

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO SOSTENIBLE PARA EL SENDERO
PEATONAL DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

JHON FREDY VANEGAS A.
MARIO JAVIER YARCE
GERARDO RÍOS RAMÍREZ

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2015

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO SOSTENIBLE PARA EL SENDERO
PEATONAL DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

Presentado por:

JHON FREDY VANEGAS A.

MARIO JAVIER YARCE

GERARDO RÍOS RAMÍREZ

Proyecto de grado para optar al título de
INGENIERO ELECTRICISTA

Asesor:

SAMUEL ÁLVAREZ ARBOLEDA

Ingeniero de Sistemas

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN

2015

Nota de aceptación

Firma
Nombre
Presidente del Jurado

Firma
Nombre
Jurado

Firma
Nombre
Jurado

Medellín, diciembre de 2015.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. EI PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. OBJETIVO GENERAL	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. REFERENTES TEÓRICOS	14
4.1. DEFINICIONES BÁSICAS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DE UN PROYECTO	16
4.1.1. Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)	16
4.1.2. VPN: Valor Presente Neto.....	17
4.1.3. VPNI: Valor Presente Neto Incremental	18
4.1.4. TIR: Tasa Interna de Retorno.....	19
4.1.5. TIRI: Tasa Interna de Retorno Incremental	19
4.1.6. B/C: Relación Beneficio Costo	19
4.1.7. PR: Período de Recuperación.....	20
4.1.8. CC: Costo Capitalizado	21
4.2. EVALUACIÓN DE COSTOS	22
4.2.1. Costos de inversión.....	22
4.2.2. Costos de administración, operación y mantenimiento	23
4.2.3. Costo anual equivalente.....	24
4.3. PLANIFICACIÓN	28
4.4. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	29

4.4.1. Propuesta de esquema funcional de la instalación para propiciar el uso racional de la energía	34
4.4.2. Especificaciones de los equipos aplicables al diseño	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	38

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ahorro de energía y periodos de recuperación de la inversión en alumbrado público.....	15
Tabla 2. Vidas útiles mínimas de los componentes de la infraestructura de alumbrado público para la evaluación de costos	24
Tabla 3. Cotización de sistema de alumbrado público para el Pascual Bravo por parte del GAIA	27
Tabla 4. Variables del sistema a instalar.....	30
Tabla 5. Resumen de resultados.....	30
Tabla 6. Evaluación financiera del proyecto – Opción 1	31
Tabla 7. Evaluación financiera del proyecto – Opción 2	32
Tabla 8. Luminaria VSAP 70W vs Luminaria tipo LED 35W	34

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Análisis del Valor Presente Neto	17

LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Planos de montaje y distribución de luminarias35

INTRODUCCIÓN

El objeto del alumbrado público, según señala Héctor Romero¹, es proporcionar la visibilidad adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales en bienes de uso público y demás espacios de libre circulación.

Además de la prioridad de las instituciones de carácter público, es ser concordantes con lo dispuesto en las leyes que para tal efecto regulan el servicio de alumbrado público, el cual se ajustará, en lo pertinente, a las normas contenidas en la Ley 97 de 1913, la Ley 84 de 1915 y las Leyes 80 de 1993, 142 y 143 de 1994, 1150 de 2007, el Decreto 2424 de 2006, el RETIE, el RETILAP y la regulación expedida por la CREG 123 de 2011, incluyendo aquellas normas que la modifiquen, adicionen o complementen. Además de dar cumplimiento a la Ley 697 de 2001, mediante el cual se fomenta el uso racional y eficiente de energía y se promueve la utilización de energías alternativas.

Con las nuevas tecnologías se brinda un ahorro representativo y sostenibilidad, donde las soluciones tipo LED, de acuerdo con Ana Serrano, Abelardo Martínez, Oscar Guarddon y José Luis Santolaya², contribuye a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera generando espacios atractivos y con un entorno más agradables en el sendero peatonal dándole un aspecto renovado, atractivo y seguro por la noche.

Aunque las buenas prácticas de ingeniería contemplan la optimización del recurso financiero en los proyectos, es necesario considerar el impacto económico, pues

¹ ROMERO DÍAZ, Héctor J. Salvamento de voto. REF: EXP 0800123310002001-0569-01. Bogotá: Consejo de Estado.

² SERRANO TIERZ, Ana, MARTÍNEZ ITURBE, Abelardo, GUARDDON MUÑOZ, Oscar y SANTOLAYA SÁENZ, José Luis. Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. En: Dyna, Vol., 82, núm., 191, 2015, p.p. 231-239.

siempre le vale más a la sociedad los accidentes y pérdidas causadas por una iluminación deficiente que lo gastado en un buen proyecto.

1. EI PROBLEMA

¿Es posible mejorar el sistema de alumbrado público del sendero peatonal de acceso a la Institución Universitaria Pascual Bravo (IUPB) cumpliendo con las normas eléctricas vigentes y con criterios de uso eficiente y racional de la energía, aplicando metodologías modernas y estándares que beneficien a la población estudiantil y viabilicen la reducción de costos?

En el sistema de alumbrado público del sendero peatonal de la IUPB se evidencian luminarias de Vapor de Sodio y Metal Halide, que poseen buena intensidad lumínica o flujo luminoso, pero deriva un alto consumo energético y grandes pérdidas por calor, representando una alta inversión en costos de energía y mantenimiento.

El consumo de la institución en kW/mes es en promedio 56.760kW/mes, lo cual, multiplicado por \$395 de cada kW, es \$22.420.200, situación que lleva a pensar en la prioridad de buscar el uso de energías renovables como mecanismo para disminuir tanto el impacto ambiental como económico.

