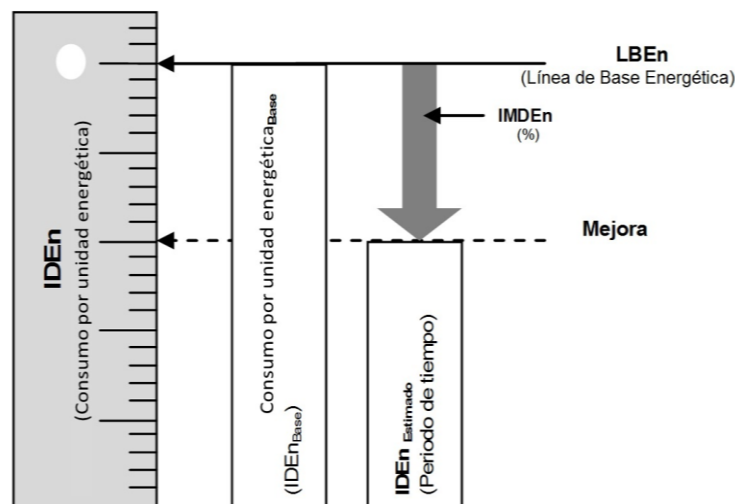
#### 4.3.1 Determinar las medidas eficientes y su base metodológica de cálculo energético.

##### Base Metodológica

De acuerdo a lo especificado en la ISO 50006:2014 – “Sistemas de gestión energética - Medición del rendimiento energético utilizando líneas de base de energía (ENB) y los indicadores de desempeño energético (IDEn’s) - Principios generales y orientación”, se toma como una referencia para definir el método de cálculo de ahorros energéticos y económicos para proyectos de eficiencia energética

Esta metodología nos permite establecer los lineamientos para definir la construcción de las Líneas de Base Energéticas (LBEn), identificar y cuantificar el Consumo por unidad energética (IDEn o ICEE) del sistema de Alumbrado Público Municipal (APM) , y se define el método para estimar el potencial de ahorro de energía y económico para aplicar las medidas de eficiencia energética.

Figura 21. Metodológica de determinar potencial de ahorro energético



Fuente: ISO 50006:2014 – “Sistemas de gestión energética

Para determinar el porcentaje de ahorro energético se aplica la siguiente formula.

Figura 22. Relación entre Ahorro Energético e índice de Mejora de Desempeño Energético

$$IMDEn = \left[ \frac{(IDEn_{Base} - IDEn_{Estimado})}{IDEn_{Base}} \right] \times 100$$

Fuente: Metodología EE - Programa EE FIRA

Definiciones de los parámetros para el cálculo energético y consideraciones:

Tabla 13. Definiciones de los parámetros para el cálculo energético y consideraciones

Datos Ecuación EE	Descripción y Consideraciones	Formulas
<b>Consumo por unidad energética (IDEn)</b>	Medida de desempeño energético construido con el consumo de energía eléctrica (KWh) y los superficie a iluminar en m2.	$IDEn = \frac{\text{Consumo de Energía kWh}}{m2}$
<b>Establecer un periodo Base (año<sub>Base</sub>)</b>	Se recomienda utilizar un año base: puede ser un periodo adecuado o un promedio histórico de varios años, se recomienda utilizar los datos más completos y relevantes disponibles	Se utilizará como periodo el 2017 enero-mayo y se pronosticará hasta diciembre como año base
<b>Consumo por unidad energética Base (IDEn<sub>Base</sub>)</b>	Relación entre el consumo de energía del sistema de Alumbrado Público Municipal y su unidad de superficie iluminar expresada en m <sup>2</sup> .	$IDEn_{Base} = \frac{\text{Consumo de Energía kWh año 2017}}{m2}$
<b>Línea Base Energética (LBEn)</b>	Representación de los indicadores en un periodos de tiempo representativos Se tomará como referencia el año 2017 proyectada a diciembre.	Se proyectará como referencia el año 2017
<b>Índice de Mejora del Desempeño Energético Estimado (IMDEn<sub>Estimado</sub>)</b>	Porcentaje de proyección que se encuentre integrado por el Consumo por unidad energética <sub>Base</sub> y el Consumo por unidad energética <sub>Estimado</sub>	$IMDEn_{Estimado} = \frac{\text{Consumo de Energía kWh Estimado}}{m2}$

Fuente: Metodología EE - Programa EE FIRA

Las metodologías de cálculo para determinar el ahorro de energía eléctrica y el ahorro económico se aplican los siguientes métodos.

#### a) Método de cálculo de ahorro de energía eléctrica (IMDEn)



El  $IMDEn_{Estimado}$  se refiere al ahorro de energía que se estima debido al cambio de equipo o tecnología de un equipo existente.

$$IMDEn = \left[ \frac{(\text{Consumo por unidad energética}_{Base} - \text{Consumo por unidad energética}_{Estimado})}{\text{Consumo por unidad energética}_{Base}} \right] \times 100$$

#### b) Método de cálculo de ahorro económico

$$\begin{aligned} \text{Ahorro Económico} \left( \frac{\$}{\text{año}} \right) \\ = \left[ \text{Ahorro Consumo por unidad energética} \left( \frac{kWh}{\text{año}} \right) * \text{Precio medio energía} \left( \frac{\$}{kWh} \right) \text{tarifa} \right] \end{aligned}$$

#### c) Método de cálculo de rentabilidad económico de proyectos de eficiencia energética

$$\text{Período simple de recuperación}(PSR) = \frac{\text{Inversión efectuada}}{\text{Ahorro generado}}$$

### 4.3.2 Cálculo de ahorro de energía en sistema de iluminación

#### 4.3.2.1 Metodología para calcular el ahorro de energía eléctrica en sistemas de iluminación tipo fluorescente

De acuerdo a la metodología aprobada por la junta ejecutiva del MDL, AMS II J ***Demand-side activities for efficient lighting technologies ver 3***, se presenta la siguiente formula que permite calcular el ahorro de energía eléctrica, para sistemas de iluminación ineficientes por alta eficiencia que se haya definido.

$$AEi = n * (Pi_{BL} - Pi_{PJ}) * Oi / 1000$$

Fuente: POA design document; CFL lighting scheme – “Bachat Lamp Yojana”

Dónde:

$i =$  Contador para el tipo de dispositivo de iluminación, por tipo de luminaria

$n =$  Numero de tipos de dispositivos de alumbrado

$AEi =$  Estimación de ahorro anual de electricidad para los equipos del tipo  $i$ , de acuerdo a la tecnológico de referencia. (kWh)

$Pi_{BL}$  = Potencia nominal de los dispositivos de iluminación de referencia del grupo del tipo  $i$  los dispositivos de alumbrado (Watts) ineficiente ejemplo 400 W de lámpara Vapor de Sodio o 250 W o 75 W.

$P_i, P_j$  = Potencia nominal de los dispositivos de proyecto de iluminación, del grupo de "los dispositivos de alumbrado i" (Watts), Alta Eficiencia Super Sodio, Cerámico o Led.

$O_i$  = El promedio de horas anuales de funcionamiento de los dispositivos de iluminación (HID), reemplazados por el grupo de "los dispositivos de alumbrado i", horas al año, por luminaria Medida o Por horas definidas, ejemplo 12 horas al año.

### 4.3.3 Estimación de ahorro de energía en sistema de iluminación para Alumbrado Público

#### 4.3.3.1 Municipio de Oruro

##### a) Sistema de Alumbrado en Avenidas y calles

La aplicación de una medida de ahorro de energía en sistema de iluminación, se determina por el tipo de luminaria y lámpara eficiente a instalar, por lo tanto, la disminución en potencia de energía se obtiene, por el reemplazo de sistemas lámparas actuales (ejemplo Vapor de sodio 250 W), por tecnología Leds (110 W), ahorro superior al 50%.

Tomando como referencia el sistema actual de alumbrado público, y determinando el consumo de energía anualizado por tipo de sistema de iluminación (lámpara y balastro electromagnético), se obtendrá nuestra línea base, posteriormente se propondrá de 2 a 3 tipos de sistema de iluminación eficiente, para analizar y verificar la tecnología de iluminación más recomendada para el proyecto.

Las tres tecnologías eficientes a evaluar son:

- Vapor de sodio optimizado o Súper sodio
- Aditivos Metálicos Cerámicos
- Diodos Emisores de Luz (LED)

La línea base del sistema de Alumbrado Público de avenidas y calles corresponde a 28,551 luminarias<sup>3</sup>, los cuales tiene un consumo de energía eléctrica al año de 21,843 MWh/año, y un gasto de \$24.595 millones de Bs al año.

A continuación se presenta los resultados comparativos de los sistemas de iluminación línea base y los Medidas de Eficiencia Energéticas sugeridas:

Tabla 14. Sistema Actual vs Sistema Propuesto

<sup>3</sup> No incluye luminarias tipo fluorescentes y Leds de 360W

Sistema Actual (Caso Base)						Propuestas de Luminarias Eficientes						Ahorro		
Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Energía Eléctrica		Facturación
												MWh/año	%	Mil Bs \$/año
Vapor de Sodio Alta Presión 400 W	137	464	58	253.25	\$ 285.17	Vapor de Sodio Optimizado 250 W	137	276	104	150.64	\$ 169.62	102.61	40.5%	\$ 115.54
						LEDs 200 W		200	110	109.16	\$ 122.92	144.09	56.9%	\$ 162.25
Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	13,403	290	82	14,930.8	\$ 16,812.09	Vapor de Sodio Optimizado 150 W		167	90	8,598.08	\$ 9,681.44	6,332.72	42.4%	\$ 7,130.64
						Aditivos Metálicos Cerámicos 140 W	13,403	154	85	7,928.77	\$ 8,927.80	7,002.03	46.9%	\$ 7,884.29
						LEDs 110 W		110	114	5,663.41	\$ 6,377.00	9,267.40	62.1%	\$ 10,435.09
Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	2,753	173	77	1,828.87	\$ 2,059.31	Vapor de Sodio Optimizado 100 W		114	77	1,205.15	\$ 1,357.00	623.72	34.1%	\$ 702.31
						Aditivos Metálicos Cerámicos 90 W	2,753	99	84	1,046.58	\$ 1,178.45	782.29	42.8%	\$ 880.86
						LEDs 80W		80	108.7	845.72	\$ 952.28	983.15	53.8%	\$ 1,107.03
Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	11,791	89	53	4,461.44	\$ 5,023.59	Vapor de Sodio Optimizado 50 W		61	57	3,057.84	\$ 3,443.13	1,403.60	31.5%	\$ 1,580.45
						Aditivos Metálicos Cerámicos 45 W	11,791	51	61	2,556.56	\$ 2,878.68	1,904.89	42.7%	\$ 2,144.90
						LEDs 38 W		35	113	1,754.50	\$ 1,975.57	2,706.94	60.7%	\$ 3,048.02
Vapor de Mercurio 175 W	263	205	60	209.99	\$ 236.45	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	263	66	107.1	67.61	\$ 76.13	142.38	67.8%	\$ 160.32
						LEDs 40 W		40	113	40.97	\$ 46.14	169.02	80.5%	\$ 190.31
Vapor de Mercurio 125 W	145	150	60	84.71	\$ 95.39	Aditivos metálicos cerámicos 45 W		51	107.1	44.30	\$ 49.88	40.41	47.7%	\$ 45.51
						LEDs 35 W	145	35	113	30.40	\$ 34.23	54.31	64.1%	\$ 61.16
Vapor de Mercurio 250 W	59	295	60	74.19	\$ 83.53	Aditivos Metálicos Cerámicos 90 W	59	99	107.1	24.90	\$ 28.03	49.29	66.4%	\$ 55.50
						LEDs 75W		75	113	18.86	\$ 21.24	55.33	74.6%	\$ 62.30
Total	28,551			21,843.27	\$ 24,595.52	Vapor de Sodio Optimizado + ADMC	28,551	Opción 1		13,148.53	\$ 14,805.24	8,694.74	39.8%	\$ 9,790.28
						Aditivos Metálicos Cerámicos		Opción 2		11,819.36	\$ 13,308.60	10,023.91	45.9%	\$ 11,286.93
						LEDs		Opción 3		8,463.03	\$ 9,529.37	13,380.24	61.3%	\$ 15,066.15

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que las luminarias tipo Led de 380 W, fueron adquirido recién, se consideró no incluirlo dentro de las propuestas de sustitución, a pesar que en las simulación se determinó que esta sobredimensionados para el tipo de viabilidad que ilumina.

1. La opción uno corresponde instalar Vapor de sodio optimizado y aditivos metálicos cerámicos, se logra un ahorro de energía eléctrica de 8,695 MWh/año y un ahorro económico de \$9.790 millones de Bs al año, equivalente al 39.8% en comparación con la línea base.
2. La opción dos corresponde instalar Aditivos Metálicos Cerámicos, se logra un ahorro de energía eléctrica de 10,024 MWh/año y un ahorro económico de \$11.287 millones de Bs al año, equivalente a 45.9%, en comparación con la línea base.

3. La opción tres corresponde instalar Diodos Emisores de Lux (Led) con una eficacia superior a los 100 lm/W, se logra un ahorro de energía eléctrica de 13,380 MWh/año y un ahorro económico de \$15,066 millones de Bs al año, equivalente a 61.3%, en comparación con la línea base.

Lo anterior nos permite demostrar que los LED permiten generar los mayores de ahorros energéticos y económicos en sistemas de iluminación para Alumbrado Público.

#### b) Sistema de Alumbrado Parque y Plazas

A continuación se analizarán los sistemas de iluminación para parques y plazas.

La línea base del sistema de Alumbrado Público de parque y plazas corresponde a 1,916 luminarias, los cuales tiene un consumo de energía eléctrica al año de 3,954 MWh/año, y un gasto de \$4.452 millones de Bs al año.

A continuación se presenta los resultados comparativos de los sistemas de iluminación línea base y los Medidas de Eficiencia Energéticas sugeridas:

Tabla 15. Comparativo de ahorro de energía en Parques y Plazas

Sistema Actual (Caso Base)							Propuestas de Luminarias Eficientes						Ahorro		
Equipo	Aplicación	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Energía Eléctrica MWh/año	%	Facturación Mil Bs \$/año
Aditivos Metalicos 400 W	Parques y Plazas	933	460	71.4	1,788.14	\$ 2,013.44	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	933	308	107.1	1197.27	\$ 1,348.13	590.86	33.0%	\$ 665.31
							LEDs 180 W		180		699.71	\$ 787.87	1,088.43	60.9%	\$ 1,225.57
Aditivos Metalicos 250 W	Parques y Plazas	479	300	71.4	598.71	\$ 674.15	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	479	154	107.1	307.34	\$ 346.06	291.37	48.7%	\$ 328.09
							LEDs 105 W		105		209.55	\$ 235.95	389.16	65.0%	\$ 438.20
Aditivos Metalicos 150 W	Parques y Plazas	162	185	71.4	124.87	\$ 140.60	Aditivos metálicos cerámicos 90 W	162	99	107.1	66.82	\$ 75.24	58.05	46.5%	\$ 65.36
							LEDs 60 W		60		40.50	\$ 45.60	84.37	67.6%	\$ 95.00
Aditivos Metalicos 100 W	Parques y Plazas	36	129	71.4	19.35	\$ 21.79	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	36	66	107.1	9.90	\$ 11.15	9.45	48.8%	\$ 10.64
							LEDs 35 W		35		5.25	\$ 5.91	14.10	72.9%	\$ 15.88
Tungsteno 1000 W	Campos Deportivos	52	1000	71.4	270.82	\$ 304.94	Aditivos metálicos cerámicos 140 W	52	154	107.1	33.36	\$ 37.57	237.45	87.7%	\$ 267.37
							LEDs 105 W		105		22.75	\$ 25.61	248.07	91.6%	\$ 279.32
Tungsteno 500 W	Campos Deportivos	16	500	71.4	41.66	\$ 46.91	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	16	66	107.1	4.40	\$ 66	37.26	89.4%	\$ 41.96
							LEDs 35 W		35		2.33	\$ 35	39.33	94.4%	\$ 44.29
Total		1,678			2,843.54	\$ 3,201.83	Aditivos Metálicos Cerámicos		Opción 1		1,619.10	\$ 1,823.10	1,224.45	43.1%	\$ 1,378.73
							LEDs		Opción 2		980.08	\$ 1,103.57	1,863.46	65.5%	\$ 2,098.26

Fuente: Elaboración propia.

La mejor opción de ahorro y de rentabilidad es el sistema de iluminación con Leds

1. La opción uno corresponde instalar Aditivos Metálicos Cerámicos, en las potencias señaladas, esto logra un ahorro de energía eléctrica de 1,224 MWh/año y un ahorro económico de \$1.378 millones de Bs al año, equivalente al 43.1% en comparación con la línea base.
2. La opción dos corresponde instalar Diodos Emisores de Lux (Led), se logra un ahorro de energía eléctrica de 1,863 MWh/año y un ahorro económico de \$2.098 millones de Bs al año, equivalente al 65.5%, en comparación con la línea base.

c) Estimación total de Ahorro de energía y económico en Municipios de Oruro.

La estimación total de ahorro de energía eléctrica y de facturación, se presenta a continuación para la aplicación de medidas eficientes en luminarias en avenidas y parques.

