

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Iluminación solar en base a botellas PET como
alternativa ecológica de conservación energética**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Mariluz Ricse Molina

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

Lima, Setiembre 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Jackson Edgardo Pérez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ILUMINACIÓN SOLAR EN BASE A BOTELLAS PET COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICA DE CONSERVACIÓN ENERGÉTICA”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Mariluz Ricse Molina para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 6 días del mes de setiembre del año 2021.



Jackson Edgardo Pérez Carpio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **06 días** día(s) del mes de **setiembre del año 2021** siendo **las 09:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, y los demás miembros: **Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez** y el Ing. **Orlando Alan Poma Porras** y el asesor **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Iluminación solar en base a botellas PET como alternativa ecológica de conservación energética"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **MARILUZ RICSE MOLINA**

.....b)

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **MARILUZ RICSE MOLINA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Mg. Milda Amparo
 Cruz Huaranga



 Secretario
 Mg. Joel Hugo
 Fernandez Rojas

 Asesor
 Mg. Jackson Edgardo
 Pérez Carpio

 Miembro
 Mg. Iliana Del Carmen
 Gutierrez Rodriguez

 Miembro
 Ing. Orlando Alan
 Poma Porras

 Candidato/a (a)
 Mariluz

 Candidato/a (b)

ILUMINACIÓN SOLAR EN BASE A BOTELLAS PET COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICA DE CONSERVACIÓN ENERGÉTICA

SOLAR LIGHTING BASED ON PET BOTTLES AS AN ECOLOGICAL ALTERNATIVE FOR ENERGY CONSERVATION

Mariluz Ricse Molina¹, Jackson Edgardo Perez Carpio²

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

Resumen

Son muchas las soluciones que se han implementado para fortalecer la conservación energética a partir del uso de la energía renovable, en consonancia con el reciclaje de los desechos sólidos. Ante esto, el presente trabajo de investigación, está dirigido a desarrollar una estrategia basada en la implementación de la iluminación solar reutilizando botellas de poli-etilentereftalato (PET), como una opción ecológica al fomento de la protección medioambiental. El estudio se caracterizó por desarrollarse como una investigación cuasiexperimental, donde se estudió el escenario de aplicación del método propuesto basado en el esquema "Un Litro de Luz", antes de la puesta en marcha del mismo y después de su implementación, en una vivienda de una zona de bajo recursos de Perú. Con la implementación de la bombilla solar como alternativa ecológica se comprobó un ahorro energético de 55% y con esta se espera reducir aproximadamente 4.203,1703 toneladas de emisión de CO₂, se concluye que desde la perspectiva del principio de "conservación energética"; ambos pueden obtenerse a partir de la reducción del consumo eléctrico, proporcionando confort y la calidad de vida a poblaciones de bajos recursos económicos, a su vez disminuye el impacto ambiental. Este contexto, ubica la estrategia aplicada como viable para la puesta en marcha de proyectos de amplio alcance para la obtención de alumbrado óptimo de tipo doméstico y público.

Descriptor: Botella PET, Conservación Energética, Ecología, Energía Renovable, Iluminación Solar.

Abstrac

There are many solutions that have been implemented to strengthen energy conservation from the use of renewable energy, in line with the recycling of solid waste. Given this, this research work is aimed at developing a strategy based on the implementation of solar lighting reusing polyethylene terephthalate (PET) bottles, as an ecological option to promote environmental protection. The study was characterized by being developed as a quasi-experimental investigation, where the application scenario of the proposed method based on the scheme "One liter of light" was studied, before its start-up and after its implementation, in a low-income area of Peru. With the implementation of the solar light bulb as an ecological alternative, an energy saving of 55% was verified and with this it is expected to reduce approximately 190,193.45 tons of CO₂ emissions, it is concluded that from the perspective of the principle of "energy conservation"; Both can be obtained from the reduction of electricity consumption, providing comfort and quality of life to populations with low economic resources, in turn reducing the environmental impact. This context places the strategy applied as viable for the implementation of wide-ranging projects to obtain optimal domestic and public lighting.