Por tal motivo se plantea una evaluación financiera que conlleve a la minimización de esta tendencia, buscando tecnologías eficientes, garantizando un adecuado estilo de iluminación, seguridad, confort y paisajismo.

2. JUSTIFICACIÓN

La situación actual que se vive desde los avances tecnológicos, el desarrollo acelerado frente a los numerosos retos del futuro, los cuales se caracterizan por una indudable necesidad de reducir la contaminación en relación de las emisiones de CO2 mejorar el uso de la energía eléctrica y la reducción de costos de la operación y mantenimiento de las unidades de iluminación es la motivación de un grupo de estudiantes que movilizan sus inquietudes en mejorar la seguridad de los peatones que transitan por el sendero peatonal de una institución educativa, donde se formula el proyecto basado en un diagnóstico financiero y se proponen alternativas de solución en el diseño e implementación de un sistema de iluminación tipo LED que se ajusta a la normatividad vigente, minimizando el riesgo de accidentes, con alternativas de solución en el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación económica para la implementación de un sistema de alumbrado público sostenible implementado la tecnología LED y el panel solar en el sendero peatonal del campus de Robledo de la Institución Universitaria Pascual Bravo y reduciendo los altos consumos de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificar las herramientas financieras a utilizar para la evaluación económica del cambio de luminarias convencionales por las de tipo LED.

Realizar un diagnóstico a los costos operacionales, mantenimientos preventivos y correctivos al sistema de iluminación existente con lámparas tipo sodio 70W.

Elaborar una matriz económica identificando las ventajas en los consumos y ahorros energéticos del nuevo sistema tipo LED, valorando el impacto ambiental.

4. REFERENTES TEÓRICOS

Con las nuevas necesidades de consolidar una cultura mundial referente al uso racional y eficiente de la energía (URE), desde el año 2001, y enmarcado en la Ley 697³, se crea por el Ministerio de Minas y Energía, como asunto de interés nacional, el fortalecimiento de las instituciones e iniciativas en tecnologías que ayuden a la disminución de huella de carbono y la mitigación del calentamiento global.

Una de estas tecnologías, de acuerdo con Humberto Rodríguez⁴, es la fotovoltaica, donde se aprovecha la radiación solar para generar energía eléctrica, la cual es almacenada y utilizada para diferentes necesidades tales como iluminación de vivienda, vías, parques e incluso en senderos peatonales en las instituciones, obteniendo un ahorro representativo en la disminución del costo de la energía con altos rendimientos lumínicos.

Se realiza un análisis para identificar el costo beneficio de las acciones de eficiencia energética en los diferentes sectores. En el caso de las medidas de eficiencia relacionadas con el consumo de energía eléctrica (sectores residencial, comercial, municipal, e industrial) se evaluó el periodo de retorno de la inversión, por ser éste un indicador común entre los usuarios del servicio de electricidad.

En el caso de las medidas de eficiencia térmica, se evaluó la rentabilidad de la medida y su permanencia; se realizó un análisis del periodo de recuperación de la inversión para diferentes tecnologías y se comparó el consumo de energía y costo

³ CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Registro Distrital No. 44.573 del 5 de octubre de 2001.

⁴ RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. En: Revista de Ingeniería, núm., 28, 2008, p.p. 83-89.

de operación de la tecnología actual contra los mismos valores, considerando la mejor tecnología de alta eficiencia existente en el mercado nacional, todo con el fin de poder conocer los periodos típicos de recuperación de la inversión y el costo-beneficio de las medidas de ahorro de energía eléctrica.

En las siguientes tablas se presenta la síntesis del análisis costo-beneficio de las acciones de eficiencia energética y mitigación correspondientes a los consumos de electricidad expresados en el periodo simple de recuperación de la inversión y el ahorro de energía y periodos de recuperación de la inversión en alumbrado público.

Tabla 1. Ahorro de energía y periodos de recuperación de la inversión en alumbrado público

Tipo de tecnología		Ahorros		Periodo simple de recuperación de la inversión
Equipo estándar	Equipo de alta eficiencia	Ahorro de energía (kWh/año)	Ahorro económico (MX\$)	Periodo simple de recuperación de la inversión (años)
Vapor de sodio alta presión 250 W	Vapor de sodio alta presión 250 W AE	100.74	\$247.85	7.26
Incandescente 100 W	LEDS 25 W	438	\$1,077.59	0.84
Vapor de mercurio 175 W	Vapor de sodio de alta presión 70W	575.97	\$1,417.03	1.15
Incandescente 75 W	LEDS 25 W	302.22	\$743.54	1.21
Incandescente 69 W	LEDS 25 W	267.18	\$657.33	1.29
Vapor de mercurio 250 W	Sodio de alta presión 100 W	823.44	\$2,025.87	0.83

Fuente: www.upme.gov.co

La tecnología menos rentable para alumbrado público resultó ser la del cambio de las lámparas de vapor de sodio de 250 W por otras de la misma capacidad, pero de alta eficiencia; estas lámparas incluyen el balastro electrónico y una nueva lámpara que trabaja con este balastro. Las más rentables resultaron ser las conversiones de luminarios con lámparas incandescentes de 100 W por lámparas de LED's de 25 W. La lámpara de vapor de mercurio de 175 W puede

reemplazarse por la de vapor de sodio de 70 W, pero preferentemente en vialidades y no en parques públicos por el tipo de luz que produce.