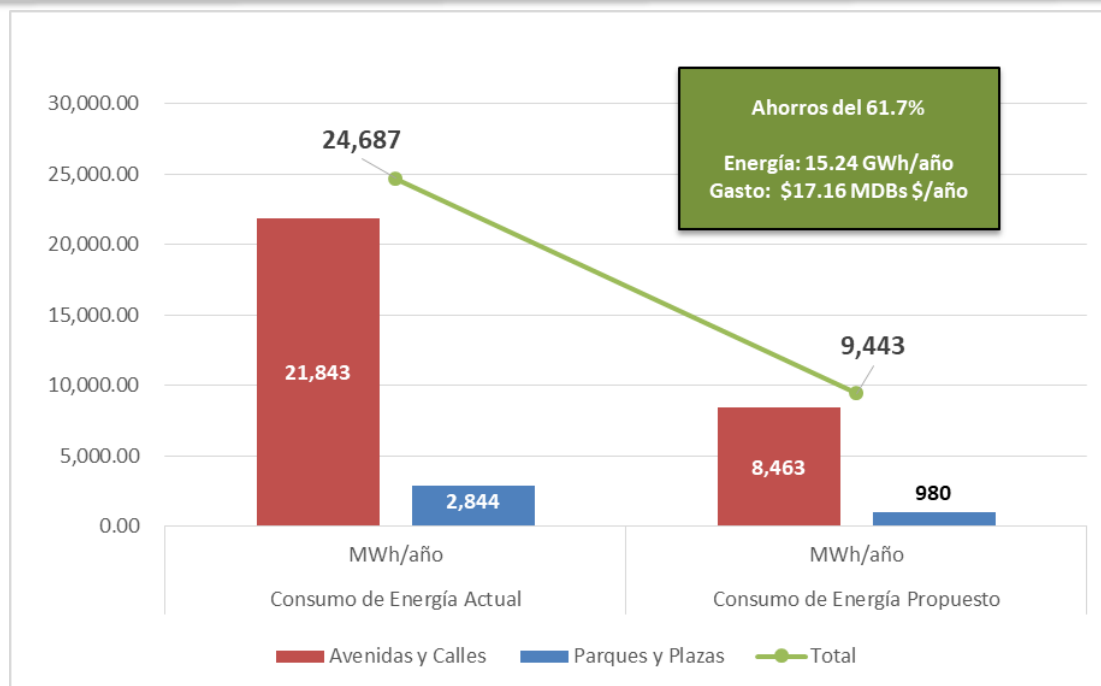
Tabla 16. Estimación potencial de ahorro Municipio de Oruro

Sistema Actual (Caso Base) 2017					Propuestas de Luminarias Eficientes				Ahorro		
Equipo	Aplicación	Cantidad	Consumo de Energía Actual MWh/año	Facturación Mil B \$/año	Equipo	Cantidad	Consumo de Energía Propuesto MWh/año	Facturación Mil B \$/año	Energía Eléctrica		Facturación Mil B \$/año
									MWh/año	%	
Total	Avenidas y Calles	28,551	21,843.27	\$ 24,596	LED	28,551	8,463	\$ 9,529	13,380	61%	\$ 15,066
	Parques y Plazas	1,678	2,843.54	\$ 3,202		1,678	980	\$ 1,104	1,863	66%	\$ 2,098
	Total	30,229	24,686.81	\$27,797.35		30,229	9,443	\$ 10,632.94	15,244	61.7%	\$ 17,164.41

Fuente: Elaboración propia.

La mejor opción es la aplicación de luminarias tipo Led, lo que permitirá reducir el consumo de energía eléctrica de 15,244 MWh/año y un ahorro económico de \$17.16 millones de Bs al año, equivalente al 61.7% con respecto a la línea base.

Figura 23. Potencial de Ahorro de energía MWh/año



Fuente; Elaboración propia Municipio de Oruro.

#### 4.3.3.1 Municipio de Potosí

##### a) Sistema de Alumbrado en Avenidas y calles

Tomando como referencia el sistema actual de alumbrado público, y determinando el consumo de energía anualizado por tipo de sistema de iluminación (lámpara y balastro electromagnético), se obtendrá nuestra línea base, posteriormente se propondrá de 2 a 3 tipos de sistema de iluminación eficiente, para analizar y verificar la tecnología de iluminación más recomendada para el proyecto.

Las tres tecnologías eficientes a evaluar son:

- Vapor de sodio optimizado o Súper sodio
- Aditivos Metálicos Cerámicos
- Diodos Emisores de Luz (LED)

La línea base del sistema de Alumbrado Público de avenidas, se establece la cantidad de 7,574 luminarias de alumbrado Público, que representan el 64.5% de las luminarias de Vapor de sodio, de 70W, 150W y 250W, y el 100% de la VSAP de 400W y en VM

de 125W y 175W luminarias, los cuales tiene un consumo de energía eléctrica al año de 5.033 GWh/año, y un gasto de \$5.838 millones de Bs año.

A continuación se presenta los resultados comparativos de los sistemas de iluminación línea base y los Medidas de Eficiencia Energéticas sugeridas:

Tabla 17. Estimación potencial de ahorro Avenidas y calles Municipio de Potosí

Sistema Actual (Caso Base)						Propuestas de Luminarias Eficientes						Ahorro		
Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturacion Mil Bs \$/año	Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturacion Mil Bs \$/año	Energía Eléctrica		Facturacion
												MWh/año	%	Mil Bs \$/año
Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	1,257	70	53	385.21	\$ 446.85	Aditivos Metálicos Cerámicos 45 W	1,257	45	61	248	287	138	35.7%	160
						LEDs 35 W		35	113	193	223	193	50.0%	223
Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	4,439	150	82	2,914.89	\$ 3,381.27	Aditivos metálicos cerámicos 90 W	4,439	90	85	1,749	2,029	1,166	40.0%	1,353
						LEDs 80 W		80	114	1,555	1,803	1,360	46.7%	1,578
Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	1,204	250	82	1,317.96	\$ 1,528.84	Aditivos Metálicos Cerámicos 140 W	1,204	140	85	738	856	580	44.0%	673
						LEDs 120 W		110	114	580	673	738	56.0%	856
Vapor de Sodio Alta Presión 400 W	27	400	58	47.28	\$ 54.84	Vapor de Sodio Optimizado 250 W	27	276	104	33	38	15	31.0%	17
						LEDs 200 W		200	110	24	27	24	50.0%	27
Vapor de Mercurio 175 W	64	175	60	49.03	\$ 56.87	Aditivos metálicos cerámicos 60 W	64	60	107.1	17	19	32	65.7%	37
						LEDs 40 W		40	113	11	13	38	77.1%	44
Vapor de Mercurio 125 W	583	125	60	319.02	\$ 370.06	Aditivos metálicos cerámicos 45 W	583	45	107.1	115	133	204	64.0%	237
						LEDs 35 W		35	113	89	104	230	72.0%	266
Total	7,574			5,033.39	\$ 5,838.73	Aditivos Metálicos Cerámicos	7,574	Opción 1		2,899	3,363	2,134	42.4%	2,476
						LEDs		Opción 2 LEDs		2,451	2,843	2,582	51.3%	2,995

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que las luminarias tipo Led de 210 y 270 W, fueron adquirido recién, se consideró no incluirlo dentro de las propuestas de sustitución, a pesar que en las simulación se determinó que está por arriba del nivel de iluminación para el tipo de viabilidad que ilumina.

1. La opción uno corresponde instalar Aditivos Metálicos Cerámicos, y Vapor de sodio, se logra un ahorro de energía eléctrica de 2,134 MWh/año y un ahorro económico de \$2.476 Millones de Bs al año, equivalente a 42.4%, en comparación con la línea base.
2. La opción dos corresponde instalar Diodos Emisores de Lux (Led) con una eficacia superior a los 100 lm/W, se logra un ahorro de energía eléctrica de

2,582 MWh/año y un ahorro económico de \$2.995 millones de Bs al año, equivalente al ahorro del 51.3%, en comparación con la línea base.

Lo anterior nos permite demostrar que los LED permiten generar los mayores de ahorros energéticos y económicos en sistemas de iluminación para Alumbrado Público.

### b) Estimación total de Ahorro de energía y económico en Municipios de Potosí.

Se propone sustituir 7,574 luminarias, lo que permitirá lograr un ahorro de energía eléctrica y de facturación, el cual se presenta a continuación para la aplicación de medidas eficientes en luminarias en avenidas y parques.

Tabla 18. Estimación potencial de ahorro Avenidas y calles Municipio de Potosí

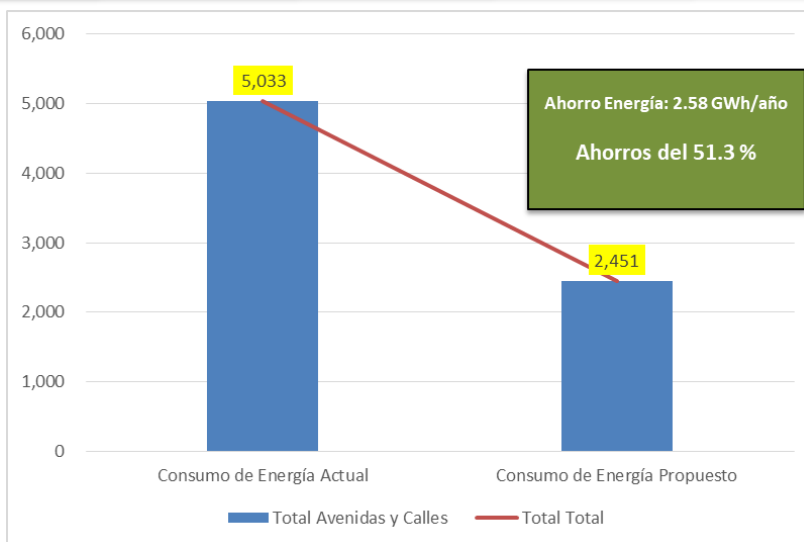
Sistema Actual (Caso Base)						Propuestas de Luminarias Eficientes						Ahorro		
Equipo	Potencia de Línea [W]	Cantidad	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Equipo	Cantidad	Potencia de Línea [W]	Eficacia del luminario [lm/W]	Consumo de Energía MWh/año	Facturación Mil Bs \$/año	Energía Eléctrica		Facturación Mil Bs \$/año
												MWh/año	%	
Vapor de Sodio Alta Presión	70	1,257	53	385	447	LEDs 35 W	1,257	35	113	193	223	193	50.0%	\$ 223
	150	4,439	82	2,915	3,381	LEDs 80 W	4,439	80	114	1,555	1,803	1,360	46.7%	\$ 1,578
	250	1,204	82	1,318	1,529	LEDs 110 W	1,204	110	114	580	673	738	56.0%	\$ 856
	400	27	58	47	55	LEDs 200 W	27	200	110	24	27	24	50.0%	\$ 27
Vapor de Mercurio	175	64	60	49	57	LEDs 40 W	64	40	113	11	13	38	77.1%	\$ 44
	125	583	60	319	370	LEDs 35 W	583	35	113	89	104	230	72.0%	\$ 266
Total		7,574		5,033	5,839	LEDs	7,574	Opción LEDs		2,451	2,843	2,582	51.3%	\$ 2,995

Fuente: Elaboración propia.

La mejor opción es la aplicación de luminarias tipo Led, lo que permitirá reducir el consumo de energía eléctrica de 2,582 MWh/año y un ahorro económico de \$2.995 millones de Bs al año, equivalente al ahorro total del 51.3% con respecto a la línea base.

Figura 24. Potencial de Ahorro de energía MWh/año





Fuente; Elaboración propia Municipio de Potosí.

## 5 Estimación de monto de inversión para implementar medidas en el Sistema de Alumbrado Público Municipal

### 5.1 Determinación monto de inversión para implementar medidas de eficiencia energética.

#### 5.1.1.1 Municipio de Oruro

Se propone cambiar 30,229 luminarias de Alumbrado Público, el cual se tendrá un potencial de ahorro de energía en el Municipio de Oruro de 15.24 GWh/año, con un ahorro económico de \$17,164 millones de Bs al año, representando un ahorro del 61.7%, la inversión estimada para implementar las Medidas Eficientes es de \$13.87 millones de USD, la rentabilidad del proyecto tiene un Periodo Simple de Recuperación (PSR) de 5.58 años.

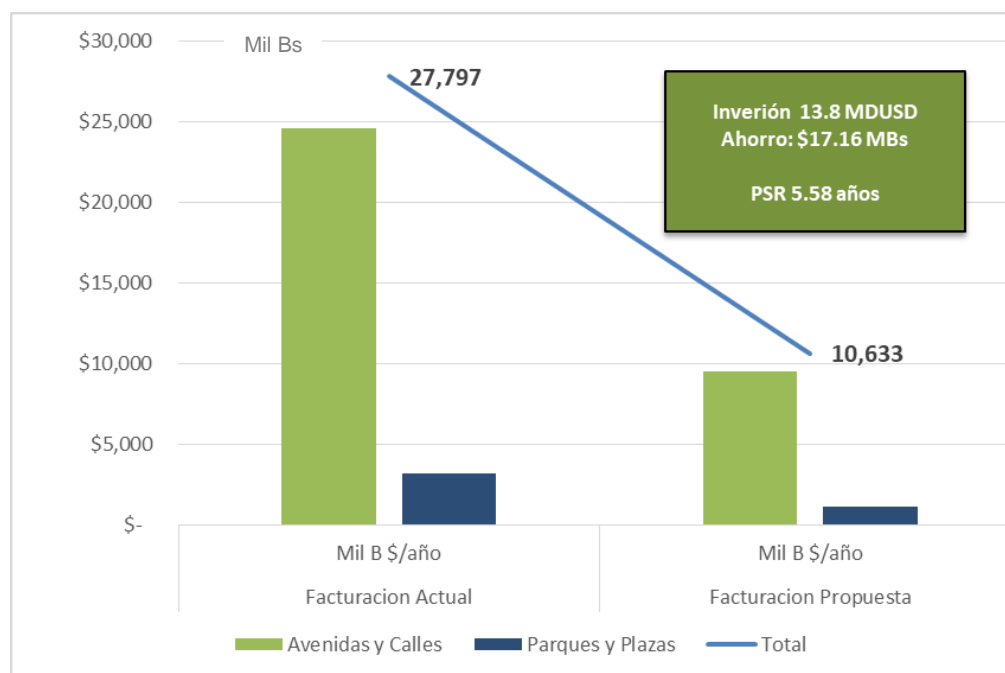
Adicionalmente se contempla un ahorro de 1.25 millones de Bs al año por concepto de mantenimiento del sistema de Alumbrado Público, que consiste en compra de materiales y de reposición de lámparas y balastos para las luminarias existentes, por lo tanto el ahorro total del proyecto por aplicar Medidas Eficientes en el sistema de Alumbrado Público es de \$18.4 millones de Bs al año, lo que podría reducir la rentabilidad a 5.2 años.

Tabla 19. Tabla resumen de ahorros y rentabilidad Municipio de Oruro

Sistema Actual (Caso Base) 2017					Propuestas de Luminarias Eficientes				Ahorro		Rentabilidad			
Equipo	Aplicación	Cantidad	Consumo de Energía Actual MWh/año	Facturación Actual Mil B \$/año	Equipo	Cantidad	Consumo de Energía Propuesto MWh/año	Facturación Propuesta Mil B \$/año	Energía Eléctrica		Facturación	Inversión	PSR	Inversión
									MWh/año	%	Mil B \$/año	MIL B \$	años	MIL USD \$
Total	Avenidas y Calles	28,551	21,843	\$ 24,596	LED	28,551	8,463	\$ 9,529	13,380	61%	\$ 15,066	\$ 87,176	5.79	\$ 12,616
	Parques y Plazas	1,678	2,844	\$ 3,202		1,678	980	\$ 1,104	1,863	66%	\$ 2,098	\$ 8,682	4.14	\$ 1,256
	Total	30,229	24,687	\$ 27,797		30,229	9,443	\$ 10,633	15,244	62%	\$ 17,164	\$ 95,857	5.58	\$ 13,872

Fuente; Elaboración propia datos del Municipio.

Figura 25. Potencial de Ahorro económico al año Municipio de Oruro



Fuente: Estimación de ahorros Municipio Oruro

### 5.1.1.2 Municipio de Potosí

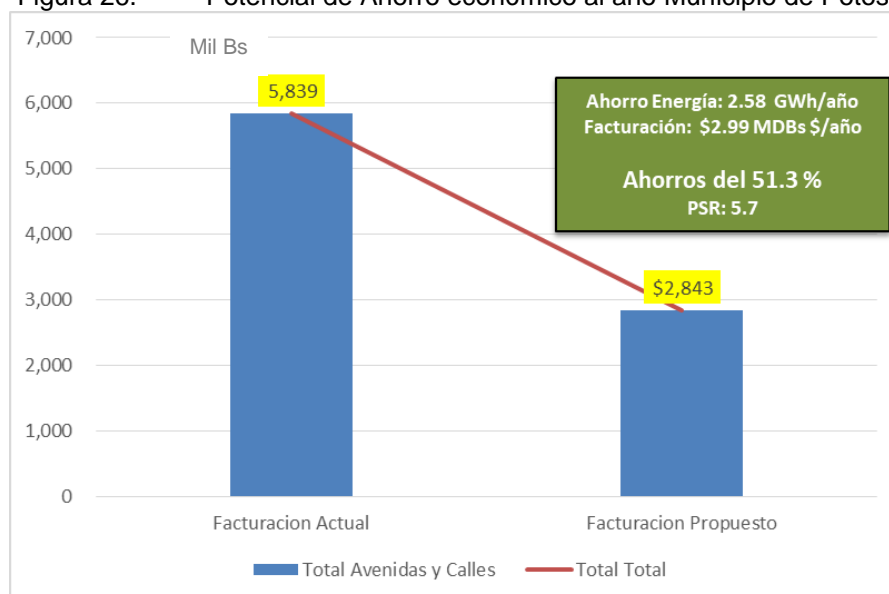
Se propone sustituir 7,574 luminarias de alumbrado Público, el cual da un potencial de ahorro de energía en el Municipio de Potosí de 2.58 GWh/año y un ahorro económico de 2.995 millones de Bs al año, representando un ahorro del 51.3%, la inversión estimada es de 2.48 millones de USD, para aplicar las medidas eficientes.

Adicionalmente, se considera que el presupuesto para mantenimiento del sistema de Alumbrado Público, es de 0.95 millones de Bs al año, que contempla la compra de materiales y de reposición de lámparas y balastros, por lo tanto este monto se podrá ahorrar un 50% equivalente a 0.475 millones de Bs, lo que permitiría tener un ahorro total de \$3.47 millones de Bs al año, lo que permite tener la rentabilidad de 4.94 años.

Tabla 20. Tabla Resumen de ahorros y rentabilidad Municipio Potosí

Sistema Actual (Caso Base) 2018					Propuestas de Luminarias Eficientes				Ahorro		Rentabilidad			
Equipo	Aplicación	Cantidad	Consumo de Energía Actual	Facturación Actual	Equipo	Cantidad	Consumo de Energía Propuesto	Facturación Propuesto	Energía Eléctrica		Facturación	Inversión	PSR	Inversión
			MWh/año	Mil B \$/año			MWh/año	Mil B \$/año	MWh/año	%	Mil B \$/año	Mil B \$	años	Mil USD \$
Total	Avenidas y Calles	7,574	5,033	5,839	LED	7,574	2,451	\$ 2,843	\$ 2,582	51.3%	\$ 2,995	\$ 17,143	5.72	\$ 2,480
	Total	7,574	5,033	5,839		7,574	2,451	\$ 2,843	\$ 2,582	51.30%	\$ 2,995	\$ 17,143	5.72	\$ 2,480

Figura 26. Potencial de Ahorro económico al año Municipio de Potosí



Fuente; Elaboración propia.