Descriptors: PET Bottle, Energy Conservation, Ecology, Renewable Energy, Solar Lighting.

I. Introducción

Las nuevas tendencias mundiales en el ámbito de la conservación ambiental, apuntan a la sensibilización del medio social, y por lo tanto, insta a la ingeniería en la innovación y aplicación de sistemas tecnológicos que involucren procesos de producción de energía eficientes y en armonía con el entorno, que además estén en consonancia con el reciclaje, como una opción más para promover la mitigación de desechos sólidos en los que sobresalen los derivados del papel, metales como hierro, aluminio, cobre y bronce, así como plásticos a base de PET, siglas correspondiente al poli-etilentereftalato (Courret, 2015) ^[1].

En las últimas décadas, el PET tipo envase o botella, es uno de los materiales plásticos de más amplia demanda de consumo, más que todo en rubros comerciales que ofertan productos de bebidas, otros comestibles, limpieza, higiene y salud, entre otros, en consecuencia de lo económico de su procura por parte del demandante, y los bajos costos de fabricación y aplicación tecnológica que debe emplear el productor, por lo que su masiva utilización junto a otros materiales polímeros en las empresas y en el área doméstica, han tenido un fuerte impacto en la contaminación ambiental por desechos plásticos, por su poca capacidad de biodegradabilidad, conduciendo a fenómenos que menoscaban el medio ambiente, y ante esto se ha revertido su forma de uso con su reciclaje . (Mansilla *et. al*, 2009) ^[2].

Lo señalado se ha considerado, por cuanto el crecimiento de la industria y la tecnología cuyas actividades de producción manipulan este tipo de materiales ha tenido una importante repercusión, que si bien ha generado ventajas a la sociedad, también ha ocasionado efectos negativos e irreversibles en el planeta, resultando necesario gestionar el pensamiento ético ambiental y así fortalecer los valores de la ingeniería que ha bien toma el control de los procesos industriales, para que consideren la aplicación alternativas tecnológicas limpias y renovables, que se asimilen al menoscabo del hábitat en se vive. (Duart, 2007) ^[3].

Sin embargo, son amplios los sistemas de producción empresarial que demandan un gran abastecimiento de energía, sin contar la proporción que corresponde a la sociedad postmoderna para satisfacer sus necesidades básicas y mantener una buena calidad de vida, lo cual se ha convertido en un serio problema que ha inspirado ante innovaciones la reutilización de desechos tipo PET en pro de la ecoeficiencia

energética y así aminorar la dependencia al uso de la energía eléctrica proporcionada por medios convencionales (mecánicos) o primitivos (gas, kerosene, velas, entre otros), generadores de Dióxido de carbono (CO₂), (Heredia, 2011) ^[4].

Lo expuesto lo sustenta la “Administración de Información Energética de EE. UU.”, quien ha realizado estudios donde ha proyectado que entre 2004 y 2030, la tasa de crecimiento anual promedio del consumo mundial de energía primaria es del 1,8%, mientras que en los países menos desarrollados se estipula que el incremento del consumo de energía sea más alto (3,0%), por causa de la demanda potencial que representa la mejora potencial en el desempeño de las actividades económicas, y la baja tendencia al desarrollo de energías limpias basadas en la sostenibilidad y desarrollo endógeno (Rico *et. al*, 2008) ^[5].

Bajo ese precepto, Jean & Jessica (2016) ^[6], resalta que el uso de energía renovable ayudará en el desarrollo sostenible, debido a que su uso como modelo energético sacia las necesidades actuales sin arriesgar la suficiencia para las generaciones futuras , (2016); además el uso de este beneficiará a las poblaciones de extrema pobreza y a su vez al medio ambiente (Courret, 2015) ^[1]. No en vano, datos del Banco Mundial, destacan que en el mundo existen acerca de 1.000 millones de habitantes que no tienen acceso a la electricidad, dado a limitaciones económicas y ubicación geográfica, así como por la poca capacidad de generación, provisión o instalación (García *et. al*, 2020) ^[7].