4.1. DEFINICIONES BÁSICAS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DE UN PROYECTO

Las principales herramientas y metodologías que se utilizan para evaluar un proyecto desde el punto de vista financiero, según Giovanni Gómez⁵, son las siguientes:

- CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente.
- VPN: Valor Presente Neto.
- VPNI: Valor Presente Neto Incremental.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- TIRI: Tasa Interna de Retorno Incremental.
- B/C: Relación Beneficio Costo.
- PR: Período de Recuperación.
- CC: Costo Capitalizado.

4.1.1. Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Obviamente, si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado.

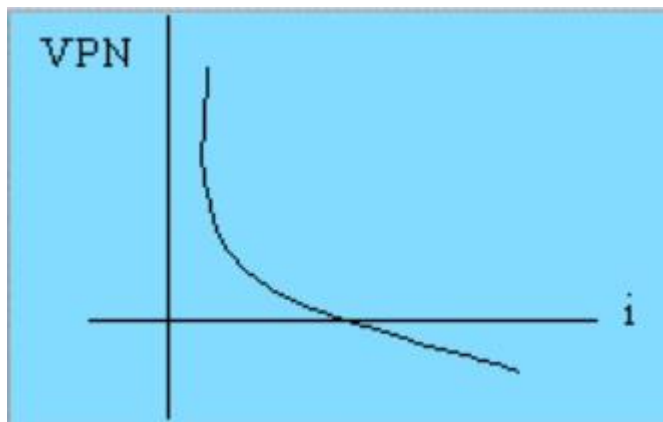
⁵ GÓMEZ, Giovanni. Evaluación financiera de proyectos: CAUE, VPN, TIR, B/C, PR, CC. [Citado el 10 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.gestiopolis.com/evaluacion-financiera-de-proyectos-caue-vpn-tir-bc-pr-cc/>>

4.1.2. VPN: Valor Presente Neto

El método del Valor Presente Neto es muy utilizado por dos razones, la primera porque es de muy fácil aplicación y la segunda porque todos los ingresos y egresos futuros se transforman a pesos de hoy y así puede verse, fácilmente, si los ingresos son mayores que los egresos. Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés o por el contrario si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia. Cuando el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente.

La condición indispensable para comparar alternativas es que siempre se tome en la comparación igual número de años, pero si el tiempo de cada uno es diferente, se debe tomar como base el mínimo común múltiplo de los años de cada alternativa relevante. En la aceptación o rechazo de un proyecto depende directamente de la tasa de interés que se utilice. Por lo general, el VPN disminuye a medida que aumenta la tasa de interés, de acuerdo con la siguiente gráfica.

Gráfica 1. Análisis del Valor Presente Neto



Fuente: Iván Turmero⁶.

⁶ TURMERO ASTROS, Iván José. Conceptos varios de la ingeniería económica. [Citado el 17 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.monografias.com/trabajos104/conceptos-varios-ingenieria-economica/conceptos-varios-ingenieria-economica.shtml>>

Evaluación de alternativas de inversión: análisis matemático y financiero de proyectos en consecuencia para el mismo proyecto puede presentarse que a una cierta tasa de interés, el VPN puede variar significativamente, hasta el punto de llegar a rechazarlo o aceptarlo según sea el caso.

Al evaluar proyectos con la metodología del VPN se recomienda que se calcule con una tasa de interés superior a la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO), con el fin de tener un margen de seguridad para cubrir ciertos riesgos, tales como iliquidez, efectos inflacionarios o desviaciones que no se tengan previstas.

4.1.3. VPNI: Valor Presente Neto Incremental

El Valor Presente Neto Incremental es muy utilizado cuando hay dos o más alternativas de proyectos mutuamente excluyentes y en las cuales solo se conocen los gastos. En estos casos se justifican los incrementos en la inversión si estos son menores que el Valor Presente de la diferencia de los gastos posteriores.

Para calcular el VPNI se deben realizar los siguientes pasos:

1. Se deben colocar las alternativas en orden ascendente de inversión.
2. Se sacan las diferencias entre la primera alternativa y la siguiente.
3. Si el VPNI es menor que cero, entonces la primera alternativa es la mejor, de lo contrario, la segunda será la escogida.
4. La mejor de las dos se compara con la siguiente hasta terminar con todas las alternativas.
5. Se deben tomar como base de análisis el mismo periodo de tiempo.

4.1.4. TIR: Tasa Interna de Retorno

Este método consiste en encontrar una tasa de interés en la cual se cumplen las condiciones buscadas en el momento de iniciar o aceptar un proyecto de inversión. Tiene como ventaja frente a otras metodologías como la del Valor Presente Neto (VPN) o el Valor Presente Neto Incremental (VPNI) porque en este se elimina el cálculo de la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO), esto le da una característica favorable en su utilización por parte de los administradores financieros.

La Tasa Interna de Retorno es aquella tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto. En la medida de las condiciones y alcance del proyecto estos deben evaluarse de acuerdo a sus características. La tasa Interna de retorno es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones financiera dentro de las organizaciones

4.1.5. TIRI: Tasa Interna de Retorno Incremental

El método de la Tasa Interna de Retorno Incremental (TIRI) consiste en calcular la TIR a la cual se hace cero la ecuación de valor que se plantea por el método del Valor Presente Neto Incremental (VPNI). Así se debe entender que la TIRI es la tasa a la cual se invierte el capital adicional que se necesita, en caso de decidirse por la alternativa más costosa.

4.1.6. B/C: Relación Beneficio Costo

La relación beneficio/costo está representada por la razón Ingresos/egresos en donde los Ingresos y los Egresos deben ser calculados utilizando el VPN o el CAUE, de acuerdo al flujo de caja; pero, en su defecto, una tasa un poco más

baja, que se denomina “TASA SOCIAL” ; esta tasa es la que utilizan los gobiernos para evaluar proyectos.