## **6 Antecedentes, aspectos e instrumentos legales y administrativos considerados a la fecha.**

### **6.1 Antecedentes**

La eficiencia energética ha tomado un papel preponderante durante las últimas décadas debido a los altos costos de la energía que se han presentado en el Sector Energético de los diferentes países a nivel mundial, lo que ha propiciado la necesidad de reducir costos de operación de las empresas, comercios y servicios, a fin de aumentar su competitividad, reducir los gastos de la economía familiar en los hogares, diferir inversiones al sector eléctrico de los países, vía el ahorro y uso eficiente de la energía y contribuir a la mitigación del Cambio Climático Global por la reducción de la quema de combustibles fósiles necesarios para la generación de electricidad.

De acuerdo a lo anterior, se han implementado diferentes iniciativas por diversos países, a fin de propiciar el ahorro y uso eficiente de la energía a través de proyectos y programas pilotos y a gran escala, tanto por el sector público como privado y, uno de los mecanismos novedosos es la promoción de la eficiencia energética por medio de la creación y operación de fideicomisos, los cuales operan con fondos nacionales o internacionales con el objeto de otorgar financiamiento a los usuarios de la energía para realizar proyectos de ahorro de energía en sus instalaciones, en la medida de lo posible, con tasas de interés competitivas, plazos fijos y, en algunos casos, operando con fondos de contragarantía para disminuir el riesgo de las carteras que tienen que administrar para recuperar los recursos financiados. En todos los casos, lo más conveniente es que los flujos de efectivo que generan los ahorros energéticos paguen los créditos otorgados a los beneficiarios al plazo de los créditos establecidos.

Es por lo anterior que, a fin de tener diversos antecedentes y referencias internacionales sobre el funcionamiento de fideicomisos para la implementación de proyectos y programas de eficiencia energética, en este capítulo se describen los resultados de una investigación de los casos Latinoamericanos más representativos de Fondos Fiduciarios (FF) para la eficiencia energética, tanto para el sector público como privado.

## 6.2 Experiencias internacionales

### 6.3 México

#### 6.3.1 Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

##### 6.3.1.1 Programa Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal.

###### 6.3.1.1.1 Antecedentes

A partir del año 2010, con el convenio marco de colaboración la Sener (Secretaría de Energía); la Conuee (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía); CFE (Comisión Federal de Electricidad) y Banobras (Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.), dio inicio la ejecución del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal.

###### 6.3.1.1.2 Objetivo

Impulsar la eficiencia energética a través de la sustitución de los sistemas ineficientes de alumbrado público municipal, lo que constituye una oportunidad para los gobiernos locales puesto que se contribuye a promover:

- La reducción en el consumo de energía eléctrica
- Transición del alumbrado implementando tecnologías más eficientes
- Asegurar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de sistema y producto en alumbrado público

###### 6.3.1.1.3 Alcance

1. Brindar **apoyo técnico y financiero** (crédito) a los municipios para ejecutar proyectos de sustitución de sistemas de alumbrado público.
2. Mejorar los sistemas de alumbrado público municipal incorporando la sustitución de luminarias, balastros y lámparas **con alta eficiencia energética**.
3. Otorgar opinión (validación) **técnica y financiera** sobre los proyectos municipales, así como la rentabilidad de la inversión Proporcionar **apoyos no recuperables** por la conclusión del proyecto.

4. Cotejar los censos de cargas y reconocimiento por la CFE de los ahorros generados en el consumo de energía eléctrica.

#### **6.3.1.1.4 Alcance**

El Proyecto Nacional considera otorgar a los municipios financiamiento de la banca de desarrollo para la ejecución de los proyectos, buscando la recuperación del financiamiento a través de los ahorros económicos generados por la disminución en el consumo de energía eléctrica.

Es importante señalar que la incorporación en el Proyecto Nacional no implica una solicitud de crédito con Banobras; el municipio tiene pleno derecho de elegir el financiamiento que considere conveniente, o bien, emplear recursos propios para la instalación de los sistemas de iluminación de alumbrado público.

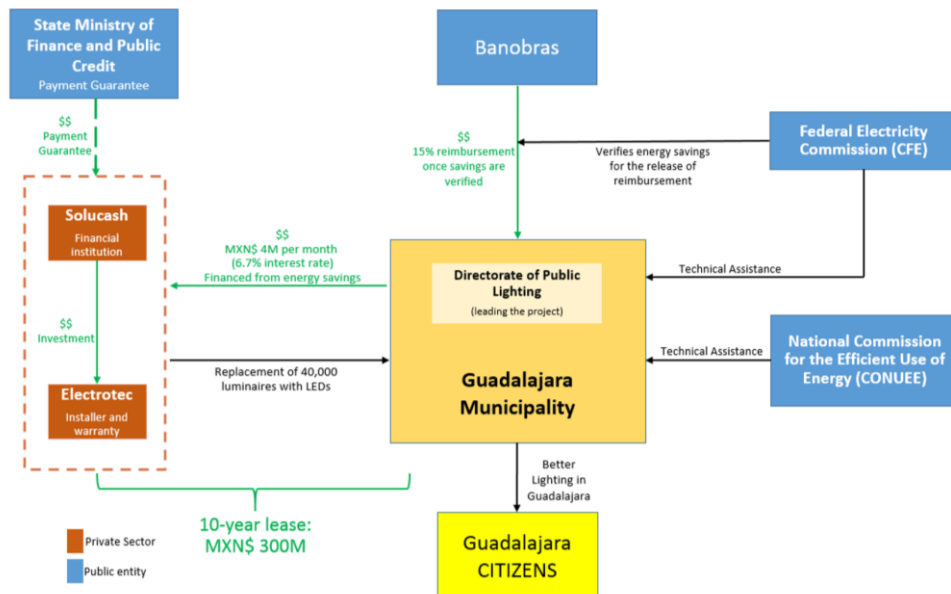
#### **6.3.1.1.5 Responsabilidades y sus funciones en el marco del Proyecto Nacional**

- Secretaría de Energía.- Beneficia a los municipios con un incentivo económico a través del Fideicomiso N°2145 “Fondo para la Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía”.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.-Coordina el Proyecto Nacional y emitir opiniones técnicas.
- Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.- Otorga financiamiento a los municipios.
- Comisión Federal de Electricidad.- Proporciona y valida los censos de cargas de los sistemas de iluminación de los municipios actualmente y después de concluida la ejecución del proyecto.

#### **6.3.1.1.6 Esquema de operación**

Para describir más claramente como opero el Programa, se da como ejemplo el esquema presentado el proyecto en Municipio de Jalisco.

Figura 27. Esquema de Operación Programa de Alumbrado Público Municipal de Jalisco



Fuente: Modelos de entrega comprobados para iluminación pública LED  
Pedzi Makumbe, Debbie K. Weyl, and Andrew Eil, Jie Li

### 6.3.2 Fideicomiso para el Ahorro de Electricidad (FIDE<sup>4</sup>)

El FIDE es un Fideicomiso privado no lucrativo, constituido el 14 de agosto de 1990 por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se creó para otorgar apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE), a fin de promover acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en el sector privado. El Fideicomiso se integra por las siguientes partes, a saber:

- **Fideicomitentes:** Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN), Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA), Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas (CANAME), Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), Cámara Nacional de Empresas de Consultoría (CNEC) y el Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana (SUTERM).
- **Fiduciaria:** En México, es la Institución de Banca de Desarrollo denominada Nacional Financiera, Sociedad Nacional de Crédito (NAFIN), quién otorga facultades a un delegado fiduciario. Este último, como apoderado de la Fiduciaria, delega facultades al Director General del FIDE quien es el responsable de implementar todos los proyectos, programas y acciones que se encargan al fideicomiso. El Director General del fideicomiso, delega facultades a los Subdirectores en el área de su competencia y se les encarga operar dichos programas y proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía a nivel nacional.
- **Fideicomisarios:** Son la CFE y los consumidores de energía eléctrica que resulten

<sup>4</sup> Fuente: [http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=219](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219)



beneficiarios de los servicios que proporciona el Fideicomiso de los sectores industrial, comercial, servicios, municipal y doméstico.

El FIDE cuenta con un Comité Técnico, el cual está integrado por los siguientes funcionarios del sector público y privado.

#### **6.3.2.1 Objetivos Estratégicos**

- a) Financiar programas y proyectos de eficiencia energética –eléctrica y térmica–, cogeneración y generación distribuida con fuentes renovables en industrias, comercios, servicios y vivienda.
- b) Alcanzar una posición competitiva mediante el otorgamiento de un mayor número de financiamientos a tasas más atractivas e implementar sistemas más eficientes de crédito y cobranza.
- c) Diversificar fuentes de ingresos e incrementar la captación de recursos.
- d) Lograr mayor colaboración con empresas públicas, privadas y sociales; organismos empresariales, así como gobiernos federal, estatal y municipal.
- e) Incrementar y diversificar los servicios de gestoría y de asesoría técnico–administrativa en la integración de proyectos en materia de energía.
- f) Coadyuvar en el fortalecimiento de la cultura del ahorro y el uso eficiente de la energía en la población.
- g) Incrementar el conocimiento de la sociedad sobre los objetivos del FIDE y los servicios que ofrece.
- h) Ampliar la participación del FIDE como una entidad evaluadora y certificadora de competencias laborales en materia de energía.
- i) Fortalecer al FIDE como entidad de evaluación y certificación de empresas especializadas en servicios energéticos y de acreditación de productos de excelencia en eficiencia energética.
- j) Incursionar en la investigación aplicada y en la innovación tecnológica en ahorro, uso eficiente de la energía y generación distribuida con fuentes renovables.
- k) Ampliar la presencia internacional del FIDE en materia de asistencia técnica, capacitación en eficiencia energética y aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

Las acciones de eficiencia energética realizadas por el FIDE se dividen en las siguientes dos vertientes:

## **A. Proyectos de Eficiencia Energética en Empresas con Recursos Patrimoniales**

Su objetivo es promover e inducir, con acciones y resultados concretos, el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en los sectores industrial, comercial, servicios (micro, pequeña, mediana y gran empresa) y doméstico, a través del financiamiento de proyectos con recursos propios del fideicomiso que permiten la vinculación entre la innovación tecnológica y el consumo de energía eléctrica, mediante la aplicación de diversas tecnologías eficientes.

Los servicios del FIDE incluyen proporcionar asesoría y asistencia técnica, ya sea con y sin financiamiento, para la modernización de instalaciones, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías. Con el ahorro de energía obtenido, contribuye a la conservación de los recursos naturales no renovables, al aprovechamiento sustentable de la energía y la disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Sus proyectos logran desarrollar un mercado de consultoría y de tecnologías de alta eficiencia que contribuyen al crecimiento del empleo.

## **B. Programas de Eficiencia Energética en Empresas con Recursos de Terceros**

El FIDE ofrece apoyo técnico y financiero a través de programas encargados por la Secretaría de Energía del país o por negociaciones realizadas con organismos internacionales, con el fin de beneficiar tanto a las familias mexicanas como al sector empresarial de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPyMES). Su objetivo es la transformación del mercado de tecnologías ineficientes hacia otro de tecnologías de alta eficiencia energética, así como contribuir al desarrollo económico, social y a la preservación del medio ambiente

### **6.3.2.2 Proyectos, Programas y Acciones de Apoyo Operados por el FIDE**

Entre algunas de las acciones más representativas realizadas por el FIDE tanto a lo largo de su historia, como actualmente, se encuentran las siguientes:

- *Proyectos Demostrativos*: Desde 1991, constituyeron una estrategia útil para vencer las principales barreras y mostrar los beneficios de la eficiencia energética en los sectores industrial, comercio, servicios, micro, pequeñas y medianas empresas, así como en municipios, a través del otorgamiento de créditos para la realización de diagnósticos energéticos y proyectos de eficiencia energética.
- *Generación Distribuida y Cogeneración Eficiente*: El FIDE, promueve proyectos de generación distribuida y cogeneración eficiente con fuentes renovables de energía.

- *Diagnósticos Energéticos*: En conjunto con la CFE, el FIDE realiza diagnósticos residenciales y empresariales.
- *Programas de sustitución de lámparas incandescentes por Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)*: Dirigidos al sector doméstico, también han dado acceso a tecnologías de iluminación más eficientes a población de escasos recursos. Se ejecutaron primero programas piloto y, una vez demostrados sus beneficios hacia todos los sectores, se ejecutaron programas masivos. Actualmente, se opera el Programa Nacional de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Fluorescentes Compactas Autobalastradas (Ahórrate Una Luz) con la meta de sustituir 40 millones de lámparas y con el fin de apoyar la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010 para eliminar del mercado las lámparas incandescentes.
- *Transformación del mercado*: El FIDE desde 1998, comenzó a promover la transformación del mercado a través de la ejecución de un préstamo del BID a la CFE por 23.4 millones de dólares para sustituir motores, compresores y sistemas de alumbrado ineficientes por otros de alta eficiencia en el sector empresarial mexicano.
- *Programas de Sustitución de Electrodomésticos*: Entre los años 2002 y 2006, con recursos de terceros, el FIDE sustituyó 628,283 refrigeradores, 132,318 aires acondicionados y 25,526 aislamientos térmicos en viviendas. Ante el resultado de estos programas, se operó una ampliación entre los años 2009 y 2012 que logró la sustitución de 1,682,802 refrigeradores y 201,327 equipos de aire acondicionado.
- *Programa Eco - Crédito Empresarial Masivo*: Actualmente el FIDE otorga créditos preferenciales para la sustitución de equipos ineficientes, mediante el Programa Eco-Crédito Empresarial Masivo, apoyando al sector de las MIPyMES con préstamos de hasta 400 mil pesos mexicanos. El programa opera con una línea de descuento de títulos de crédito por un monto de 800 millones de pesos mexicanos (36,867 millones de dólares americanos), la cual se estima se incrementa a 1,200 millones (55,299 millones de dólares americanos), en 2017 para continuar operando el programa.
- *Horario de Verano*: Su principal objetivo es hacer un mejor uso de la luz solar durante los meses de mayor insolación, para reducir el consumo de energía eléctrica utilizada en iluminación, equivalente a una hora de luz artificial por las noches, teniendo su mayor impacto en el sector doméstico. Desde 1996, el FIDE ha contribuido a dar seguimiento puntual a la medida y su promoción, cuantificar los ahorros que se logran año con año en colaboración de la CFE y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) (actualmente Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias - INEEL), y darlos a conocer a la opinión pública nacional.
- *Educación para el Ahorro y Uso Racional de la Energía Eléctrica*

**(EDUCAREE):** En el programa EDUCAREE, el FIDE capacita a personas en la cultura del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, lo cual está afianzando la cultura de la eficiencia energética en la sociedad e incrementa la capacidad social para adoptar hábitos y medidas más responsables y sustentables.

- **Normalización:** México cuenta con 30 Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) vigentes en materia de Eficiencia Energética, el FIDE ha participado en la elaboración y/o revisión de 20 de estas normas.
- **Programa Permanente de Registro de Empresas Especializadas en la Generación, Ahorro y Uso Eficiente de la Energía:** El FIDE dispone de un Padrón de Empresas con actividades enfocadas a la generación, ahorro y uso eficiente de la energía que se distingan por su profesionalismo y responsabilidad, así como por garantizar la ejecución eficaz y eficiente de proyectos financiados con recursos patrimoniales del FIDE.
- **Sello FIDE:** Es un etiquetado de excelencia que se promueve entre los fabricantes de tecnologías eficientes para que mejoren la calidad y desempeño de sus productos y la gama de soluciones de eficiencia adoptándolo voluntariamente y participando en sus programas. Es garantía de cumplimiento de las normas de eficiencia energética y de un mayor ahorro energético con respecto a ellas.
- **Empresa Científica y Tecnológica:** En 2015 el FIDE logro inscribirse en el Registro Nacional de Empresas Científicas y Tecnológicas, lo que le permite desarrollar investigación aplicada y acceder a fondos de investigación para generar bases de conocimiento más completas a partir de la ejecución de sus proyectos y de la prospectiva que generan sus resultados.
- **Programas Responsables con el Medio Ambiente:** El FIDE integra a la ejecución de sus programas, el manejo estricto de residuos peligrosos bajo reglas de manejo que dicta la autoridad competente que es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tal es el caso de los gases refrigerantes: clorofluorocarbonados e hidroc fluorocarbonados que son recolectados en Centros de Acopio.
- **Programas certificados con ISO:** Adicionalmente, el FIDE cuenta con certificaciones de la *International Organization for Standardization* (ISO) por sus siglas en inglés o la Organización Internacional para la Estandarización, como la ISO 9001:2008 en sus Programas Proyectos de Eficiencia Energética, Eco-Crédito Empresarial, EDUCAREE y Sello FIDE.
- **El FIDE certifica competencias laborales:** El Fideicomiso logró, a partir de junio de 2014, ser un organismo acreditado por el Sistema Nacional de Competencias, para acreditar competencias laborales para preparar a la base laboral de las empresas e industrias, en las competencias pertinentes en materia de Eficiencia Energética. Actualmente, certifica a personas en los estándares EC0076, EC0412 y EC0586.