Es así, que promovido por este contexto, para el año 2002 en Brasil un ingeniero mecánico llamado Alfredo Moser gestionó acciones para innovar en la solución de este panorama de escasez de energía eléctrica, primeramente para proporcionar luz en su taller de trabajo, y luego esto sirviera como experiencia exitosa para iluminar en el día a los hogares de su entorno local, por lo cual inventó una bombilla solar aprovechando el fenómeno de la refracción de la luz del sol con el agua, almacenada en una botella plástica transparente que reutilizó (García *et. al*, 2020) ^[7].

Luego, en el año 2005 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) se interesó en la idea de este inventor, tomando el caso Illac Díaz quien ya venía trabajando en materia de planeación urbana, y en función de darle un agregado a su tarea de gestión social implementó el método ilustrado por Moser mediante su fundación MyShelter, en su país de procedencia, Filipinas; siendo para el año 2011,

cuando ese organismo sin fines de lucro creó el proyecto “Un Litro de Luz” (ULL), teniendo en cuenta que aproximadamente un cuarto de su población vive en condiciones de extrema pobreza en viviendas que carecen de cableado o ventanales que dejen filtrar los rayos del sol (García et. al, 2020) ^[7].

El método de Un litro de Luz, cuyos elementos de elaboración de la fuente de iluminación están a la mano en el ámbito doméstico, puede ser aplicado por cualquier persona dado a la sencillez de su procedimiento. Este se puede desarrollar tan solo con ubicar una botella plástica ya usada proveniente de una bebida gaseosa o agua mineral, y agregársele agua y cloro (para evitar el desarrollo de hongos y algas), así como un pedazo de superficie de fijación previa a base de zinc, aluminio o loza, para insertar y pegar la botella a través del orificio que se haga tanto en la sobre lamina de prefijación, como finalmente en el propio techo donde es totalmente fijada la fuente de luz que a través del líquido refracta los rayos solares durante el día con la misma capacidad de un bombillo de 50 vatios aproximadamente, con una vida útil libre de mantenimiento de 10 años (Olivera, 2016) ^[8].

De acuerdo a García et. al, (2020) ^[7], una de las ventajas más importante de este tipo de alternativa de iluminación es que no genera costo de mantenimiento, y por lo tanto ha sido bien un método de energía renovable bien aceptado y formalmente desarrollado en ocho (08) naciones a saber: Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Tanzania, India, Bangladés y Filipinas donde se estima que se acerca a las 250 mil personas que disfrutan de esta solución en sus hogares y comercios.

En el Perú, García (2019) ^[9] destaca que el desarrollo urbano en zonas periurbanas ha engrosado el consumo de energía eléctrica, sin embargo, debido a que estas son poblaciones informales en muchas de ellas no tienen acceso a servicios básicos como desagüe, luz, entre otros; por lo que el crecimiento poblacional y la producción de energía eléctrica tienen una relación negativa, sin embargo el autor menciona que en un futuro estas divergencias propiciadas por la escasez han sido positivas, porque ha promovido la alineación de alternativas de energía renovables.

Por otro lado, en Perú diariamente se procesan alrededor de 18.000 toneladas/día de basura, donde los desechos cercanos a materiales reciclables representan más del 25% los residuos domésticos y comerciales, y el PET específicamente, representa el 1,87% del total. Esto significa que se puede producir una media de 64.500 toneladas de PET al año (Olivera, 2016) ^[8]. Los envases de plástico de PET por las características que presentan no son un riesgo ambiental, pero debido a su volumen y el tiempo requerido para la

biodegradación (1000 años) pueden afectar al agua y al suelo (Cristian et. al, 2003) ^[10].