El análisis de la relación B/C, toma valores mayores, menores o iguales a 1, lo que implica que:

- $B/C > 1$ implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es aconsejable.
- $B/C = 1$ implica que los ingresos son iguales que los egresos, entonces el proyecto es indiferente.
- $B/C < 1$ implica que los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no es aconsejable.

Al aplicar la relación Beneficio/Costo, es importante determinar las cantidades que constituyen los Ingresos llamados “Beneficios” y qué cantidades constituyen los Egresos llamados “Costos”. Por lo general, las grandes obras producen un beneficio al público, pero a su vez, produce también una pérdida denominada “Desventaja”, se puede tomar como ejemplo de esto la construcción de una represa hidroeléctrica, la cual produce un beneficio que es la generación de electricidad. La electricidad puede ser cuantificada en dinero; a su vez, se produce una pérdida, por la inundación de terrenos aptos para la agricultura y esa pérdida, también puede ser cuantificada en dinero. Para que las decisiones tomadas sean correctas, cuando se utiliza la relación B/C es necesario aplicar en los cálculos la TIO.

4.1.7. PR: Período de Recuperación

La metodología del Periodo de Recuperación (PR) es otro índice utilizado para medir la viabilidad de un proyecto, que ha venido en cuestionamiento o en baja. La medición y análisis de este le puede dar a las empresas el punto de partida para cambiar sus estrategias de inversión frente al VPN y a la TIR.

El Método Periodo de Recuperación basa sus fundamentos en la cantidad de tiempo que debe utilizarse, para recuperar la inversión, sin tener en cuenta los intereses. Es decir, que si un proyecto tiene un costo total y por su implementación se espera obtener un ingreso futuro, en cuanto tiempo se recuperará la inversión inicial.

Efectos fiscales. En la evaluación de cualquier proyecto de inversión se deben tener en cuenta las erogaciones que se deben realizar por las tasas impositivas.

Al realizar o invertir en cualquier proyecto, lo primero que se espera es obtener un beneficio o unas utilidades, en segundo lugar, se busca que esas utilidades lleguen a manos del inversionista lo más rápido que sea posible, este tiempo es por supuesto determinado por los inversionistas, ya que no es lo mismo para unos, recibirlos en un corto, mediano o largo plazo, es por ello que dependiendo del tiempo es aceptado o rechazado.

4.1.8. CC: Costo Capitalizado

El Método del Costo Capitalizado se presenta como una aplicación del Valor Presente de una Anualidad Infinita. Éste es aplicado en proyectos que se supone tendrán una vida útil indefinida, tales como represas, universidades, organizaciones no gubernamentales, etc. También, es aplicable en proyectos que deben asegurar una producción continua, en los cuales los activos deben ser reemplazados periódicamente.

Para realizar un análisis sobre esta metodología, se debe hallar el Valor Presente de todos los gastos no recurrentes y sumarlos con el Valor Presente de la Anualidad Infinita, que conforman dichos gastos.

Todos y cada uno de estos instrumentos de análisis matemático financiero debe conducir a tomar idénticas decisiones económicas, la única diferencia que se presenta es la metodología por la cual se llega al valor final, por ello es sumamente importante tener las bases matemáticas muy claras para su aplicación.

4.2. EVALUACIÓN DE COSTOS

Para Juan José Miranda⁷ la evaluación del proyecto en sus diferentes alternativas se debe hacer no solamente sobre la inversión inicial, sino también sobre los costos de operación, mantenimiento y reposición de elementos cuya vida útil sea menor a 30 años, a precios constantes de la fecha de presentación del proyecto. El valor de los diferentes componentes del proyecto se toma de los del mercado o de la cartilla de costos establecida por el municipio o ente responsable del servicio de alumbrado público, en los casos que sea utilizada esta herramienta, los cuales no podrán ser mayores a los resultantes de aplicar la metodología para determinación del costo máximo expedida por la CREG; la cual deberán aplicar los municipios o distritos para remunerar el servicio.

4.2.1. Costos de inversión

Los costos iniciales de la infraestructura nueva, así como los de proyectos de normalización, y de reposición a nuevo deben incluir no solamente los costos de suministro de los elementos básicos de la infraestructura, tales como las luminarias especificadas a utilizar en el proyecto, los postes y mástiles, las cámaras, las canalizaciones, la red eléctrica correspondiente, sino también los siguientes costos:

⁷ MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera-económica-social-ambiental. Bogotá: MM Editores, 2005.

- Costo de suministro en sitio del elemento.
- Costo de la obra civil.
- Costo del montaje.
- Costo de la administración de la obra.
- Costo de inspección.
- Costo de interventoría.
- Costos financieros.
- Costos de mantenimiento correctivo y preventivo.

También deben considerarse los activos no eléctricos del sistema de alumbrado público indispensables para la prestación del servicio, tales como oficinas, bodegas, vehículos, parqueaderos, cuyo valor máximo será reglamentado por la CREG.

Finalmente, el análisis debe incluir las actividades necesarias para el retiro o aprovechamiento de la infraestructura de alumbrado existente.

Los productos utilizados en las propuestas de alumbrado deben cumplir el presente reglamento y demostrarlo mediante el certificado de producto expedido por organismo de certificación acreditado.

4.2.2. Costos de administración, operación y mantenimiento

El costo de administración, operación y mantenimiento –AOM- corresponden a un porcentaje de los activos eléctricos y no eléctricos. El valor del porcentaje será definido por la CREG en desarrollo de lo dispuesto en el Decreto 2424 de 2006.