Adicionalmente el FIDE apoya, en el campo de la eficiencia energética, a otros países para el diseño de sus programas de ahorro de energía. A continuación, se presenta una tabla con los proyectos y programas actualmente vigentes operados por el FIDE:

Tabla 21. Proyectos y programas vigentes operados por el FIDE

Línea	Tipo Instrumento	Usos	Monto de Crédito	Plazo	Tasa y/o Comisión	Garantías o Contragarantías
<b>Proyectos de Eficiencia Energética en Empresas del Sector Productivo (con recursos patrimoniales)</b>	Créditos con tasa baja de interés en comparación con tasas de mercado.	Diagnósticos energéticos y estudios técnico-económicos.	Hasta \$350,000 pesos Mx (16,128 dólares americanos).	Hasta 3 años para tecnologías convencionales.	Tasa fija al plazo del crédito establecida por el FIDE conforme a las condiciones de mercado.	Garantía prendaria con factura de equipos endosada a favor del fideicomiso y pagarés firmados por el representante legal de la empresa o dueño de la vivienda. En ciertos casos aplica aval y garantía hipotecaria.
	Aplica para el sector privado productivo y para proyectos en viviendas de alto consumo eléctrico.	Implementación de medidas ahorro de energía.	Montos mayores a \$350,000 pesos mexicanos (16,128 dólares americanos) son sujetos a autorización de un Comité de Crédito	Hasta 5 años para tecnologías de sistemas fotovoltaicos .		
<b>Programa Eco - Crédito Empresarial Masivo (con recursos de terceros)</b>	Créditos con interés y garantía prendaria.  Aplica al sector de las MIPyMES	Sustitución y/o adquisición de equipos eficientes.	Hasta \$400,000 pesos mexicanos (18,433 dólares americanos) se financia el 100% del costo y en su caso instalación de los equipos eficientes.	Créditos a 48 meses con reembolso vía la facturación eléctrica.	Tasa de interés del 14% anual sobre saldos insolutos. No se cobra comisión por apertura de crédito.	Garantía prendaria con factura de equipos endosada a favor del fideicomiso y pagarés firmados por el representante legal de la empresa.
<b>Programa “Ahórrate Una Luz” (con recursos de terceros)</b>	Distribución de 40 millones de lámparas fluorescentes compactas ahorradoras LFCA en localidades con menos de 100 mil habitantes.	Distribución de paquetes de 5 LFCA a familias de bajos recursos.	Los paquetes de 5 LFCA por familia son a fondo perdido.	No Aplica	No Aplica	Ser un usuario vigente en sus pagos de energía eléctrica y entregar el equivalente a 5 focos incandescentes al recibir las LFCA.

Nota: Sólo se presentan los proyectos y programas actualmente vigentes operados por el FIDE, aunque en el pasado ha operado otras iniciativas de financiamiento en condiciones diferentes de crédito.

### 6.3.3 Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE<sup>5</sup>)

A fin de apoyar la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE), así como promover la utilización, desarrollo e inversión en las energías renovables y la eficiencia energética, se instauró este Fondo presidido por la Secretaría de Energía de México (SENER), lo que permite lo siguiente:

- a) El uso y aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables;
- b) La eficiencia energética y ahorro de energía;
- c) El uso y aplicación de tecnologías limpias y,
- d) La diversificación de fuentes de energía, en especial las renovables.

El órgano máximo de Dirección del Fondo lo representa un Comité Técnico conformado por representantes de diversas entidades públicas, quienes de manera colegiada autorizan aquellos proyectos que hacen cumplir los objetivos de la ENTEASE.

#### 6.3.3.1 Reglas de Operación del Fideicomiso Público de Administración y Pago Denominado FOTEASE<sup>6</sup>

Los beneficiarios de los proyectos pueden ser personas físicas o morales del sector público o privado, así como cualquier organización no gubernamental cuyo proyecto esté encaminado a los objetivos de la ENTEASE y quienes pueden acceder a los recursos del Fondo.

Mediante un contrato suscrito entre la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), se formalizó la constitución del Fideicomiso público de administración en su calidad de Fideicomitente, y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, Sociedad Nacional de Crédito (BANOBRA), Institución de Banca de Desarrollo, División Fiduciaria, en su calidad de Institución Fiduciaria, con la participación de la SENER, de acuerdo a lo siguiente:

- **Nombre del Fideicomiso:** Fideicomiso público de administración y pago No.

5 Fuente: <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>

6 Fuente: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014)

Todo este apartado fue obtenido de las Reglas de Operación incluidas en esta liga y parafraseado.



2145 denominado "*Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*".

- **Fideicomitente:** La Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- **Fiduciario:** El Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, Sociedad Nacional de Crédito, Institución de Banca de Desarrollo, División Fiduciaria.

### **Recursos del Fideicomiso**

La operación financiera del Fideicomiso se integra con diferentes aportaciones económicas que se indican a continuación:

- Aportación inicial y aportaciones subsecuentes aportadas por el Fideicomitente con cargo al presupuesto autorizado de la SENER.
- Con los productos que genere la inversión de los recursos líquidos que integren el Fideicomiso.
- Con las donaciones provenientes de cualquier persona física o moral, sin que por ese hecho se consideren como fideicomitentes o fideicomisarios o tengan derecho alguno sobre el patrimonio fideicomitado.
- Los demás recursos que se integren al patrimonio del Fideicomiso, distintos al que aporte el Fideicomitente.

Tabla 22. Resumen de Características del FOTEASE<sup>7</sup>

FONDO	Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
Dependencia	SENER
Área	Dirección General de Sustentabilidad
Descripción	Financiar programas y proyectos enfocados en los siguientes aspectos: Uso y aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables y limpias. Fomento a la eficiencia energética y el ahorro de energía en los diferentes sectores (residencial, industrial, comercial, agrícola, entre otros). Diversificación de fuentes de energía para llevar a cabo la transición energética en México. Recopilación, generación y difusión de potencial de energías renovables y limpias en México.
Monto de los Apoyos Económicos	No existe un límite de apoyo a los proyectos y programas planteados, siempre y cuando estos cumplan con los requisitos mínimos para resultar sancionados como favorables. Los recursos del Fideicomiso son ejercidos conforme a: a) Los acuerdos que dicte el Comité Técnico para la asignación de apoyos financieros a Proyectos que tengan por objeto cumplir con los fines del Fideicomiso. b) Las convocatorias que emita el Comité Técnico.
Tipo de Beneficiarios	Los beneficiarios pueden ser una persona física o moral, del sector público o privado, así como cualquier organización no gubernamental nacional o extranjera, cuyo Proyecto esté encaminado a los objetivos de la ENTEASE.

<sup>7</sup> Fuente: Esta tabla se hizo con base en la tabla que aparece en el siguiente sitio pero se realizaron adaptaciones y su incluyó información adicional para su complemento:  
<https://gestiondefondos.jalisco.gob.mx/fondos/fondo/renderFondo/9>

	Los beneficiarios son determinados de acuerdo a cada convocatoria. Solo son apoyadas aquellas propuestas de proyectos que sean dictaminadas favorablemente como elegibles por el Comité Técnico.
Tipos de Apoyo	Económicos.
Fechas de Convocatoria	La recepción de las propuestas se realiza a lo largo de todo el año calendario y se envían vía electrónica a la Dirección de Energías Renovables de la SENER.
Consideraciones	Sólo son apoyadas aquellas propuestas que sean dictaminadas favorablemente como elegibles por el Comité Técnico del Fondo. El Fiduciario del Fondo es BANOBRAS, mientras que el Fideicomitente es la SHCP. De ser necesario, el Comité Técnico puede convocar a sesiones extraordinarias con el objetivo de analizar más proyectos que no tuvieron la posibilidad de presentarse en las sesiones ordinarias.
Montos y Proyectos	Se definen en cada convocatoria, anualmente.
Condiciones Financieras	Este Fondo, no constituye un programa de subsidios directos, sino que contribuye a financiar programas y proyectos enfocados al uso y aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables y limpias; fomento a la eficiencia energética y el ahorro de energía en diferentes sectores: residencial, industrial, comercial, agrícola, entre otros. Son recursos no reembolsables que deben cumplir con los requisitos del Fondo por lo que no aplican plazos de reembolso, tasas ni garantías.



## 6.4 Panamá<sup>8</sup>

El 12 de octubre de 2012 la Asamblea Nacional de Diputados decretó la Ley 69 de Uso Racional y Eficiente de la Energía, siendo el organismo público responsable de su aplicación la Secretaría Nacional de Energía de Panamá. Esta Ley establece los lineamientos generales de la política nacional para el uso racional y eficiente de la energía en el territorio nacional, fomentando la competitividad de la economía nacional, facilitando la adopción de políticas, promoviendo líneas de financiamiento, desarrollando y propagando productos economizadores de energía, promoviendo técnicas y tecnologías nuevas y eficientes en el consumo energético y prácticas eficientes en el proceso productivo y en el uso de equipos consumidores de energía que resulten económicamente factibles.

En su Capítulo VII, la Ley 69 establece la constitución de un Fondo para el Uso Racional y Eficiente de la Energía (FUREE) en el Banco Nacional de Panamá, destinado a realizar operaciones financieras de apoyo a programas y proyectos privados de uso racional y eficiente de la energía, el cual podrá recibir aportes reembolsables y no reembolsables de organizaciones bilaterales y multilaterales de financiamiento, fondos de cooperación técnica, de gobiernos y agentes de mercado del sector energético.

El Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá, será el que asignará recursos financieros a la Secretaría Nacional de Energía con una partida extraordinaria para conformar parte del capital inicial del Fondo, así como posteriores partidas presupuestarias anuales para reforzar el capital disponible para otorgar financiamientos a los beneficiarios, y también cubrirá el déficit entre los ingresos y gastos operativos anuales que requiera el Fondo para seguir operando el otorgamiento de créditos.

Los costos o gastos administrativos o de funcionamiento del Fondo, no podrán ser cubiertos con el capital inicial y las posteriores partidas presupuestarias anuales y sus recursos se utilizarán para llevar a cabo las siguientes acciones:

- a) Financiar estudios y auditorías energéticas, con financiamientos reembolsables o no reembolsables.
- b) Complementar inversiones en proyectos o programas de eficiencia energética que estén económicamente justificados y que resulten en mejoras en la productividad y en la eficiencia energética.

---

<sup>8</sup> Fuente: <http://www.uree.com.pa/wp-content/uploads/2015/09/LEY-69-de-12-de-octubre-de-2012.pdf>

- c) Otorgar créditos directos o intermediados, así como garantías que respalden créditos de otras instituciones financieras, para la ejecución de proyectos de eficiencia energética en los sectores de interés que establezca la Secretaría Nacional de Energía. Apoyar iniciativas orientadas a inducir cambios permanentes en la estructura y comportamiento del mercado de tecnologías, productos y servicios de la energía, que garanticen el incremento de la eficiencia energética, incluyendo cursos, talleres y seminarios.
- d) Pagar los costos de funcionamiento del comité de supervisión y del comité técnico- asesor.

Los proyectos a ser financiados o garantizados por el FUREE permitirán el otorgamiento de préstamos o garantías bajo condiciones preferenciales en comparación con las condiciones vigentes del mercado financiero en la República de Panamá, lo cual está establecido en los criterios y mecanismos para la selección de proyectos apoyar.

En caso de existir déficit para cubrir los gastos operativos anuales del Fondo, los ingresos del FUREE se cubren con aportes gubernamentales anuales y es el Ministerio de Economía y Finanzas, en coordinación con la Secretaría Nacional de Energía, los que establecen el monto y la forma de asignar estos recursos al Fondo.

#### **6.4.1 Estructura general del FUREE<sup>9</sup>**

El FUREE cuenta con un comité de supervisión, seguimiento y control, de naturaleza pública-privada que es presidido por la Secretaría Nacional de Energía que se reúne periódicamente para vigilar el trabajo de los administradores energéticos, la gestión del Fondo y que se cumplan sus fines y normas de funcionamiento.

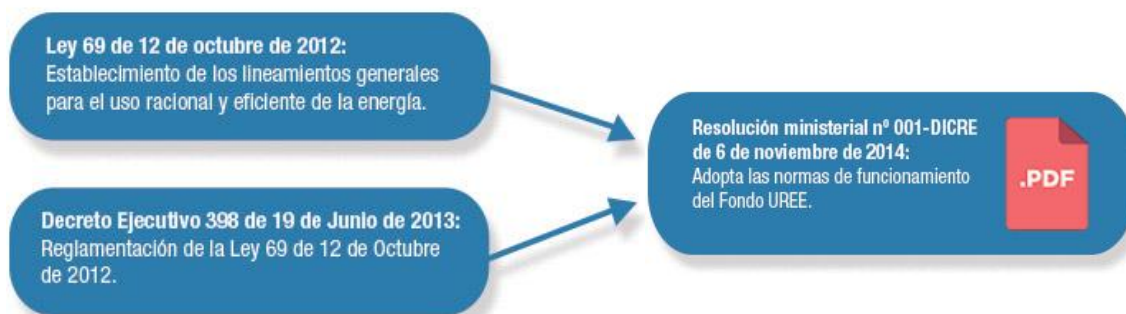
Asimismo, el Fondo cuenta con un comité técnico-asesor que se reúne periódicamente para aprobar o revisar los criterios de afiliación de consultores técnicos o empresas que les brinden servicios de consultoría a los beneficiarios del Fondo. También define los requisitos y normas técnicas que como mínimo deben cumplir los proyectos que financie el Fondo.

---

<sup>9</sup> Fuente: <http://www.uree.com.pa>

El contrato del Fideicomiso suscrito entre el Banco Nacional de Panamá y el Ministerio de Economía y Finanzas, es el que establece las reglas de operación del FUREE. Mediante la resolución ministerial No. 001-DICRE del 6 de noviembre de 2014, se adoptaron las normas de funcionamiento del fondo para el uso racional y eficiente de la energía, lo que se muestra a continuación:

Figura 28. Bases legales para el establecimiento de las reglas de operación del FUREE.



El monto del capital inicial y partidas presupuestales de soporte al FUREE para la operación del Fondo, se muestran a continuación:

Tabla 23. Características del FUREE

Tipo	Fideicomiso
Administrador Fiduciario	Banco Nacional de Panamá
Administrador Operativo (AO)	A escoger en acto público
Capital inicial	B/. 10 MM (10 millones de dólares)
Partidas de soporte al FUREE	B/. 1 MM anual (1 millón de dólares)

## 6.5 Uruguay

### 6.5.1 Fideicomiso Uruguayo de Ahorro y Eficiencia Energética (FUNDAEE<sup>10</sup>)

En la Ley N° 18,597 sobre el uso eficiente de la energía en el territorio nacional de Uruguay, se especifica el mandato para la creación del FUNDAEE, la cual se aprobó en el año 2009 y, en su artículo 17, se encomienda al Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y al Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) la creación del Fideicomiso con los siguientes objetivos:

- a) Brindar financiamiento para la asistencia técnica en eficiencia energética.
- b) Promover la eficiencia energética a nivel nacional.
- c) Financiar proyectos de inversión en eficiencia energética.
- d) Promover la investigación y desarrollo en eficiencia energética.
- e) Actuar como fondo de contingencias en contextos de crisis del sector.

En el Decreto 86/12 reglamentario de la Ley fue aprobado el 22 de marzo de 2012, a través del cual a su vez, se aprobó el FUNDAEE creado por el MEF y el MIEM en su carácter de Fideicomitentes y la Corporación Nacional para el Desarrollo (CND) en su carácter de Fiduciario.

Para llevar a cabo la gestión del Fideicomiso, el MIEM es representado por la Dirección Nacional de Energía (DNE), perteneciente a dicho Ministerio. Las competencias establecidas para el FUNDAEE según lo indicado en la Ley, son las siguientes:

- a) Administrar las transacciones de Certificados de Eficiencia Energética, conforme a las directivas establecidas por el Poder Ejecutivo y asegurar la transparencia del mercado de Certificados de Eficiencia Energética, conforme a las pautas específicas que se establezcan en el Manual de Operaciones del FUNDAEE.
- b) Oficiar de fondo de garantías para líneas de financiamiento destinadas a proyectos de eficiencia energética a través del Fideicomiso de Eficiencia Energética constituido en el marco del Fondo Nacional de Garantías.

10 Fuente: [http://www.dne.gub.uy/programas-y-proyectos/eficiencia-energetica/-/asset\\_publisher/hPeisgn0FYw4/content/fideicomiso-uruguayo-de-ahorro-y-eficiencia-energetica-fundae](http://www.dne.gub.uy/programas-y-proyectos/eficiencia-energetica/-/asset_publisher/hPeisgn0FYw4/content/fideicomiso-uruguayo-de-ahorro-y-eficiencia-energetica-fundae)

- c) Financiar actividades de investigación y desarrollo en eficiencia energética y la promoción de energías renovables.
- d) Brindar financiamiento para el desarrollo de diagnósticos y estudios energéticos para el sector público y privado.
- e) Administrar y captar fondos de donación y préstamos de organismos internacionales u otras fuentes que estén destinados a promover la eficiencia energética y la reducción de gases de efecto invernadero en el sector energía.
- f) Financiar campañas de cambio cultural, educación, promoción y difusión de la eficiencia energética destinadas a todos los usuarios de energía.
- g) Financiar las actividades de control y seguimiento del etiquetado de eficiencia energética de equipamientos a nivel nacional.
- h) Financiar la readecuación y el equipamiento de laboratorios nacionales para asegurar las capacidades de ensayo necesarias para promover y desarrollar la eficiencia energética en el país.
- i) Financiar los costos asociados a su operación, la auditoría y control de los Certificados de Eficiencia Energética liberados por el MIEM, y las actividades de planificación, control, seguimiento y capacitación del personal técnico especializado de la Unidad de Eficiencia Energética de la DNE.
- j) Administrar un fondo de contingencias para actuar en contextos de crisis de abastecimiento de energía cuya función principal será el financiamiento de planes destinados al ahorro de energía por parte de los usuarios y operaciones de emergencia en el mercado energético que aseguren la continuidad del suministro.

### 6.5.2 Fondo de Eficiencia Energética (FEE)<sup>11</sup>

El Fideicomiso de Eficiencia Energética (FEE) de Uruguay fue aprobado en diciembre de 2008 con el objetivo de operar como fondo de garantías de préstamos para la realización de diagnósticos energéticos y para proyectos de inversión en eficiencia energética. Dicho Fideicomiso opera con fondos de donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, sigla en inglés de Global Environment Facility).

No obstante después de dos años de su creación, el FEE se analizó la conveniencia de llevar a cabo algunas modificaciones operativas para mejorar su operación, las cuales consistieron por un lado, en incluir la línea de avales para proyectos de inversión del FEE dentro de la operativa del Sistema Nacional de Garantías (SiGa); lo que le brindó

<sup>11</sup> Fuente: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/fideicomiso-de-eficiencia-energetica-fee->

al instrumento la condición de Garantías Reales Válidas y también agilizar los aspectos administrativos ya que el SiGa opera en tiempo real y, por otro lado, remover la operación de la línea contingente de la órbita de las Instituciones de Intermediación Financiera, llevándola a que fuera operada directamente por la Corporación Nacional de Desarrollo dependiente del MIEM.