Teniendo en cuenta el crecimiento urbano descontrolado que se da hoy en la actualidad, a su vez el incremento de consumo de energía eléctrica, y por ende la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que esta última provoca, además la calidad de vida que se les ofrece a los habitantes, es necesario implementar estrategias ecológicas alternativas para reducir el consumo de este tipo de energía convencional, que afecta al medio ambiente. Por tanto, en esta investigación se estudió el uso de una tecnología a escala piloto (se utilizará PET reciclado y energía renovable), cuyo propósito es reducir el consumo eléctrico, y de esta manera promover la conservación ambiental y sostenibilidad del entorno.

Para el desarrollo de la investigación se realizó la implementación de las bombillas solares de botellas tipo PET (Por el método ULL), la instalación de un panel solar de las bombillas nocturnas de botellas tipo PET (Por el método ULL), posteriormente se hizo una comparación del consumo de energía eléctrica pre y post instalación de la tecnología, para finalmente evaluar la eficiencia de la estrategia de solución aplicada como alternativa ecológica en cuanto a conservación energética.

II. Métodos

El presente trabajo es una investigación cuasi experimental, descriptiva y aplicada, para el desarrollo de la estructura se utilizó los procedimientos expuestos en el proyecto Un Litro de Luz (World Habitat Awards, 2020) ^[11]:

2.1. Elaboración de la Bombilla Solar (Método Litro de Luz)

- a. **Obtención de Materiales:** los materiales, en este caso de estudio, requiere de dos (02) botellas transparentes (2 litros y 1 litro), un panel solar de 250 voltios, silicona, dos tejas de Zinc, (0,30 m x 0.30), un pliego de lija fina 280, marcadores y finalmente el llenado de la botella con agua y cloro.
- b. **Demarcación y corte de la lámina:** para comenzar a elaborar la bombilla solar se tomó la lámina de zinc y se comenzó a trazar una circunferencia del mismo diámetro de la botella a utilizar, luego se marcó otra circunferencia interna a la anterior, más pequeña de 1 cm. Seguidamente se cortó en forma circular en medio de la lámina.



Fig. 1. Demarcación y corte de circunferencia central en lámina

Posteriormente, y desde el centro del círculo interior, se hicieron cortes transversales y adentados de 1 cm con una tijera de cortar metal, formando pestañas al levantar cada diente, con la finalidad de que sirva como soporte de la botella.



Fig. 2. Cortes transversales de la circunferencia para adentarla

- c. **Limpieza y Lijado de la botella:** para construir el litro de luz se debe limpiar y lijar las botellas, de modo que al momento de poner la lámina de zinc se adhiera fácilmente.

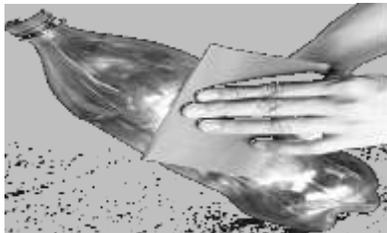


Fig. 3. Lijado de la botella

- d. **Ensamblaje del litro de luz:** en este paso la botella se preparó con mucho cuidado de no dañar su cuerpo, y se introdujo por el agujero de la lámina hasta la tercera parte superior de la misma, y después se adhirieron a ella los dientes cortados en la lámina.

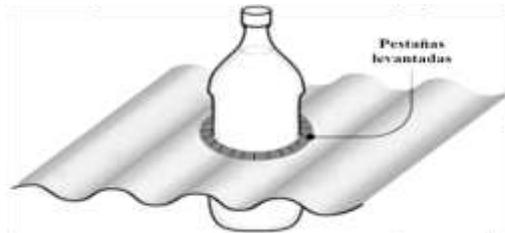


Fig. 4. Ubicación y pre-fijación de la botella a la lámina con el dentado

Posteriormente se aplicó el pegamento alrededor de la lámina y la botella en la parte superior e inferior de la lámina de zinc y luego se dejó secar bien.