Estos costos deben ser consistentes con el esquema de mantenimiento y la curva de factor de mantenimiento definida para el proyecto de acuerdo con el presente reglamento.

Para efectos de comparación y selección de alternativas, en el diseño se debe incluir el valor de la energía requerida para la prestación del servicio en cada alternativa, dado que el consumo dependerá de las luminarias escogidas, las cuales se correlacionan con la potencia de la fuente, la interdistancia y la altura de montaje.

4.2.3. Costo anual equivalente

Se debe considerar un período de evaluación de 30 años teniendo en cuenta la vida útil de los diferentes componentes del proyecto y un valor de salvamento de cero pesos. Para el efecto se establecen como valores mínimos de vida útil.

Tabla 2. Vidas útiles mínimas de los componentes de la infraestructura de alumbrado público para la evaluación de costos

EQUIPOS	VIDA UTIL (años)	EQUIPOS	VIDA UTIL (años)
Transformadores	20	Postes de concreto	30
Redes eléctricas (conductores, herrajes y aisladores)	30	Cajas de inspección, ducterías y demás obras civiles asociadas	30
Bombillas de sodio	3.5	Luminarias	
		En zonas con alta contaminación	7.5
		En Zonas normales	15

Fuente: Resolución No. 180540 de 2010⁸.

- Costos Iniciales **(CI.)** de infraestructura (luminarias o proyectores, transformadores, conductores, postes, materiales, etc.), transporte y mano de obra. Estos costos son presentes.

⁸ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución No. 180540 de 2010. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Diario Oficial No. 47.673 del 7 de abril de 2010.

- Costos Anuales de Operación (**CAO**), los cuales están compuestos por el mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado. Estos costos son anualizados y deben traer a valor presente, con la siguiente fórmula:

$$VP(CAO) = CAO * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

⇒ En la fórmula anterior, *i* corresponde a la tasa de descuento (**TD**), la cual se establece en el 16,06% (o la que aplique la CREG para la red domiciliaria).

⇒ *n* corresponde al número de año de análisis, que en este caso es de 30 años El valor presente total del proyecto (**PT**) se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$VPN = PT = CI + VP(CAO) - VP(VS)$$

VS es el valor de Salvamento al final de la vida, es decir, el valor de la vida útil remanente del sistema de iluminación. En el caso de la evaluación de proyectos de alumbrado y con el fin de simplificar el procedimiento sin afectar el resultado, se considera nulo el valor de salvamento; luego

$$PT = CI + VP(CAO)$$

El Valor Total (PT) se multiplica por el factor de anualidad para obtener el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del proyecto.

$$CAUE = CAO - VP(VS) + CI/(1+i)^n$$

Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del proyecto = valor presente total del proyecto (PT) por el factor de anualidad.

Aspecto a considerar el VPN, Valor Presente Neto.

Resumiendo el análisis al que debemos llegar cuando:


VPN llamada también tasa de interés de oportunidad (T.I.O) es el indicador fundamental para evaluar la viabilidad del proyecto, los ahorros energéticos que se esperan obtener aproximados al 50%, junto a ello la disminución del mantenimiento y los beneficios ambientales tendremos entonces que si un:

$VPN > 0$ indica que los ingresos (ahorros en facturación eléctrica) exceden a los egresos a lo que se paga en el presente por el uso de luminarias de 70W tipo sodio Metal Halide, se obtendrán beneficios adicionales. Esto hace que los dineros invertidos en el proyecto renten a una tasa superior que la de oportunidad del mercado y por tanto se acepta y se emprende el proyecto.

$VPN = 0$ muestra que los ingresos son iguales a los egresos y no se obtiene beneficios adicionales; lo cual hace que los dineros allí invertidos renten a una tasa igual que la tasa de oportunidad y por tanto es indiferente su aceptación o rechazo.

$VPN < 0$ se tiene que los ingresos son menores que los egresos y por lo tanto vamos a tener pérdidas; y por lo tanto los dineros allí invertidos rentan a una tasa inferior a la tasa de interés de oportunidad, lo cual se recomienda rechazar el proyecto.

Tabla 3. Cotización de sistema de alumbrado público para el Pascual Bravo por parte del GAIA

COTIZACIÓN				No.	CT_300
Datos del contacto PASCUAL BRAVO					
Cliente:	Andres Vahos		Email		
Dirección cliente			ciudad		
Ubicación Obra	Lugar:	Medellin		Teléfono:	
Coordenadas GPS	Depar/	Antioquia		Fax	
ESPECIFICACIONES DE LA COTIZACIÓN					
SUMINISTRO DE EQUIPOS					
Descripción		Precio unitario	Cantidad		Precio Total
1	Suministro de partes Sistema Generador				
	PANEL 130W 36 celdas	\$ 475.057	5	\$ 12.670.535	\$ 12.670.535
	CONTROLADOR DE CARGA Sunlight 10A @ 24v	\$ 512.500	12		
	BATERÍAS DE 12V @ 100AH	\$ 625.750	3		
	FUSIBLE DC	\$ 132.000	12		
	Lampara DPH35W	\$ 987.500	0		
	SUBTOTAL				
Nota:					
				descuento	0% \$ -
				Subtotal dscto	\$ 12.670.535
				IVA	\$ 2.027.286
				Total Cotización	\$ 14.697.821
Observaciones:					
INFORMACIÓN DE CONTACTO					
Área:	Proyectos		Información Adicional		
Contacto:	David Gonzalez		Teléfono:	4447504	
email:	ingeniero.comercial@gaia-ti.com		Dirección:	Cra. 43 #25A-124	
Celular:	3113202588				

Costos para 12 luminarias, 12 postes, 12 brazos, conductores, y demás elementos necesarios para su óptimo funcionamiento, obteniendo un promedio de 31.500.000+ IVA.