La línea contingente se convirtió en una línea para reembolso parcial del costo de estudios de factibilidad y otros estudios necesarios para la preparación de proyectos de inversión en eficiencia energética (66% del costo total, hasta un máximo de US\$ 5,000,000).

En la DNE se conformó un área específica, la Unidad de Demanda, Acceso y Eficiencia Energética, con diversas funciones entre las que se encuentra llevar a cabo la política energética en eficiencia energética a nivel nacional y la operación de los mencionados Fideicomisos.

## 6.6 Brasil<sup>12</sup>

Brasil es uno de los países que cuenta con grandes avances y experiencia en eficiencia energética y cuenta con diversos programas que son reconocidos internacionalmente, entre los que se encuentran el Programa de Conservación de Energía Eléctrica (PROCEL) de Electrobras; Conservación de Petróleo, derivados y gas natural, (CONPET) de Petrobras; y el Programa Brasileño de Etiquetado Energético (PBE). Por otro lado, es destacable que los programas de eficiencia energética de las empresas de distribución de electricidad, regulados por la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), aseguran un flujo regular de recursos para proyectos de eficiencia en el país, lo que ha fortalecido en gran medida, el tema de la eficiencia energética en los diferentes sectores del país.

La política nacional de eficiencia energética incluida en el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PNEE), está diseñada para orientar lo siguiente:

12 Fuente: Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) con la contribución de la GIZ. Nov. 2013. CASO BRASIL, Pág. 73.

- a) Un conjunto consistente de proyectos prioritarios a llevarse a cabo bajo la dirección del Ministerio de Minas y Energía, en coordinación con otros agentes del Gobierno.
- b) La inclusión de la eficiencia energética en la planificación del sector energético, de acuerdo con la Matriz Energética Nacional, el Plan Nacional de Energía y el Plan de Electricidad a diez años.
- c) La planificación estratégica e identificación de acciones prioritarias de los programas nacionales para conservación de la energía – PROCEL y CONPET – y otros que pueden definirse para áreas específicas.
- d) La formulación de mecanismos regulatorios eficaces y de instrumentos de inspección por parte de las agencias reguladoras en el sector energético, ANEEL y la Agencia Nacional del Petróleo (ANP).
- e) La provisión de fondos por parte de los agentes financieros conforme a las pautas oficiales y líneas de acción establecidas.
- f) La política sobre investigación y desarrollo para el tema de eficiencia energética, a través de la articulación de recursos e instituciones involucradas.
- g) El diseño e implementación de proyectos de eficiencia energética por parte de las empresas de distribución de energía eléctrica, en cumplimiento de las normas establecidas por los organismos reguladores.
- h) El establecimiento de una estructura operativa capaz de gestionar la aplicación de esta política, dotada de recursos humanos y presupuestarios consistentes con la importancia de su misión.

A través de las empresas de gobierno como son Petrobras y Electrobras, Brasil ejecuta dos programas nacionales de eficiencia energética, y a través de la ANEEL, supervisa los programas de eficiencia energética realizados por las empresas de distribución de electricidad, lo que le resulta efectivo para el seguimiento y evaluación de los mismos.

La entidad del Gobierno Federal responsable de la ejecución de las políticas relacionadas con la energía dentro de Brasil es Ministerio de Minas y Energía de Brasil y sus atribuciones incluyen la formulación y la aplicación de políticas para el sector energético, según las pautas definidas por el Consejo Nacional de Política Energética.



El mismo Ministerio es el que establece la planificación para el sector energético nacional, lo que lleva a cabo a través de su la Secretaría de Planificación y Desarrollo Energético, además de que controla la seguridad energética y define las acciones preventivas en caso de desequilibrios entre oferta y demanda de electricidad en el país.

El detalle de los deberes de Eficiencia Energética a cargo del Secretario de Planificación y Desarrollo Energético se describe a continuación:

- a) Desarrollar acciones estructurales a largo plazo para la implementación de las políticas sectoriales.
- b) Apoyar y fomentar la capacidad de gestión nacional de la energía
- c) Asesorar y fomentar las actividades de energía sostenible
- d) Coordinar acciones de desarrollo energético, particularmente en las áreas de energía proveniente de fuentes renovables y de eficiencia energética.

Por otro lado las responsabilidades del Departamento de Desarrollo Energético, dependiente de la Secretaría de Planificación y Desarrollo Energético, son las siguientes:

- a) Coordinar acciones y planes estratégicos para promover la conservación de la energía.
- b) Proponer prioridades de investigación y desarrollo de tecnología relacionada con la eficiencia energética a la EPE y a otras instituciones educativas y de investigación.
- c) Promover y coordinar los programas nacionales para el uso racional de la electricidad, el petróleo y productos derivados, el gas natural y otros combustibles.

En octubre de 2011 el Ministerio publicó la Ordenanza No. 594 que aprueba el PNEE, con el objetivo de ahorrar 106,600 GWh en un período de 20 años y estableció las acciones a realizar en las áreas de industrias, edificios, edificios públicos, alumbrado público, saneamiento, calentamiento solar; asociaciones internacionales de



investigación y desarrollo, medición y verificación e iniciativas de financiamiento y la Ordenanza antes señalada guía las acciones a ser implementadas para alcanzar los objetivos de ahorro de energía en el contexto del Plan Nacional de Energía y que se debe de acatar.

## **6.7 Argentina**

Hasta diciembre de 2015 la principal figura en el desarrollo del área energética en Argentina estuvo representada por el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, del que depende la Secretaría de Energía que era el órgano de aplicación de las políticas y programas nacionales que tenían relación con la eficiencia energética en el país.

En diciembre de 2015, se creó el Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina y existe una reestructuración, siendo que los temas de eficiencia energética quedaran a cargo de la Secretaría de Planeamiento Energético del Ministerio, quien tiene a su cargo la Subsecretaría de Ahorro de Eficiencia Energética quien coordina todas las acciones sobre el tema.

Por otro lado, queda a cargo de la Secretaría de Energía Eléctrica dependiente del mismo Ministerio, una Subsecretaría de Energía Renovables.

### 6.7.1 Donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial<sup>13</sup> (FMAM o GEF en inglés)

A través del Banco Mundial Argentina recibió una donación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial para llevar a cabo un **Proyecto de Eficiencia Energética en Argentina** (GEF TF-92377), por un monto de US\$ 15,155 millones, la cual fue aprobada mediante el Decreto N° 1253/09, para lo cual la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética desarrolla diversos programas y acciones para promover la eficiencia energética en el país.

Aunque el periodo para llevar a cabo el Proyecto de Eficiencia Energética en Argentina fue de seis años, aún sigue en funcionamiento, el cual incluye los tres componentes que se describen a continuación:

- **Componente I:** Desarrollo del Fondo de Eficiencia Energética.
  - a. Desarrollo de diagnósticos energéticos y ejecución de estudios de factibilidad para inversiones de Eficiencia Energética.
  - b. Desarrollo del Fondo Argentino de Eficiencia Energética (FAEE).
- **Componente II:** Desarrollo de un programa de eficiencia energética en empresas distribuidoras de energía eléctrica
  - a. Sustitución de lámparas incandescentes por lámparas compactas fluorescentes.
  - b. Diseminación y capacitación. Este componente ha sido llevado a cabo y completado.
- **Componente III:** Fortalecimiento de Capacidades en eficiencia energética y gestión del Proyecto.
  - a. Elaboración de propuestas de políticas y regulaciones para la promoción de actividades de eficiencia energética en el sector energético.
  - b. Programa de Normalización, Etiquetado, Certificación y Ensayos.
  - c. Desarrollo de capacidades de empresas proveedoras de servicios energéticos (EPSEs).
  - d. Programas de Capacitación, Información y Difusión.

<sup>13</sup>Fuente: <https://www.minem.gob.ar/www/835/25544/donacion-del-fondo-para-el-medio-ambiente-mundial-gef-en-ingles.html>

### **6.7.2 Fondo Argentino de Eficiencia Energética**

Este Fondo está dirigido a MIPyMES que presenten proyectos de inversión en eficiencia energética para la adquisición de tecnologías eficientes, cambios en los procesos productivos y cualquier otra acción que lleve a una reducción en el consumo de energía, a quienes se les otorgan créditos de mediano y largo plazo.

El Fondo es coordinado por la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética en conjunto con el Ministerio de Producción y se implementa dentro de las acciones realizadas por el Fondo Nacional de Desarrollo de las Pequeñas y Medianas Empresas (FONAPyME), constituido como un fideicomiso financiero en los términos de la Ley No 24,441.

Es importante mencionar que el marco legal dentro del cual se instrumentó el FAEE, corresponde a los convenios celebrados anteriormente entre la Secretaría de Energía y el FONAPyME, así como a la legislación vigente que respalda al FONAPyME.

Los créditos son adjudicados mediante convocatorias a concurso público de proyectos. Para participar, los interesados deben registrarse y completar algunos formularios del sitio.<sup>14</sup> Pasada esta instancia, los proyectos se presentan en las oficinas del FONAPyME.

---

<sup>14</sup> Estos se encuentran disponibles en web /<http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4042>).

## **7 Posibles mecanismos financiero/administrativos para financiar medidas de ahorro de energía en Municipalidades.**

A partir del análisis de los antecedentes, aspectos e instrumentos legales y administrativos considerados a la fecha, se contemplan dos posibles opciones de mecanismos financiero/administrativos para financiar medidas de ahorro de energía en Municipios de Bolivia, ya sea por inversiones directas del Gobierno o a través de terceros para sean pagados con los ahorros económicos de los proyectos.

Las dos opciones que se explican a mayor detalle son:

1. Canalizar recursos a un Agente operador que de forma centralizada concurse e implante las medidas de eficiencia energética en los Municipios, mediante contratos por desempeño *ex ante*.
2. Canalizar recursos a los Municipios para contratar la adquisición e instalación de equipo que genere eficiencia energética en las Municipalidades, mediante validación ex ante de que la inversión tendrá un retorno en un plazo de hasta 5 años.

Para la estimación de montos requeridos para ejecutar el programa, se tomaron como base las estimación de potenciales de ahorros energéticos económicos y de montos de inversión desarrolladas previamente en esta misma consultoría, por lo que se parte de una inversión requerida de 13.87 millones de USD para el Municipio de Oruro y de 2.48 millones de USD para el Municipio de Potosí, que tendría un periodo simple de recuperación de alrededor 5 a 6 años; para ambos casos, bajo estas mismas premisas, las MEE generarían ahorros anuales durante los siguientes 10 años.

### **7.1 Alternativa 1: Canalizar recursos a un Agente operador que de forma centralizada concurse e implante las medidas de eficiencia energética en las Municipalidades, mediante contratos por desempeño *ex ante*.**

A fin de que el ahorro económico efectivo para las Municipalidades se aumente significativamente, se propone la opción de que sea un Agente Operador el que canalice el financiamiento necesario para la adquisición de los sistemas y equipos, así como de los servicios de instalación para la lograr los ahorros energéticos y económicos estimados.

Bajo esta modalidad, el Agente operador efectuaría, directamente concursaría la adquisición e instalación de los sistemas correspondientes, incluyendo el desmontaje y disposición del equipo anterior y sus residuos. La Municipalidad pagaría la mensualidad correspondiente al costo del equipo más el costo por su instalación, al plazo determinado *ex ante* para que con el flujo liberado por el ahorro esperado se cubra la inversión efectuada.

Revisando las experiencias internacionales y la necesidad de que un Agente operador tenga capacidades y experiencia en eficiencia energética, se considera que el esquema podría funcionar si los recursos asignados al proyecto se aportan a través del agente operador el cual operaría el bajo la dirección y normativa que establezca el Viceministro de Energía.

Las principales características del esquema propuesto se describen a continuación:

- Los recursos asignados se utilizarían para la adquisición de los sistemas y equipos a instalar para la lograr los ahorros energéticos y económicos estimados. y se concursaría la adquisición e instalación de los sistemas correspondientes.
- Los Municipios pagarían mensualmente el monto correspondiente al costo del equipo, al plazo determinado *ex ante* para que con el flujo liberado por el ahorro esperado se cubra la inversión efectuada.
- El recurso para el Agencia Operadora sería aportado en primera instancia por Ministerio de Hacienda.
- El fondeo se obtendría con un préstamo a largo plazo (15 años) de un Organismo Multilateral, e.g. BID.
- Las Municipalidades amortizarían las inversiones de acuerdo al contrato definido.

A continuación se presenta un modelo de cómo podría funcionar este mecanismo:

Figura 29. Mecanismo de financiamiento mediante un fideicomiso que de forma centralizada concurse e implante las MEE en las Municipalidades.



Fuente: Elaboración Propio, experiencia internacional.

Los roles propuestos para los actores involucrados se describen a continuación:

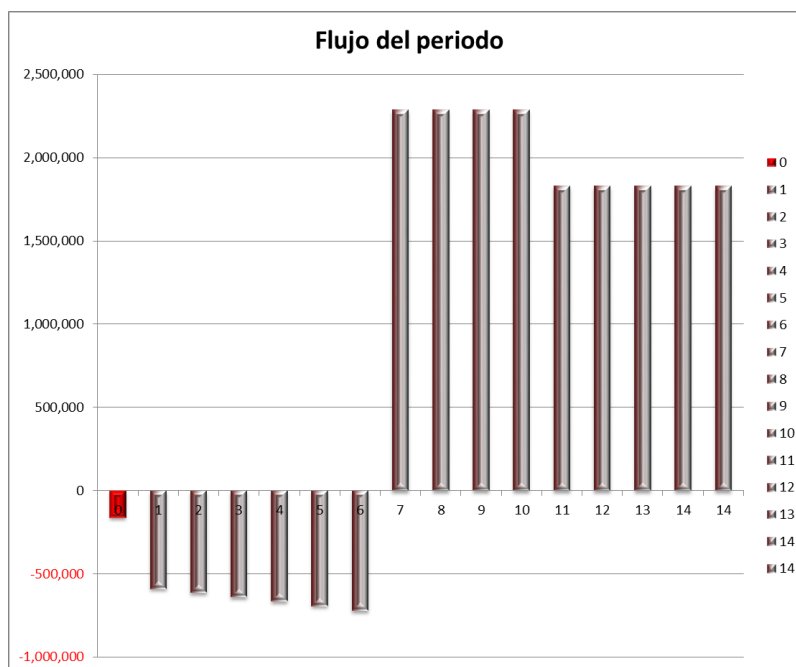
Tabla 24. Roles propuestos para mecanismo de financiamiento de forma centralizada se implante MEE

Actor	Rol	Actividades principales
Ministerio de Energía	Agencia ejecutora	Coordinar con Hacienda, Municipalidades, Organismo Multilateral, Fideicomiso y desarrollo del programa.
Ministerio de Hacienda	Prestatario	Autorizar contratación de crédito. Autorizar contratos con los Municipios participantes. Asignar los recursos necesarios para el Proyecto
Organismo Multilateral	Financiador	Otorgar el crédito y recursos para asistencia técnica.
Banca de Desarrollo	Vehículo financiero	Canalización de los recursos del componente de inversión, administrar los recursos del crédito.
Viceministro de Energía	Coordinador del Programa	Supervisa, el Programa Otras: normalización, capacitación, diseminación.
Agente Operador	Operador del programa	Determinación de lineamientos y tecnologías eficientes de Alumbrado Público. Determinar criterios técnicos para sistema de Alumbrado Público, equipos eficientes a instalar Concursar la compra e instalación de sistemas de EE. Contratar con las Municipalidades el pago a plazo de 5 años de las inversiones efectuadas. Recibir el pago de las Municipalidades y reintegrarlo al Fondo. Seguimiento y verificación del programa. (MRV).
Proveedor	Proveedores de equipo e instaladores	Presentar propuestas Contratar con Fideicomiso la proveeduría e instalación del equipo. Implementar las MEE
Municipalidad	Verificación de instalación y operación	Verificación de la correcta instalación de luminarias Contar con capacidad de financiera para ser sujeto de crédito Verificar los resultados de medidas aplicadas Realizar pago del financiamiento
Empresa Suministradora	Verificar los ahorros generados	Supervisar resultados de la implantación de medidas de EE. Verificar y aceptar os ahorros energéticos generados Recuperar las aportaciones de alumbrado Público.

Fuente: Elaboración Propio, experiencia internacional.

De esta manera, considerando que las tecnologías a instalar tienen una vida útil de 10-15 años, y un fondo para el proyecto sería de 16.352 millones de USD que se integraría con recursos aportados por Ministerio de Hacienda, que serían financiados vía reembolso con un crédito del Organismo Multilateral, se tiene que para el quinto año se habría recuperado la inversión inicial, requerida para implantar las MEE en los Municipios, sin considerar los intereses generados.

Figura 30. Comparativo de ahorro energético vs inversión anual para el mecanismo de financiamiento mediante un fideicomiso que de forma centralizada concurse e implante las MEE para el APM.



Fuente: Elaboración propia, considerando que las MEE tendrán un PSR de 5 años y un programa de inversión

De acuerdo al análisis de rentabilidad el proyecto de eficiencia energética, se tiene un VPN de 3.78 millones de USD a 15 años y una TIR de 24.06%.

Por otro lado, se solicitarían al Organismo Multilateral recursos de asistencia técnica no reembolsable para cubrir algunas actividades requeridas para la gestión eficiente del programa, que incluirían lo siguiente:

- Apoyo a la implementación
- Diagnósticos energéticos y otros estudios
- Capacitación
- Normalización
- Evaluación de ahorros, reducción de GEI y cobeneficios



## **7.2 Alternativa 2: Canalizar recursos a las Municipalidades para contratar la adquisición e instalación de equipo que genere eficiencia energética en Alumbrado Público, mediante validación ex ante de que la inversión tendrá un retorno en un plazo de hasta 5 años.**

Se propone una segunda opción que podría considerarse en caso de que la alternativa 1 no resulte conveniente para Ministerio Hacienda al ponderar el monto relativamente reducido de la inversión respecto a la gestión administrativa que deberían efectuar las Municipalidades para cubrir durante cuatro años el pago de las MEE al Fideicomiso que operaría dicho mecanismo.

Esta opción consistiría en que, previa determinación de las inversiones a efectuar por cada Municipalidad con base en la metodología y lineamientos que establezca el Viceministro de Energía, priorice la adquisición e instalación de las Medidas Eficientes, el Ministerio de Hacienda asigne la partidas presupuestales correspondientes a cada Municipio para que mediante los procedimientos de adquisición conducentes contrate la compra e instalación de los equipos requeridos para la implementación de las MEE.