Tras el estudio de la necesidad evidenciada, se realizaron comunicaciones directas con cada uno de los fabricantes, encontrando que la Empresa GAIA, es la más acorde a la participación en el proyecto, ya que la misma suministrará la iluminación sin ningún costo con el ánimo de que a través del proyecto se permita dar visibilidad a la marca, por tanto solo se cobrarán los elementos complementarios al proyecto como son los postes, baterías, controladores, panel solar y fusibles, por otro lado al ser los mismos fabricantes e importadores de las luminarias y paneles solares, el proyecto estará exento de IVA.

4.3. PLANIFICACIÓN

Fuente Luminosa: Luminaria Led de 35W, DC 12-24V, 3325lm, IP66, la cual cumple con la eficiencia lumínica necesaria en la zona a instalar. La estrategia es tener el nivel de iluminación adecuado con el menor consumo de energía posible, por lo cual las mismas serán alimentadas por medio de paneles solares independientes, las cuales no requieren de ningún tipo de cableado entre ellas.

Las luminarias funcionan a través de una fotocelda que les da la orden de encenderse o apagarse según la cantidad de luz que haya en el área, adicionalmente cuentan con un panel solar que les brinda la potencia y voltaje necesario para su funcionamiento. Estas luminarias son completamente autónomas y no requieren de alimentación desde la red eléctrica de la institución.

4.4. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Para aceptar o rechazar un proyecto en el cual los estudiantes piensan en invertir, depende de la utilidad que este brinde en el futuro frente a los ingresos y a las tasas de interés con las que se evalúe.

Teniendo claros los principios de las matemáticas financieras en la evaluación de proyectos se puede llevar a cabo una valoración más profunda, además es posible comparar con otras alternativas empleando las herramientas que permitan medir las ventajas o desventajas de cada proyecto.

Alternativa Simple: Esta debe aplicarse cuando se evalúa y se tiene que decidir si un proyecto individual es o no conveniente.

En la aplicación de todas las metodologías se deben tener en cuenta los siguientes factores que dan aplicación a su estructura funcional:

- C: Costo inicial o Inversión inicial.
- K: Vida útil en años.
- S: Valor de salvamento.
- CAO: Costo anual de operación.
- CAM: Costo anual de mantenimiento.
- IA: Ingresos anuales por ahorro energético.

Es importante determinar una tasa correcta para hacer los cálculos; hay quienes opinan que debe usarse la tasa promedio, utilizada en el mercado financiero y hay otros que opinan que debe ser la tasa de interés, a la cual normalmente el dueño del proyecto hace sus inversiones. Esta última tasa es conocida con el nombre de Tasa de Interés de Oportunidad (TIO).

Tasa de interés de oportunidad (TIO) se podría definir en este proyecto entre valores del 10% al 16.06 % anual, es lo que esperamos los estudiantes poder reconciliar en beneficios económicos para la IUPB.

Tabla 4. Variables del sistema a instalar

INFORMACIÓN DEL EJERCICIO		
VARIABLE	LAMPARA DE 70W DE SODIO	LAMPARA TIPO LED DE 35W
Cantidad Instalada	8	6
Horas de Funcionamiento	8	6
Valor Kw-H	\$ 286	\$ 286
Valor inicial del Proyecto	\$ 12.000.000	\$ 30.000.000
Vida Util unitario	20.000	50.000
Vida Util	20	20
Valor de Salvamento	\$ -	\$ -
Consumo al mes del total	\$ 345.936,00	\$ 129.720,00
Tasa	10%	10%
Cambio Lámparas	\$ 120.000,00	\$ 200.000,00

Tabla 5. Resumen de resultados

CONCEPTO	LAMPARA DE 70W DE SODIO	LAMPARA TIPO LED DE 35W
VPN	\$ 1.005.960,80	\$ 27.215.172,06
MANTENIMIENTO	\$ 9.124.641,41	\$ 13.280.000,00
COSTO ENERGIA	\$ 9.295.429,87	\$ 3.485.624,98
CAMBIO BOMBILLAS	\$ 9.600.000,00	\$ -
TOTAL COSTOS PROYECTO	\$ 28.020.071,28	\$ 16.765.624,98
FLUJO DE EFECTIVO GENERADO	\$ (16.020.071,28)	\$ 19.044.179,91
COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE	\$ 1.409.515,50	\$ 3.523.788,74