Bajo esta modalidad, se concursaría entre proveedores de equipo la adquisición e instalación de los sistemas correspondientes, incluyendo el desmontaje y disposición del equipo anterior.

Por lo tanto, las alternativas que resultan viables son la 1 se considera que la más recomendable debido a que permitiría aplicar MEE. La decisión de cuál implementar dependería fundamentalmente de ponderar la conveniencia de tener un fondo rotatorio a pesar del tiempo a invertir en la administración del esquema (alternativa 1), respecto a la facilidad y simplicidad de efectuar la inversión no rotatorio (alternativa 2).

Para ambos esquemas se considera conveniente iniciar la ejecución con un piloto previo, pero seleccionando para que permitan atender los distintos tipos de tecnologías y dimensiones desde el primer año.

## **8 Términos de Referencia para Proyecto de Eficiencia Energética Alumbrado Público.**

### **Proyecto de Eficiencia Energética en Alumbrado Público en Municipios de Oruro y Potosí**

#### **I. Antecedentes**

En este documento se presentan las especificaciones con las cuales los licitadores elaborarán sus propuestas técnicas y económicas, y se muestra la información necesaria a conocer para desarrollar el proyecto de Eficiencia Energética del Sistema de Alumbrado Público de los Municipios de Oruro y Potosí,

Así mismo, la información presentada describe los alcances, las características propias de las avenidas y sus necesidades de infraestructura e iluminación para lograr los objetivos del proyecto, los cuales corresponden a ofrecer un nuevo sistema de alumbrado público a los usuarios que brinde seguridad, confort y ahorros. El entendimiento de los alcances descritos en este documento es responsabilidad de los licitadores.

Las tecnologías de última generación para esta Licitación son consideradas como Luminarias tipo LED, con alto flujo luminoso, alta eficiencia lumínica, que implique bajos costos de operación y reemplazo, que tengan un menor consumo energético, que garantice un tiempo de vida útil acorde a las necesidades de la Ciudad.

#### **II. Objetivos del Proyecto**

Sustituir el alumbrado público del Municipio de Oruro y Potosí, instalando iluminación tipo LED, a fin de contribuir de manera directa en la disminución de la inseguridad, haciendo de las calles un espacio donde se pueda transitar y vivir con seguridad.

#### **III. Alcance de los servicios**

Suministro e instalación de luminarias tipo LED para alumbrado público de diferentes potencia como se muestra a continuación por Municipio, a 50 Hz, con fotocelda.

- 1) El prestador del servicio, deberán de contar como mínimo con una carta de recomendación en la cual se demuestre su experiencia en la implementación de proyectos con tecnología LED en alumbrado de vialidades en el cual se haya implementado de manera exitosa, este caso de éxito podrá ser empleando la misma marca ofertada o cualquier otra mientras que sea tecnología LED para vialidades.

- 2) El prestador del servicio, deberá de contar con equipo y personal capacitado para la instalación y suministro de luminarias LED, se deberá de entregar como evidencia un contrato por el suministro e instalación de cuando mínimo 500 (QUINIENTAS) luminarias LED, el cual deberá de estar validado por la autoridad competente dentro de la instancia gubernamental, podrán ser copias simples.
- 3) El prestador del servicio, deberá de demostrar que el modelo de la luminaria ofertada, cuenta con la Norma Internacional ICE ----- vigente. En el documento que avale el cumplimiento de la Norma deberá estar indicado el modelo y su respectiva potencia, si el certificado es por familia. Así como la prueba de las 6,000 horas continuas en un laboratorio internacional aprobado, del modelo ofertado; estas pruebas deben de cumplir en todos sus parámetros, el no cumplir con la presentación de la prueba que acredite las 6,000 horas cumplidas, así como el cumplimiento de todos los parámetros de la misma prueba, será motivo de descalificación.
- 4) El prestador del servicio, deberán de tener cuando mínimo 1 año de experiencia en la venta de tecnología LED, deberá presentar copia de un contrato o pedidos con copia de factura emitida por año para acreditar dicho punto.
- 5) El capital social del prestador del servicio, deberá de ser cuando mínimo del 50% del valor del total de su propuesta incluyendo el IVA.
- 6) Acta constitutiva de la empresa, el giro del prestador del servicio, deberá coincidir con los servicios motivo de este anexo técnico. Resaltando, preferentemente, denominación, objeto social, nombre del administrador o apoderado, etc., copia simple. En caso de que hubiese modificaciones sustantivas a los estatutos, deberán de presentar las dos últimas; resaltando, preferentemente, en qué consiste la modificación (copia simple).
- 7) El prestador del servicio, presentará una garantía para la luminaria tipo LED, por 10 años de operación y una vida de > 50,000 horas, con sostenimiento de flujo lumínico mayor a 97 % de acuerdo las prueba de las 6000 hrs (se validará la evaluación de la misma prueba), se requiere la siguiente documentación:
  - a. Carta donde el fabricante señale el periodo de garantía de 10 años y establezca la empresa representante de su marca en México autorizada para la participación en esta licitación (en caso de ser el licitante diferente al fabricante).

- b. Carta del representante de la marca (solo en caso de ser diferente al fabricante) y recomendación para la realización de dicho proyecto del licitante (en caso de ser el licitante diferente al fabricante).
- c. Carta del titular de los certificados de la Normatividad Internacional que ampare el modelo y potencia ofertada y recomendación para la realización de dicho proyecto del licitante (en caso de ser el licitante diferente al fabricante).

Las cartas deberán estar firmadas por el apoderado legal o persona autorizada para emitir dichos documentos.

- 8) Se deberá entregar copia del certificado la Normalidad Internacional y la prueba de las 6,000 horas cumplidas satisfactoriamente y terminadas, los certificados y todos los documentos deben ser vigentes. Se validará la información (fichas técnicas, certificados, folletos, catálogos y toda la documentación presentada) en las páginas oficiales de los fabricantes o llamando directo a ellos, si hay información que sea diferente a la presentada será motivo de descalificación.
- 9) El licitante deberá de demostrar mediante fichas técnicas emitida por el fabricante el cumplimiento de todas las características solicitadas, resaltando con marca texto toda la información solicitada en estas bases.
- 10) Se deberá presentar una muestra física exacta al luminario ofertado como parte integral de las bases, si no se entrega la muestra completa de acuerdo a la ficha técnica será motivo de descalificación.
- 11) Se validará mediante el estudio dialux el cumplimiento de la Normatividad en una calle con las siguientes características y únicamente para efectos de comparación se deberá hacer el presente estudio comparando con una luminaria de vapor de sodio correspondiente.
- 12) El incumplimiento en alguno de los puntos mencionados anteriormente será motivo de descalificación.

#### IV. Especificaciones Técnicas

Las luminarias tipo LED, deberán cumplir con las especificaciones técnicas y parámetros que se mencionan a continuación.

- Temperatura de Color (TCC): de 5,000 °K.
- Flujo luminoso con depreciación máxima del 5% a 5 años.
- Eficacia mínima de 115 lm/W (lumen/Watt).
- Vida Útil del luminario: > 50,000 horas, vida útil declarada por el fabricante o importador deberá estar indicado en el certificado o en las pruebas de las 6,000 horas (con mantenimiento de flujo luminoso total - % - requerido mayor a 97 %).
- Factor de Potencia: Igual o Superior a 0.95.
- Contar con una Garantía mínima de 10 años (validado por fabricante por carta).
- IRC (índice de rendimiento de color) mínimo de 70
- Distorsión armónica menor al 10%.
- Curva Asimétrica Tipo II o Tipo II medio, que cumpla con la tabla de mínimos de luxes.
- Bajo deslumbramiento.
- Contar con un Supresor de Picos reemplazable de cómo mínimo de 10 KV en serie o paralelo, separado a la fuente de poder (este se debe de demostrar con ficha técnica del luminario).
- Grado de Protección IP65 mínimo o IP67 de preferencia del sistema óptico del luminario.
- Sistema de control de luminarias, ya sea con fotocelda incluida o que pueda encender y apagar en horarias específicos.
- Material de la carcasa, Aluminio/Aleación resist. A impactos y a rayos UV.
- Protección contra sobre corriente, 10KV/10KA
- Con capacidad de permitir control de 0 a 10 V
- Para operación en voltaje universal de 120 a 277V, 50/60 Hz
- Acabado sobre aluminio resistente a la corrosión y a los rayos ultravioleta, adecuado para instalarse en áreas húmedas.
- Contar con los certificados o estudios de validaciones siguientes:
  - Preferentemente LM79-2008 (la no entrega no será motivo de descalificación).
- Prueba de cumplimiento de las 6000 horas emitida por laboratorio autorizado.
- Debe de contar con fácil acceso al interior del luminario (donde se lo localice la fuente de poder y los supresores) sin necesidad de herramientas, para lograr mantenimiento de manera sencilla a lo largo de su vida útil.

- Se deberá entregar una muestra física del modelo exacto ofertado hasta 72 horas antes de la entrega de propuestas.
- La evidencia de entrega de la muestra se deberá de incluir en su propuesta técnica en original, este documento deberá ser elaborado por el licitante en hoja membretada conteniendo los siguientes datos:
  - Fecha de entrega, razón social del prestador de servicio, modelo, nombre y firma de quien entrega la muestra.
  - En caso de que el prestador de servicio, no resulte adjudicado, la muestra será devuelta en la misma dirección en no más de 10 días hábiles después del fallo.
  - La muestra debe tener el etiquetado original y debe de contar con lo necesario para su correcta evaluación e identificación del licitante.
- Preferentemente que cuente con certificados RoHs, fabricado en instalaciones certificadas bajo el ISO 9001: 2008 o superior, con reporte de pruebas ANSI C136.31-2001 y etiquetado ANSI C136.15.

#### Sistema de sensores, control y monitoreo

El sistema de sensores, control y monitoreo a adquirir, deberán contemplar las especificaciones técnicas y parámetros que se mencionan a continuación, se podrá ofrecer una solución similar mientras que cumpla con las mismas funciones y el mismo sistema de comunicación.

El sensor debe de ser un sistema adicional o incluido a las luminarias en cualquier luminaria tipo LED, con una conexión, que sea inalámbrico y que se pueda agrupar todos los sensores de manera inalámbrica en cualquier punto de la luminaria sin necesidad de cableados de control entre los sensores o circuitos, el sistema debe permitir medir, controlar perfiles de iluminación dependiendo las necesidades específicas de los usuarios y los tipos de vialidad, que pueda identificar la presencia de peatones y vehículos, de manera independiente, buscar potencializar los ahorros en sistemas medidos, este sistema debe incluir un software para el manejo fácil y con visualización remota del flujo total de las vialidades en tiempo real o en algún punto en el tiempo.

El sistema de protección de sobrevoltaje, a adquirir, deberá cumplir con las especificaciones técnicas y parámetros que se mencionan a continuación:

Protección Adicional: Se deberá incluir un sistema de protección de sobrevoltaje para cada luminario LED que permita la operación con voltaje nominal de 220VCA 50 Hz, para minimizar el daño a luminarias por sobrevoltaje, la protección es por luminaria no por circuito, esto con el propósito de proteger de sobre-cargas generadas por el suministro eléctrico actual, el rango de operación debe de ser de 180-270 VCA, el nivel de detección de sobrevoltaje es de 270 VCA debido a que el estándar de voltaje de operación de las luminarias es hasta 277 VCA, debe ser capaz de generar una desconexión automática de por lo menos 7 segundos, así de esta manera reducir la posibilidad de cualquier problema eléctrico de la línea de corriente alterna quede aislado y se minimice el daño a la luminaria durante el transcurso del tiempo de la condición de desconexión, el Protector vuelve a conectar el circuito de manera automática con la luminaria para su operación normal, se deberá garantizar cuando mínimo protección de 1000 eventos de sobre voltaje, validado por ficha técnica, la protección debe ser apto para condiciones de exteriores con grado IP65 como mínimo y deberá contar con una capacidad de corriente máxima de 5 Amp. El sistema debe ser compatible con los sensores para ubicar los sobre voltajes y su frecuencia de manera remota (donde se instalen los sensores), el sistema de protección debe ser fabricado por una empresa que cuente con experiencia de fabricación de componentes electrónicos y no puede ser una adaptación o desarrollo a futuro.

## V. Criterios específicos para la evaluación de las propuestas.

Una vez celebrado el Acto de Presentación y Apertura de Propositiones, se procederá al estudio y análisis de la documentación recibida por la Convocante, verificando que cada proposición cumpla con los requisitos solicitados en la presente Convocatoria.

Para ello, se utilizará la evaluación de puntos y porcentajes, y se deberá calcular el índice de ponderación técnico-económico (Pte) con el que se determinará la proposición solvente que será susceptible de ser adjudicada con el Contrato por haber cumplido con los requisitos exigidos y cuyo resultado sea el de mayor puntuación de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PT_j = TPT + PPE$$

Para toda  $j = 1, 2, 3 \dots n$ ,

Donde:

$PT_j$  = Puntuación Total de la Proposición

TPT = Total de Puntuación asignada al aspecto Técnico

PPE = Puntuación Asignada al Aspecto Económico

El subíndice “j” representa a las demás proposiciones determinadas como solventes como resultado de la evaluación.



En esa tesitura, de acuerdo a la fórmula anterior, el Licitante podrá obtener hasta 60 puntos en su Proposición Técnica; y deberá obtener una puntuación de cuando menos 45 puntos en el aspecto Técnico para considerar que su proposición es solvente y susceptible de ser evaluado en la proposición económica

a) Evaluación Técnica

RUBRO 1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO. De conformidad con lo solicitado por la CONVOCANTE de acuerdo con las especificaciones requeridas.		PUNTUACIÓN MÁXIMA 20 PUNTOS
1 A.- Garantía de funcionamiento del bien. Exhibe garantía original o carta compromiso, de que las Lámparas LED propuestas tienen una vida útil mínima de 50,000horas, a partir de su instalación, funcionando en condiciones normales y que su garantía es de 10 años contra fallas o defectos de fabricación		5 PUNTOS
1 B.- Refacciones de los equipos solicitados. Exhibe carta suscrita que garantice que existen refacciones para las Lámparas LED ofrecidas, hasta por un periodo mínimo de 10 años		5 PUNTOS
1. C. Acredita que los bienes y servicios ofertados cumplen con todas la Normatividad Requerida en las presentes Bases		5 PUNTOS
1. D. Exhibe garantía o carta compromiso en el que se compromete con la Convocante de que las luminarias propuestas garantizan el ahorro propuesto en el consumo de energía eléctrica		5 PUNTOS
RUBRO 2.- CUMPLIMIENTO DE CONTRATOS.- Condiciones de formalización y cumplimiento de contratos de Sum. e Inst. de luminarias celebrados, dividido en los siguientes subrubros		PUNTUACIÓN MÁXIMA 15 PUNTOS
2 A.- Relación de contratos de luminarias que haya formalizado con dependencias y entidades, estatal o municipal. Acreditará con copia del instrumento jurídico en el cual conste dicha obligación.		8 PUNTOS
2 B.- Carta de satisfacción de los Clientes o Cancelación de Garantías de cumplimiento de contratos de luminarias. El Licitante deberá presentar documento en el que conste la cancelación de la garantía de cumplimiento respectiva, la manifestación expresa de la contratante sobre el cumplimiento total de las obligaciones contractuales o cualquier otro documento con el que se corrobore expresamente dicho cumplimiento. Manifestación expresa que el o la licitante haya cumplido totalmente con las obligaciones contractuales		7 PUNTOS



RUBRO 3. EXPERIENCIA Y ESPECIALIDAD.	PUNTUACIÓN MÁXIMA 7 PUNTOS
Experiencia y especialidad. Acreditará su experiencia y especialidad con los originales de los contratos o las copias certificadas, de los instrumentos jurídicos formalizados con dependencias y entidades de la administración pública federal, estatal o municipal, en los que constan sus obligaciones contractuales cuyo objeto es el suministro de luminarias, por un periodo mínimo de dos años; lo cual se corroborará con base en la fecha de celebración y la vigencia de los contratos, de la cual se desprenda que el Licitante ha realizado actividades de la misma naturaleza de la que es objeto el presente procedimiento.	7 PUNTOS

RUBRO 4.- CAPACIDAD DEL LICITANTE.-	PUNTUACIÓN MÁXIMA 18 PUNTOS
4 A.- CAPACIDAD DE LOS RECURSOS ECONÓMICOS. ACREDITA UN CAPITAL CONTABLE POR LA MITAD DEL MONTO DEL PROYECTO. EL LICITANTE, para poder obtener los puntos de este rubro, deberá acreditar con su declaración anual de los años	MITAD MONTO 6 PUNTOS
	SUPERIOR O IGUAL monto del Proyecto 8 PUNTOS
4 B.- CAPACIDAD LOGÍSTICA. Acredita la propiedad o el arrendamiento del equipo que utilizará para la instalación en el Municipio de Tampico, Tamaulipas, con capacidad suficiente, para el cumplimiento de las obligaciones derivadas del Contrato respectivo.	4 PUNTOS

#### b) Evaluación Económica

Para el cálculo del puntaje del aspecto económico de cada oferta económica (PPEi), se requerirá establecer de todas las ofertas económicas de los licitantes (MPi), la oferta económica más baja (MPemb). El cálculo del puntaje de cada licitante se realizará entonces de la forma previamente establecida:

$$PPEi = MPemb \cdot 40 / MPi$$

Donde.

PPEi= Puntuación que corresponden al aspecto económico;

MPemb = Monto del la oferta económica más baja, y

MPi = Monto de la i-ésima oferta económica.

Una vez obtenido así el puntaje del aspecto económico de cada licitante, se procederá a sumarlo con el correspondiente del aspecto económico y obtener el puntaje total de cada proposición

## VI. Reporte de entrega de la instalación de todos las luminarias:

El participante ganador, deberá incluir dentro de su propuesta, el reporte fotográfico y las coordenadas exactas de cada punto de las luminarias contratadas que incluya parámetros que podrán ser presentadas en un sistema propio de geolocalización para después poder ser capturadas en la plataforma de control.