Tabla 6. Evaluación financiera del proyecto – Opción 1

OPCIÓN 1 - LAMPARA DE 70W DE SODIO							
TIEMPO	INVERSION	MANTENIMIENTO	COSTOS		SALVAMENTO	FLUJO EFECTIVO GEN	Costos Anuales
			ENERGIA	CAMBIO BOMBILLAS			
0	\$ 12.000.000,00	\$ -	\$ -		\$ -	\$ 12.000.000,00	\$ -
1		\$ -	\$ 345.936		\$ -	\$ (345.936,00)	\$ 345.936,00
2		\$ 760.000,00	\$ 356.314	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.076.314,08)	\$ 2.076.314,08
3		\$ -	\$ 367.004		\$ -	\$ (367.003,50)	\$ 367.003,50
4		\$ 790.400,00	\$ 378.014	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.128.413,61)	\$ 2.128.413,61
5		\$ -	\$ 389.354		\$ -	\$ (389.354,02)	\$ 389.354,02
6		\$ 822.016,00	\$ 401.035	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.183.050,64)	\$ 2.183.050,64
7		\$ -	\$ 413.066		\$ -	\$ (413.065,68)	\$ 413.065,68
8		\$ 854.896,64	\$ 425.458	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.240.354,29)	\$ 2.240.354,29
9		\$ -	\$ 438.221		\$ -	\$ (438.221,37)	\$ 438.221,37
10		\$ 889.092,51	\$ 451.368	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.300.460,52)	\$ 2.300.460,52
11		\$ -	\$ 464.909		\$ -	\$ (464.909,06)	\$ 464.909,06
12		\$ 924.656,21	\$ 478.856	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.363.512,53)	\$ 2.363.512,53
13		\$ -	\$ 493.222		\$ -	\$ (493.222,02)	\$ 493.222,02
14		\$ 961.642,45	\$ 508.019	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.429.661,13)	\$ 2.429.661,13
15		\$ -	\$ 523.259		\$ -	\$ (523.259,24)	\$ 523.259,24
16		\$ 1.000.108,15	\$ 538.957	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.499.065,17)	\$ 2.499.065,17
17		\$ -	\$ 555.126		\$ -	\$ (555.125,73)	\$ 555.125,73
18		\$ 1.040.112,48	\$ 571.779	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.571.891,98)	\$ 2.571.891,98
19		\$ -	\$ 588.933		\$ -	\$ (588.932,88)	\$ 588.932,88
20		\$ 1.081.716,98	\$ 606.601	\$ 960.000	\$ -	\$ (2.648.317,85)	\$ 2.648.317,85
TOTALES	\$ 12.000.000,00	\$ 9.124.641,41	\$ 9.295.429,87	\$ 9.600.000,00	\$ -	\$ (16.020.071,28)	\$ 28.020.071,28

VPN	\$ 1.005.960,80
TIR	9%
VPN=0	\$ 0,00

Tabla 7. Evaluación financiera del proyecto – Opción 2

OPCIÓN 2 - LAMPARA TIPO LED DE 35W								
TIEMPO	INVERSION	AHORRO	MANTENIMIENTO	COSTOS		SALVAMENTO	FLUJO EFECTIVO GEN	Costos Anuales
				Energía	CAMBIO BOMBILLAS			
0	\$ 30.000.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 30.000.000,00	\$ -
1		\$ 102.916,80	\$ -	\$ 358.344	\$ -	\$ -	\$ (255.427,20)	\$ 358.344,00
2		\$ 106.004,30	\$ -	\$ 369.094	\$ -	\$ -	\$ (263.090,02)	\$ 369.094,32
3		\$ 109.184,43	\$ -	\$ 380.167	\$ -	\$ -	\$ (270.982,72)	\$ 380.167,15
4		\$ 112.459,97	\$ -	\$ 391.572	\$ -	\$ -	\$ (279.112,20)	\$ 391.572,16
5		\$ 115.833,77	\$ 1.500.000	\$ 403.319	\$ -	\$ -	\$ (1.787.485,56)	\$ 1.903.319,33
6		\$ 119.308,78	\$ -	\$ 415.419	\$ -	\$ -	\$ (296.110,13)	\$ 415.418,91
7		\$ 122.888,04	\$ -	\$ 427.881	\$ -	\$ -	\$ (304.993,43)	\$ 427.881,48
8		\$ 126.574,68	\$ -	\$ 440.718	\$ -	\$ -	\$ (314.143,24)	\$ 440.717,92
9		\$ 130.371,92	\$ -	\$ 453.939	\$ -	\$ -	\$ (323.567,53)	\$ 453.939,46
10		\$ 134.283,08	\$ 2.800.000	\$ 467.558	\$ -	\$ -	\$ (3.133.274,56)	\$ 3.267.557,64
11		\$ 138.311,57	\$ -	\$ 481.584	\$ -	\$ -	\$ (343.272,80)	\$ 481.584,37
12		\$ 142.460,92	\$ -	\$ 496.032	\$ -	\$ -	\$ (353.570,98)	\$ 496.031,90
13		\$ 146.734,75	\$ -	\$ 510.913	\$ -	\$ -	\$ (364.178,11)	\$ 510.912,86
14		\$ 151.136,79	\$ -	\$ 526.240	\$ -	\$ -	\$ (375.103,45)	\$ 526.240,25
15		\$ 155.670,89	\$ 3.780.000	\$ 542.027	\$ -	\$ -	\$ (4.166.356,56)	\$ 4.322.027,45
16		\$ 160.341,02	\$ -	\$ 558.288	\$ -	\$ -	\$ (397.947,25)	\$ 558.288,28
17		\$ 165.151,25	\$ -	\$ 575.037	\$ -	\$ -	\$ (409.885,67)	\$ 575.036,92

18		\$ 170.105,79	\$ -	\$ 592.288	\$ -	\$ -	\$ (422.182,24)	\$ 592.288,03
19		\$ 175.208,96	\$ -	\$ 610.057	\$ -	\$ -	\$ (434.847,71)	\$ 610.056,67
20		\$ 180.465,23	\$ 5.200.000	\$ 628.358	\$ -	\$ -	\$ (5.647.893,14)	\$ 5.828.358,37
\$ 210,00	\$ 30.000.000,00	\$ 2.765.412,96	\$ 13.280.000,00	\$ 9.628.837,48	\$ -	\$ -	\$ 9.856.575,48	\$ 22.908.837,48

VPN	\$ 23.641.913,07
TIR	-2,79%
VPN=O	\$ 0,00

4.4.1. Propuesta de esquema funcional de la instalación para propiciar el uso racional de la energía

El principal esquema funcional de la instalación está dado en la elección de las luminarias a instalar las cuales son luminarias tipo LED de 35W, y que cuentan con panel solar que permite hacer uso de la energía solar.