## **VII. Bitácora de los trabajos**

Se llevará una Bitácora de los trabajos dónde se asentarán las actividades diarias ejecutadas, con las firmas correspondientes del Jefe de Unidad Departamental y el Supervisor de la empresa.

## **VIII. Personal y equipo de trabajo**

### **Personal**

- Un supervisor que se encargue de la logística, rutas y ejecución de los trabajos, que cuente con conocimientos técnicos necesarios y criterio para resolver las situaciones en campo.
- Se requiere personal calificado y con experiencia en este servicio, la cantidad de personal que conforme la cuadrilla es a consideración de la empresa ejecutora, siempre y cuando se dé cumplimiento a la meta diaria establecida.
- El personal que realice estas labores deberá portar el siguiente vestuario:
- Gafetes de Identificación.- Con el objeto de facilitar las funciones el personal deberá portar gafetes de identificación aprobados la Dirección Ejecutiva de Servicios Urbanos.

### **Herramienta**

- Para la ejecución de los trabajos deberán emplear la herramienta necesaria y en condiciones óptimas para el buen desarrollo del servicio (Pinzas, taladro, escalera, extensiones, etc.)

### **Medios mecánicos**

- Medios mecánicos mínimos necesarios, para apoyar la realización de los trabajos requeridos:

- 1 Vehículo para transporte de material y por cada una de las cuadrillas de instalación.

## Anexo 1.- Casos simulados y resultados obtenidos de DIALux

No.	Caso	Luminario	Tecnología	Potencia de Línea	Flujo Luminoso Inicial	TABLA L (DIALux)				TABLA E (DIALux)			FACTOR DE MANTENIMIENTO			
						L <sub>m</sub>	U <sub>0</sub>	U <sub>l</sub>	L <sub>v</sub>	E <sub>m</sub>	E <sub>min</sub>	E <sub>max</sub>	Vida nominal	Depreciación del flujo luminoso	Depreciación del flujo luminoso	Otros factores
														A las 12,000 horas	Al 70% de la vida nominal	
				[W]	[lm]	[cd/m <sup>2</sup> ]			[cd/m <sup>2</sup> ]	[lux]	[lux]	[lux]	[Horas]	[Adim]	[Adim]	[Adim]
Oruro - Vialidad 1: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
1	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 400 W	VSAP	464	32,379	3.27	0.4	0.7	0.4	50.0	29.0	86.0	24,000	0.93	0.90	0.90
2	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	276	33,200	2.39	0.4	0.7	0.3	38.0	16.0	87.0	36,000	0.96	0.94	0.90
3		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.47	0.5	0.7	0.2	23.0	12.0	37.0	30,000	0.89	0.85	0.90
4		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	180	19,951	2.25	0.5	0.6	0.4	27.0	12.0	45.0	100,000	0.97	0.92	0.90
5		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	193	24,140	2.52	0.5	0.3	0.4	33.0	29.0	40.0	100,000	0.98	0.93	0.90
6		GE Evolve ERS2 21 G1X40	LED	193	21,000	1.88	0.5	0.7	0.2	30.0	14.0	59.0	100,000	0.97	0.94	0.90
7		GE Evolve ERS2 23 G1X40	LED	219	23,000	2.06	0.5	0.7	0.3	33.0	15.0	65.0	100,000	0.97	0.94	0.90
8		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	128	15,211	1.75	0.6	0.8	0.2	29.0	17.0	47.0	100,000	0.98	0.90	0.90
Oruro - Vialidad 2: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M3																
9	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	VSAP	290	28,500	1.41	0.6	0.8	0.2	24.0	12.0	39.0	24,000	0.93	0.90	0.90
10	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P4 SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	167	17,500	1.34	0.6	0.8	0.1	22.0	12.0	38.0	36,000	0.96	0.94	0.90
11		Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	167	17,500	1.27	0.6	0.7	0.1	23.0	12.0	37.0	36,000	0.96	0.94	0.90
12		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.47	0.5	0.7	0.2	23.0	12.0	37.0	30,000	0.89	0.85	0.90
13		LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	134	16,367	2.05	0.5	0.5	0.4	26.0	18.0	38.0	100,000	0.97	0.92	0.90
14		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 3TR	LED	129	15,734	2.05	0.5	0.4	0.3	29.0	23.0	38.0	100,000	0.98	0.93	0.90
15		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	132	15,999	1.43	0.5	0.7	0.2	23.0	11.0	45.0	100,000	0.97	0.94	0.90
16		Cooper Navion Streetworks 600mA 03 3TR	LED	96	12,507	1.52	0.5	0.4	0.2	22.0	17.0	28.0	100,000	0.98	0.93	0.90
17		LED Roadway Lighting NXT Lite M 600 mA	LED	114	12,700	1.76	0.46	0.51	0.33	22.00	16.0	32.0	100,000	0.97	0.92	0.90
18		LED Roadway Lighting NXT Lite M 525 mA	LED	100	11,450	1.58	0.46	0.51	0.30	20.00	14.0	29.0	100,000	0.97	0.92	0.90
Oruro - Vialidad 3: 2 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M4																
19	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	VSAP	173	16,000	1.47	0.5	0.4	0.0	21.0	11.0	38.0	24,000	0.93	0.90	0.90
20	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	114	10,700	0.95	0.5	0.5	0.0	14.0	6.5	24.0	36,000	0.92	0.89	0.90
21		Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	114	10,700	1.11	0.5	0.6	0.0	16.0	6.2	29.0	36,000	0.92	0.89	0.90
22		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 90 W	VAM Cerámico	99	10,450	1.20	0.5	0.6	0.0	16.0	7.9	27.0	30,000	0.89	0.85	0.90
23		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 2TR	LED	66	8,411	1.07	0.4	0.3	0.0	14.0	7.8	22.0	100,000	0.98	0.93	0.90
24		LED Roadway Lighting 96M 280mA R2	LED	86	6,850	1.07	0.4	0.3	0.0	18.0	6.6	19.0	100,000	0.97	0.92	0.90
25		LED Roadway Lighting NXT Lite S 350 mA	LED	75	9,100	1.55	0.5	0.4	0.1	16.0	10.0	23.0	100,000	0.97	0.92	0.90
26		GE Evolve ERL1 16 08C140	LED	88	8,500	0.85	0.5	0.5	0.0	14.0	4.1	15.0	100,000	0.93	0.80	0.90

No.	Caso	Luminario	Tecnología	Potencia de Línea	Flujo Luminoso Inicial	TABLA L (DIALux)				TABLA E (DIALux)			FACTOR DE MANTENIMIENTO			
						L <sub>m</sub>	U <sub>0</sub>	U <sub>l</sub>	L <sub>v</sub>	E <sub>m</sub>	E <sub>min</sub>	E <sub>max</sub>	Vida nominal	Depreciación del flujo luminoso	Depreciación del flujo luminoso	Otros factores
														A las 12,000 horas	Al 70% de la vida nominal	
				[W]	[lm]	[cd/m <sup>2</sup> ]			[cd/m <sup>2</sup> ]	[lux]	[lux]	[lux]	[Horas]	[Adim]	[Adim]	[Adim]
Oruro - Vialidad 4: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M4 (Poste a 3 m de la calle)																
27	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	VSAP	173	16,000	1.19	0.2	0.3	0.0	18.0	7.5	54.0	24,000	0.93	0.90	0.90
28	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	114	10,700	0.66	0.4	0.7	0.0	12.0	4.6	28.0	36,000	0.92	0.89	0.90
29		Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	114	10,700	0.62	0.3	0.7	0.0	10.0	3.3	34.0	36,000	0.92	0.89	0.90
30		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 90 W	VAM Cerámico	99	10,450	0.67	0.2	0.7	0.0	10.0	2.6	30.0	30,000	0.89	0.85	0.90
31		Cooper Navion Streetworks 600mA 02 2TR	LED	66	8,410	0.94	0.5	0.6	0.0	15.0	7.9	25.0	100,000	0.98	0.93	0.90
32		LED Roadway Lighting NXT Lite S 350 mA	LED	75	9,100	0.94	0.3	0.6	0.1	12.0	7.2	25.0	100,000	0.97	0.92	0.90
33		GE Evolve ERL1 16 08C140	LED	88	8,500	0.70	0.5	0.5	0.0	13.0	4.8	31.0	100,000	0.93	0.80	0.90
Oruro - Vialidad 5: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 8.4 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M5																
34	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 100 W	VSAP	124	9500	0.89	0.46	0.65	0.06	14	5.56	35	24,000	0.93	0.90	0.90
35	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 70 W	VSAP Optimizado	80	6600	0.55	0.54	0.66	0.07	9.25	4.25	20	36,000	0.92	0.89	0.90
36		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 60 W	VAM Cerámico	66	6800	0.65	0.51	0.66	0.06	11	5.17	20	30,000	0.89	0.85	0.90
37		Cooper Archeon Streetworks AF24-50 5000 K T2R	LED	54	6658	0.83	0.5	0.43	0.12	12	7.37	18	100,000	0.98	0.93	0.90
38		LED Roadway Lighting NXT Lite 700 mA	LED	38	4300	0.67	0.36	0.42	0.12	8.49	6.28	13	100,000	0.97	0.92	0.90
39		GE Evolve ERL1 06 C140	LED	53	6000	0.61	0.57	0.63	0.06	11	3.51	23	100,000	0.93	0.80	0.90
Oruro - Vialidad 6: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
40	Caso base	LEDs 360 W	LED	382	35,579	3.29	0.5	0.3	0.0	43.0	32.0	62.0	100,000	0.95	0.90	0.90
41	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	276	33,300	2.07	0.3	0.7	0.1	33.0	9.2	101.0	36,000	0.96	0.94	0.90
42		Philips Koffer SGP100 P11 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.39	0.5	0.7	0.0	21.0	9.6	41.0	30,000	0.89	0.85	0.90
43		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	180	19,951	2.10	0.5	0.6	0.1	28.0	18.0	48.0	100,000	0.97	0.92	0.90
44		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	193	24,140	2.20	0.5	0.3	0.0	29.0	22.0	43.0	100,000	0.98	0.93	0.90
45		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 2TR	LED	193	24,871	2.64	0.4	0.3	0.0	38.0	20.0	61.0	100,000	0.98	0.93	0.90
46		GE Evolve ERS2 25 G1X40	LED	243	24,999	1.88	0.5	0.7	0.1	31.0	14.0	75.0	100,000	0.97	0.94	0.90
47		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	128	15,211	1.54	0.6	0.7	0.0	26.0	11.0	51.0	100,000	0.98	0.90	0.90
Oruro - Vialidad 7: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
48	Caso base	LEDs 360 W	LED	382	35,579	2.32	0.2	0.1	0.0	30.0	9.1	55.0	100,000	0.95	0.90	0.90
49	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	276	33,300	2.23	0.4	0.7	0.1	33.0	13.0	81.0	36,000	0.96	0.94	0.90
50		Philips Koffer SGP100 P8 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.31	0.6	0.8	0.0	20.0	9.9	35.0	30,000	0.89	0.85	0.90
51		Philips Koffer SGP100 P11 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.45	0.5	0.8	0.0	21.0	10.0	37.0	30,000	0.89	0.85	0.90
52		LED Roadway Lighting 96M 525mA R2	LED	175	14,100	1.59	0.5	0.4	0.0	22.0	14.0	31.0	100,000	0.97	0.92	0.90
53		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	180	19,951	2.29	0.5	0.6	0.1	28.0	18.0	43.0	100000	0.97	0.92	0.90
54		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	193	24,140	2.23	0.5	0.3	0.0	29.0	24.0	37.0	100,000	0.98	0.93	0.90
55		GE Evolve ERS2 25 G1X40	LED	243	24,999	1.88	0.6	0.7	0.1	32.0	14.0	66.0	100,000	0.97	0.94	0.90
56		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	128	15,211	1.55	0.6	0.7	0.0	25.0	13.0	44.0	100,000	0.98	0.90	0.90

No.	Caso	Luminario	Tecnología	Potencia de Línea	Flujo Luminoso Inicial	TABLA L (DIALux)				TABLA E (DIALux)			FACTOR DE MANTENIMIENTO			
						L <sub>m</sub>	U <sub>0</sub>	U <sub>l</sub>	L <sub>v</sub>	E <sub>m</sub>	E <sub>min</sub>	E <sub>max</sub>	Vida nominal	Depreciación del flujo luminoso	Depreciación del flujo luminoso	Otros factores
														A las 12,000 horas	Al 70% de la vida nominal	
				[W]	[lm]	[cd/m <sup>2</sup> ]							[Horas]	[Adim]	[Adim]	[Adim]
Cobija - Vialidad 8: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 11 m, Pavimento R3, Clase M3																
57	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	VSAP	290	28,500	1.27	0.7	0.7	0.0	23.0	12.0	37.0	24,000	0.93	0.90	0.90
58	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P4 SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	167	17,500	1.18	0.7	0.8	0.0	21.0	11.0	36.0	36,000	0.96	0.94	0.90
59		Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	167	17,500	1.16	0.7	0.7	0.0	21.0	7.8	34.0	36,000	0.96	0.94	0.90
60		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	154	16,500	1.31	0.5	0.6	0.0	21.0	13.0	34.0	30,000	0.89	0.85	0.90
61		LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	134	16,367	1.63	0.5	0.5	0.1	24.0	17.0	36.0	100,000	0.97	0.92	0.90
62		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 2TR	LED	129	15,734	1.79	0.3	0.3	0.0	26.0	17.0	38.0	100,000	0.98	0.93	0.90
63		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	132	15,999	1.20	0.6	0.6	0.0	21.0	10.0	42.0	100,000	0.97	0.94	0.90
Cobija - Vialidad 9: 2 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 8 m, Pavimento R3, Clase M5																
64	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	VSAP	89	6,400	0.31	0.3	0.3	0.0	5.4	1.2	11.0	24,000	0.83	0.80	0.90
65	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 50 W	VSAP Optimizado	61	4,400	0.42	0.3	0.3	0.0	7.4	1.9	16.0	28,000	0.88	0.86	0.90
66		Philips Koffer SGP100 P6 CPO-TW 45 W	VAM Cerámico	51	4,320	0.47	0.4	0.4	0.1	7.1	2.2	14.0	18,000	0.80	0.80	0.90
67		Cooper Archeon Streetworks AF24-30 5000 K T2R	LED	31	4,002	0.57	0.4	0.4	0.1	7.0	3.6	12.0	100,000	0.98	0.93	0.90
68		Cooper Navion Streetworks 600mA 01 2TR	LED	34	4,218	0.59	0.4	0.3	0.1	7.7	3.7	14.0	100,000	0.98	0.93	0.90
69		LED Roadway Lighting NXT Lite S 700 mA	LED	38	4,300	0.84	0.5	0.4	0.2	8.6	5.4	12.0	100,000	0.97	0.92	0.90
70		GE Evolve ERL1 04 04C140	LED	32	4,000	0.45	0.5	0.4	0.1	7.1	2.1	14.0	100,000	0.93	0.80	0.90
Cobija - Vialidad 10: 2 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 8 m, Pavimento R3, Clase M5 (Poste a 3 m de la calle)																
71	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	VSAP	89	6,400	0.26	0.5	0.4	0.0	5.1	1.3	14.0	24,000	0.83	0.80	0.90
72	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 50 W	VSAP Optimizado	61	4,400	0.42	0.4	0.4	0.1	7.7	2.6	18.0	28,000	0.88	0.86	0.90
73		Philips Koffer SGP100 P6 CPO-TW 45 W	VAM Cerámico	51	4,320	0.41	0.4	0.5	0.1	7.2	2.5	16.0	18,000	0.80	0.80	0.90
74		Cooper Archeon Streetworks AF24-30 5000 K T2R	LED	31	4,002	0.51	0.6	0.6	0.1	7.6	4.3	12.0	100,000	0.98	0.93	0.90
75		Cooper Navion Streetworks 600mA 01 2TR	LED	34	4,218	0.59	0.5	0.5	0.1	9.0	5.0	15.0	100,000	0.98	0.93	0.90
76		LED Roadway Lighting NXT Lite S 700 mA	LED	38	4,300	0.58	0.3	0.5	0.1	7.6	4.5	13.0	100,000	0.97	0.92	0.90
77		GE Evolve ERL1 04 04C140	LED	32	4,000	0.40	0.6	0.5	0.1	7.4	2.2	18.0	100,000	0.93	0.80	0.90
Cobija - Vialidad 11: 2 Carriles, Central doble, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 30 m, Altura de montaje 11 m, Pavimento R3, Clase M3																
78	Caso base	LEDs 65 W	LED	67	6,218	0.78	0.4	0.4	0.1	13.0	8.6	17.0	100,000	0.95	0.90	0.90
79	Opciones de sustitución	LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	134	16,367	2.40	0.4	0.5	0.5	38.0	23.0	63.0	100,000	0.97	0.92	0.90
80		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 2TR	LED	129	15,734	2.11	0.4	0.4	0.2	34.0	23.0	46.0	100,000	0.98	0.93	0.90
81		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	132	15,999	1.71	0.5	0.6	0.2	31.0	16.0	65.0	100,000	0.97	0.94	0.90