Se evidencia a continuación la tabla de la evaluación del consumo de las luminarias tipo VSAP vs las luminarias tipo led, de acuerdo a la distribución de consumo de 6 horas diarias.

Tabla 8. Luminaria VSAP 70W vs Luminaria tipo LED 35W

Consumo día (70W/1000*1 2hrs)	W	\$ día	\$ kilovatio	Consumo anual (12hr/día)	Consumo anual por 12 luminarias de 70W
	0,84	346,08	412	124588,8	1495065,6
Consumo día (35W/1000*6 hrs)	W	\$ día	\$ kilovatio	Consumo anual (12hr/día)	Consumo anual por 12 luminarias de 70W
	0,21	86,52	412	31147,2	186883,2
Diferencia de consumo luminaria tipo Led vs luminaria VSAP (1 luminaria)			Diferencia de consumo luminaria tipo Led vs luminaria VSAP (6 luminarias)		
93441,6			1308182,4		

Fuente: Gustavo Agudelo, Herney Hernández y Jorge Wolf⁹.

⁹ AGUDELO RÍOS, Gustavo, HERNÁNDEZ MARÍN, Herney y WOLF VILLADA, Jorge Adan. Montaje de la iluminación tipo LED en sistema de alumbrado público aplicado al uso racional de energía en la Institución Universitaria Pascual Bravo. Medellín: Institución Universitaria Pascual Bravo.

4.4.2. Especificaciones de los equipos aplicables al diseño

Para observar en detalle las fichas técnicas relativas a los equipos a utilizar ver Anexos.

Imagen 1. Planos de montaje y distribución de luminarias



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es de resaltar en primer lugar que el sistema SFV no es del todo una solución efectiva, pues se podrían plantear algunos inconvenientes de este sistema de generación de energía. Y no es tanto el origen de dicha energía, que es la que produce el Sol, la cual tiene reservas que exceden las necesidades humanas, ni tampoco la materia prima de donde se extrae el Silicio, que consiste en arena común muy abundante en la naturaleza, sino que se trata de la técnica de construcción y fabricación de los módulos fotovoltaicos, el cual es complejo y costoso.

En segundo lugar, cabe también señalar que el sistema requiere de una importante inversión inicial.

Otro asunto importante a tener en cuenta es que es un tipo de energía de difícil almacenamiento, además de que no es económicamente competitiva con otras energías actuales; de igual manera, su producción es variable, según la climatología del lugar y época del año.

Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final se estima en sólo un 13%.

De otro lado, los niveles de economía se ven reflejados en una buena cantidad de lámparas Led a instalar y a los años de servicio de esta tecnología, pues se evidencia, según los costos de mantenimiento, que su ahorro después de cinco años decrece un poco por el cambio de algunos elementos como baterías, las cuales son costosas por ser de especial construcción.

Finalmente, vale la pena mencionar que, de alguna manera, usar los sistemas SFV (sistema fotovoltaicos) es más bien del orden ecológico y reducción de CO₂ a la

atmosfera y el retorno por el cambio de esta inversión se logra después de un periodo de 9 años, sobre todo para este proyecto en particular.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO RÍOS, Gustavo, HERNÁNDEZ MARÍN, Herney y WOLF VILLADA, Jorge Adan. Montaje de la iluminación tipo LED en sistema de alumbrado público aplicado al uso racional de energía en la Institución Universitaria Pascual Bravo. Medellín: Institución Universitaria Pascual Bravo.

CARDONA, Alberto. Matemáticas financieras. Bogotá: Interamericana, 1991.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Registro Distrital No. 44.573 del 5 de octubre de 2001.

FLÓREZ URIBE, Juan Antonio. Matemáticas Financieras Empresariales. Bogotá: Ecoe, 2008.

GIRALDO MORENO, Carlos Mario. Instalaciones Eléctricas. Medellín: Vieco, 2014.

GÓMEZ, Giovanni. Evaluación financiera de proyectos: CAUE, VPN, TIR, B/C, PR, CC. [Citado el 10 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.gestiopolis.com/evaluacion-financiera-de-proyectos-caue-vpn-tir-bc-pr-cc/>>

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 2050. Código Eléctrico Colombiano. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2002.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución No. 180540 de 2010. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Diario Oficial No. 47.673 del 7 de abril de 2010.

MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera-económica-social-ambiental. Bogotá: MM Editores, 2005.

MORENO, Fermín, ZUBIAURRE, Joseba y MIRALLES, José. Instalaciones eléctricas interiores. Bogotá: Ediciones de la U, 2014.

RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. En: Revista de Ingeniería, núm., 28, 2008, p.p. 83-89.

ROMERO DÍAZ, Héctor J. Salvamento de voto. REF: EXP 0800123310002001-0569-01. Bogotá: Consejo de Estado.

SERRANO TIERZ, Ana, MARTÍNEZ ITURBE, Abelardo, GUARDDON MUÑOZ, Oscar y SANTOLAYA SÁENZ, José Luis. Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. En: Dyna, Vol., 82, núm., 191, 2015, p.p. 231-239.

TOBAJAS VÁSQUEZ, Carlos. Instalaciones solares fotovoltaicas. Bogotá: Ediciones de la U, 2015.

TURMERO ASTROS, Iván José. Conceptos varios de la ingeniería económica. [Citado el 17 de septiembre de 2015] Disponible en

<<http://www.monografias.com/trabajos104/conceptos-varios-ingenieria-economica/conceptos-varios-ingenieria-economica.shtml>>

VILLALOBOS, José Luis. Matemáticas Financieras. México: Pearson Educación, 2001.