## Anexo 2.- Análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones

No.	Caso	Luminario	Tecnología	NORMA NB 142001-2		RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES						ÍNDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (EnPI)				
				Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Luminancia promedio	Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Iluminancia promedio	Iluminancia promedio	Luminancia promedio a las 12,000 hrs cumple NB 142001	Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado	Eficacia del luminario	Eficacia del luminario	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia
				Valor mínimo mantenido	Valor mínimo	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas	
				[cd/m <sup>2</sup> ]		[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]		[lux]	[lux]		[W/m <sup>2</sup> ]	[lm/W]	[lm/W]	[kWh/lx]	[kWh/lx]
Oruro - Vialidad 1: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
1	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 400 W	VSAP	1.50	0.4	3.27	2.74	0.42	50.0	41.9	Sí	1.47	69.8	58.4	40.6	48.6
2	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	1.50	0.4	2.39	2.06	0.36	38.0	32.8	Sí	0.88	120.3	103.9	31.8	36.8
3		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.50	0.4	1.47	1.18	0.53	23.0	18.4	No	0.49	107.1	85.8	29.3	36.6
4		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	1.50	0.4	2.25	1.96	0.50	27.0	23.6	Sí	0.57	110.8	96.8	29.2	33.4
5		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	1.50	0.4	2.52	2.22	0.48	33.0	29.1	Sí	0.61	125.1	110.3	25.6	29.0
6		GE Evolve ERS2 21 G1X40	LED	1.50	0.4	1.88	1.64	0.51	30.0	26.2	Sí	0.61	108.8	95.0	28.2	32.3
7		GE Evolve ERS2 23 G1X40	LED	1.50	0.4	2.06	1.80	0.51	33.0	28.8	Sí	0.70	105.0	91.7	29.1	33.3
8		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	1.50	0.4	1.75	1.54	0.59	29.0	25.6	Sí	0.41	118.8	104.8	19.3	21.9
Oruro - Vialidad 2: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M3																
9	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	VSAP	1.00	0.4	1.41	1.18	0.60	24.0	20.1	Sí	0.92	98.3	82.3	52.9	63.2
10	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P4 SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	1.00	0.4	1.34	1.16	0.61	22.0	19.0	Sí	0.53	104.8	90.5	33.2	38.5
11		Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	1.00	0.4	1.27	1.10	0.62	23.0	19.9	Sí	0.53	104.8	90.5	31.8	36.8
12		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.00	0.4	1.47	1.18	0.53	23.0	18.4	Sí	0.49	107.1	85.8	29.3	36.6
13		LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	1.00	0.4	2.05	1.79	0.46	26.0	22.7	Sí	0.43	122.1	106.6	22.6	25.9
14		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 3TR	LED	1.00	0.4	2.05	1.81	0.49	29.0	25.6	Sí	0.41	122.0	107.6	19.5	22.1
15		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	1.00	0.4	1.43	1.25	0.51	23.0	20.1	Sí	0.42	121.2	105.8	25.1	28.8
16		Cooper Navion Streetworks 600mA 03 3TR	LED	1.00	0.4	1.52	1.34	0.49	22.0	19.4	Sí	0.30	130.3	114.9	19.1	21.7
17		LED Roadway Lighting NXT Lite M 600 mA	LED	1.00	0.4	1.76	1.54	0.46	22.0	19.2	Sí	0.36	111.4	97.3	22.7	26.0
18		LED Roadway Lighting NXT Lite M 525 mA	LED	1.00	0.4	1.58	1.38	0.46	20.0	17.5	Sí	0.32	114.5	100.0	21.9	25.1
Oruro - Vialidad 3: 2 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M4																
19	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	VSAP	0.75	0.4	1.47	1.23	0.52	21.0	17.6	Sí	0.72	92.5	77.4	36.1	43.1
20	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	0.75	0.4	0.95	0.79	0.47	14.0	11.6	Sí	0.48	93.9	77.7	35.7	43.1
21		Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	0.75	0.4	1.11	0.92	0.49	16.0	13.2	Sí	0.48	93.9	77.7	31.2	37.7
22		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 90 W	VAM Cerámico	0.75	0.4	1.20	0.96	0.52	16.0	12.8	Sí	0.41	105.6	84.6	27.1	33.8
23		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 2TR	LED	0.75	0.4	1.07	0.94	0.39	14.0	12.3	Sí	0.28	127.4	112.4	20.6	23.4
24		LED Roadway Lighting 96M 280mA R2	LED	0.75	0.4	1.07	0.93	0.42	18.0	15.7	Sí	0.36	79.7	69.5	20.9	24.0
25		LED Roadway Lighting NXT Lite S 350 mA	LED	0.75	0.4	1.55	1.35	0.51	16.0	14.0	Sí	0.31	121.3	105.9	20.5	23.5
26		GE Evolve ERL1 16 08C140	LED	0.75	0.4	0.85	0.71	0.53	14.0	11.7	No	0.37	96.6	80.8	27.5	32.9

No.	Caso	Luminario	Tecnología	NORMA NB 142001-2		RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES						ÍNDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (EnPI)				
				Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Luminancia promedio	Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Iluminancia promedio	Iluminancia promedio	Luminancia promedio a las 12,000 hrs cumple NB 142001	Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado	Eficacia del luminario	Eficacia del luminario	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia
				Valor mínimo mantenido	Valor mínimo	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas		Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas	Inicial	A 12,000 horas
				[cd/m <sup>2</sup> ]		[cd/m <sup>2</sup> ]	[cd/m <sup>2</sup> ]		[lux]	[lux]		[W/m <sup>2</sup> ]	[lm/W]	[lm/W]	[kWh/lx]	[kWh/lx]
Oruro - Vialidad 4: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M4 (Poste a 3 m de la calle)																
27	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 150 W	VSAP	0.75	0.4	1.19	1.00	0.20	18.0	15.1	Sí	0.48	92.5	77.4	42.1	50.3
28	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	0.75	0.4	0.66	0.55	0.35	12.0	9.9	No	0.32	93.9	77.7	41.6	50.3
29		Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 100 W	VSAP Optimizado	0.75	0.4	0.62	0.51	0.27	10.0	8.3	No	0.32	93.9	77.7	49.9	60.3
30		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 90 W	VAM Cerámico	0.75	0.4	0.67	0.54	0.23	10.0	8.0	No	0.28	105.6	84.6	43.4	54.1
31		Cooper Navion Streetworks 600mA 02 2TR	LED	0.75	0.4	0.94	0.83	0.48	15.0	13.2	Sí	0.18	127.4	112.4	19.3	21.9
32		LED Roadway Lighting NXT Lite S 350 mA	LED	0.75	0.4	0.94	0.82	0.28	12.0	10.5	Sí	0.21	121.3	105.9	27.4	31.4
33		GE Evolve ERL1 16 08C140	LED	0.75	0.4	0.70	0.59	0.49	13.0	10.9	No	0.24	96.6	80.8	29.6	35.4
Oruro - Vialidad 5: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 8.4 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 9 m, Pavimento R3, Clase M5																
34	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 100 W	VSAP	0.50	0.4	0.89	0.74	0.46	14.0	11.7	Sí	0.42	76.6	64.1	38.8	46.3
35	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 70 W	VSAP Optimizado	0.50	0.4	0.55	0.46	0.54	9.3	7.7	No	0.27	82.5	68.3	37.9	45.8
36		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 60 W	VAM Cerámico	0.50	0.4	0.65	0.52	0.51	11.0	8.8	Sí	0.22	103.0	82.5	26.3	32.8
37		Cooper Archeon Streetworks AF24-50 5000 K T2R	LED	0.50	0.4	0.83	0.73	0.50	12.0	10.6	Sí	0.18	123.3	108.7	19.7	22.3
38		LED Roadway Lighting NXT Lite 700 mA	LED	0.50	0.4	0.67	0.58	0.36	8.5	7.4	Sí	0.13	113.2	98.8	19.6	22.5
39		GE Evolve ERL1 06 C140	LED	0.50	0.4	0.61	0.51	0.57	11.0	9.2	Sí	0.18	113.2	94.8	21.1	25.2
Oruro - Vialidad 6: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
40	Caso base	LEDs 360 W	LED	1.50	0.4	3.29	2.81	0.48	43.0	36.8	Sí	1.06	93.1	79.6	38.9	45.5
41	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	1.50	0.4	2.07	1.79	0.30	33.0	28.5	Sí	0.77	120.7	104.2	36.6	42.4
42		Philips Koffer SGP100 P11 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.50	0.4	1.39	1.11	0.46	21.0	16.8	No	0.43	107.1	85.8	32.1	40.1
43		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	1.50	0.4	2.10	1.83	0.47	28.0	24.4	Sí	0.50	110.8	96.8	28.2	32.3
44		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	1.50	0.4	2.20	1.94	0.49	29.0	25.6	Sí	0.54	125.1	110.3	29.1	33.0
45		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 2TR	LED	1.50	0.4	2.64	2.33	0.39	38.0	33.5	Sí	0.54	128.9	113.7	22.2	25.2
46		GE Evolve ERS2 25 G1X40	LED	1.50	0.4	1.88	1.64	0.54	31.0	27.1	Sí	0.68	102.9	89.8	34.3	39.3
47		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	1.50	0.4	1.54	1.36	0.59	26.0	22.9	No	0.36	118.8	104.8	21.6	24.4
Oruro - Vialidad 7: 3 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 10 m, Pavimento R3, Clase M2																
48	Caso base	LEDs 360 W	LED	1.50	0.4	2.32	1.98	0.15	30.0	25.7	Sí	1.06	93.1	79.6	55.8	65.2
49	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P1 SON-T PIA Plus 250 W	VSAP Optimizado	1.50	0.4	2.23	1.93	0.36	33.0	28.5	Sí	0.77	120.7	104.2	36.6	42.4
50		Philips Koffer SGP100 P8 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.50	0.4	1.31	1.05	0.59	20.0	16.0	No	0.43	107.1	85.8	33.7	42.1
51		Philips Koffer SGP100 P11 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.50	0.4	1.45	1.16	0.45	21.0	16.8	No	0.43	107.1	85.8	32.1	40.1
52		LED Roadway Lighting 96M 525mA R2	LED	1.50	0.4	1.59	1.39	0.49	22.0	19.2	No	0.49	80.6	70.3	34.8	39.9
53		LED Roadway Lighting NXT Lite M 950 mA	LED	1.50	0.4	2.29	2.00	0.47	28.0	24.4	Sí	0.50	110.8	96.8	28.2	32.3
54		Cooper Navion Streetworks 600mA 06 3TR	LED	1.50	0.4	2.23	1.97	0.51	29.0	25.6	Sí	0.54	125.1	110.3	29.1	33.0
55		GE Evolve ERS2 25 G1X40	LED	1.50	0.4	1.88	1.64	0.55	32.0	27.9	Sí	0.68	102.9	89.8	33.3	38.1
56		Philips Iridium <sup>2</sup> T15 1xGRN166-3S_740 DC	LED	1.50	0.4	1.55	1.37	0.59	25.0	22.1	No	0.36	118.8	104.8	22.4	25.4



No.	Caso	Luminario	Tecnología	NORMA NB 142001-2		RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES						ÍNDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (EnPI)				
				Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Luminancia promedio	Luminancia promedio	U <sub>o</sub>	Iluminancia promedio	Iluminancia promedio	Luminancia promedio a las 12,000 hrs cumple NB 142001	Densidad de Potencia Eléctrica por Alumbrado	Eficacia del luminario	Eficacia del luminario	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia	Consumo anual de energía por unidad de iluminancia
				Valor mínimo mantenido [cd/m²]	Valor mínimo	Inicial [cd/m²]	A 12,000 horas [cd/m²]		Inicial [lux]	A 12,000 horas [lux]		[W/m²]	Inicial [lm/W]	A 12,000 horas [lm/W]	Inicial [kWh/lx]	A 12,000 horas [kWh/lx]
Cobija - Vialidad 8: 3 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 35 m, Altura de montaje 11 m, Pavimento R3, Clase M3																
57	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 250 W	VSAP	1.00	0.4	1.27	1.06	0.68	23.0	19.3	Sí	0.92	98.3	82.3	55.2	66.0
58	Opciones de sustitución	Philips AluRoad SRP222 P4 SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	1.00	0.4	1.18	1.02	0.69	21.0	18.1	Sí	0.53	104.8	90.5	34.8	40.3
59		Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 150 W	VSAP Optimizado	1.00	0.4	1.16	1.00	0.70	21.0	18.1	Sí	0.53	104.8	90.5	34.8	40.3
60		Philips Koffer SGP100 P10 CPO-TW 140 W	VAM Cerámico	1.00	0.4	1.31	1.05	0.51	21.0	16.8	Sí	0.49	107.1	85.8	32.1	40.1
61		LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	1.00	0.4	1.63	1.42	0.52	24.0	21.0	Sí	0.43	122.1	106.6	24.5	28.0
62		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 2TR	LED	1.00	0.4	1.79	1.58	0.32	26.0	22.9	Sí	0.41	122.0	107.6	21.7	24.6
63		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	1.00	0.4	1.20	1.05	0.57	21.0	18.3	Sí	0.42	121.2	105.8	27.5	31.5
Cobija - Vialidad 9: 2 Carriles, Distribución bilateral apareada, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 8 m, Pavimento R3, Clase M5																
64	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	VSAP	0.50	0.4	0.31	0.23	0.33	5.4	4.0	No	0.37	71.9	53.7	72.5	97.0
65	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 50 W	VSAP Optimizado	0.50	0.4	0.42	0.33	0.26	7.4	5.8	No	0.25	72.1	57.1	36.3	45.8
66		Philips Koffer SGP100 P6 CPO-TW 45 W	VAM Cerámico	0.50	0.4	0.47	0.34	0.39	7.1	5.1	No	0.21	84.7	61.0	31.3	43.5
67		Cooper Archeon Streetworks AF24-30 5000 K T2R	LED	0.50	0.4	0.57	0.50	0.43	7.0	6.2	Sí	0.13	129.1	113.9	19.4	22.0
68		Cooper Navion Streetworks 600mA 01 2TR	LED	0.50	0.4	0.59	0.52	0.36	7.7	6.8	Sí	0.14	124.1	109.4	19.4	22.0
69		LED Roadway Lighting NXT Lite S 700 mA	LED	0.50	0.4	0.84	0.73	0.49	8.6	7.5	Sí	0.16	113.2	98.8	19.4	22.2
70		GE Evolve ERL1 04 04C140	LED	0.50	0.4	0.45	0.38	0.45	7.1	6.0	No	0.13	125.0	104.6	19.6	23.5
Cobija - Vialidad 10: 2 Carriles, Distribución unilateral, Ancho de calle: 6 m, Distancia Interpostal 40 m, Altura de montaje 8 m, Pavimento R3, Clase M5 (Poste a 3 m de la calle)																
71	Caso base	Vapor de Sodio Alta Presión 70 W	VSAP	0.50	0.4	0.26	0.19	0.53	5.1	3.8	No	0.37	71.9	53.7	76.3	102.1
72	Opciones de sustitución	Philips Iridium <sup>2</sup> SON-T PIA Plus 50 W	VSAP Optimizado	0.50	0.4	0.42	0.33	0.36	7.7	6.1	No	0.25	72.1	57.1	34.8	44.0
73		Philips Koffer SGP100 P6 CPO-TW 45 W	VAM Cerámico	0.50	0.4	0.41	0.30	0.44	7.2	5.2	No	0.21	84.7	61.0	30.9	43.0
74		Cooper Archeon Streetworks AF24-30 5000 K T2R	LED	0.50	0.4	0.51	0.45	0.57	7.6	6.7	No	0.13	129.1	113.9	17.8	20.2
75		Cooper Navion Streetworks 600mA 01 2TR	LED	0.50	0.4	0.59	0.52	0.54	9.0	8.0	Sí	0.14	124.1	109.4	16.5	18.7
76		LED Roadway Lighting NXT Lite S 700 mA	LED	0.50	0.4	0.58	0.51	0.34	7.6	6.6	Sí	0.16	113.2	98.8	22.0	25.2
77		GE Evolve ERL1 04 04C140	LED	0.50	0.4	0.40	0.33	0.55	7.4	6.2	No	0.13	125.0	104.6	19.0	22.7
Cobija - Vialidad 11: 2 Carriles, Central doble, Ancho de calle: 9 m, Distancia Interpostal 30 m, Altura de montaje 11 m, Pavimento R3, Clase M3																
78	Caso base	LEDs 65 W	LED	1.00	0.4	0.78	0.67	0.42	13.0	11.1	No	0.25	92.8	79.3	22.6	26.4
79	Opciones de sustitución	LED Roadway Lighting NXT Lite M 700 mA	LED	1.00	0.4	2.40	2.10	0.43	38.0	33.2	Sí	0.50	122.1	106.6	15.4	17.7
80		Cooper Navion Streetworks 600mA 04 2TR	LED	1.00	0.4	2.11	1.86	0.42	34.0	30.0	Sí	0.48	122.0	107.6	16.6	18.8
81		GE Evolve ERS2 16 G1X40	LED	1.00	0.4	1.71	1.49	0.51	31.0	27.1	Sí	0.49	121.2	105.8	18.7	21.4

### Anexo 3.- Precios de Luminarias y costos de instalación

De acuerdo a un análisis de precios de mercado con diferentes fabricantes y proveedores, de las diferentes luminarias que se comercializan a nivel internacional, se encontraron los siguientes precios.

Picture-Model	Specification	Picture-Model	Specification
	1. Power:35 - 40*W		1. Power:70-80*W
	2. Input:AC90-305Vac		2. Input:AC90-305Vac
	3. Life:≥50000h		3. Life:≥50000h
	4. Size: 318*263*71MM		4. Size: 393*263*71MM
	5. Led Chips: 64 PCS OSRAM		5. Led Chips: 128 PCS OSRAM
	6. Led Driver: Self Developed Led Driver		6. Led Driver: Self Developed Led Driver
	7. IP Rating: IP65		7. IP Rating: IP65
	8. Luminous flux: > 6,000 lm		8. Luminous flux: > 12,000 lm
	9. CCT: 5000K-6000K		9. CCT: 5000K-6000K
Precio:	10. CRI: > 80	Precio:	10. CRI: > 80
263 - 300 USD	11. Eficacia: >150 lm/W	400 - 447 USD	11. Eficacia: >133 lm/W
	1. Power: 100 - 120*W		1. Power:200 -210*W
	2. Input:AC90-305Vac		2. Input: AC 100-260Vac
	3. Life:≥50000h		3. Life:≥50000h
	4. Size: 468*263*71MM		4. Size: 521*281*122 mm
	5. Led Chips: 192 PCS OSRAM		5. Led Chips: 144 PCS Philips 3030
	6. Led Driver: Self Developed Led Driver		6. Led Driver: MEANWELL
	7. IP Rating: IP65		7. IP Rating: IP65
	8. Luminous flux: > 15,600 lm		8. Luminous flux: >18,000 lm
	9. CCT: 5000K-6000K		9. CCT: 5000K-6000K
Precio:	10. CRI: > 80	Precio:	10. CRI: > 75
499 - 693 USD	11. Eficacia: >130 lm/W	846 - 950 USD	11. Eficacia: >90 lm/W

Para las evaluaciones de Medidas Eficientes de Alumbrado Público, se incluyen los siguientes costos:

- Costos de instalación, que se consideran en 46 USD por luminaria.
- Gastos y trámites para la importación de las luminarias tipo Led's,
  - Impuesto al Valor Agregado (IVA) equivalente a 15%.
  - Impuesto por ingreso de luminarias al país (Arancel) equivalente a 10%.
  - Pago de aduana de un 3%.
  - Para el caso de Potosí un 15% de transporte local