Fig. 5. Fijación de la botella a lámina con pegamento

- e. **Ubicación y llenado de la bombilla solar:** seguidamente se eligió el lugar donde se requería la fuente de luz en la casa. Una vez elegida la zona, se verificó que estuviera seca la botella y se procedió a llenarla con agua limpia, y luego se le agregó 10 ml de cloro (2 tapas). Se cerró el reservorio, y se selló la tapa con pegamento.

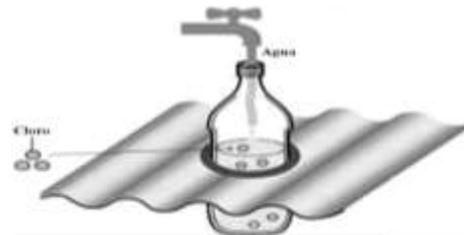


Fig. 6. Llenado de la botella con agua y cloro

- f. **Instalación de la bombilla de luz:** para la instalación de la bombilla, en el lugar identificado se realizó un agujero en la teja del techo con el mismo diámetro de la botella, seguidamente se insertó en el agujero la botella ya pegada a la lámina, luego se empalmaron y ajustaron con tornillos las lámina de preparación con la lámina del techo, y finalmente se selló con pegamento todos los bordes de la primera.

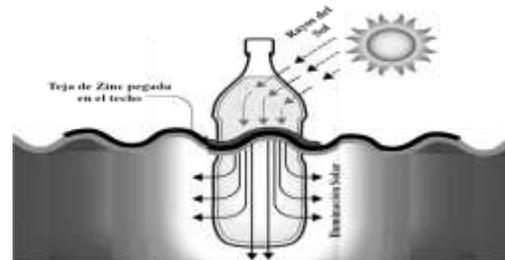


Fig. 7. Fijación de la botella al techo de la casa

Una vez instalada la botella con agua y cloro en el techo, los rayos del sol penetraron por la misma, y por refracción se obtuvo en la parte interna una iluminación que irradiaba a 360° el salón.

2.2. Elaboración de la Bombilla nocturna con Panel Solar

Para la elaboración de la bombilla nocturna, se aplicó el mismo procedimiento anterior, con la diferencia que además se realizó lo siguiente:

- g. **Inserción del bombillo tipo LED:** esto se realizó dentro de la botella con agua, en el cual queda colgando a lo largo de la misma, unido al circuito electrónico de carga que se encofró en una lata vacía de atún (usada como base), y que es activado mediante una batería de 3 voltios.

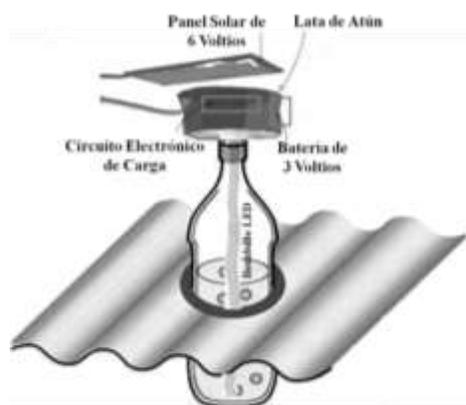


Fig. 8. Instalación bombilla nocturna con panel solar

- h. **Instalación del panel solar:** finalmente se instaló arriba de la lata donde está encofrado el circuito de carga, el panel solar, al cual se conectó para generar energía eléctrica para el bombillo LED implementado dentro de la botella, con la finalidad de iluminar de noche cuando no hay luz del sol (Duarte, 2020) ^[12].

El panel solar es un cargador, contenido de diminutas celdas cargadas con silicio, orientadas a la recepción de la energía solar para ser excitada, y ante esto conducir electrones que se desplacen en todos los espacios que ocupen cada celda, para finalmente producir la corriente eléctrica que nutre el circuito de la fuente de iluminación (batería), para activar el encendido del bombillo 1 LED introducido en la botella (Duarte, 2020) ^[12].

2.3. Diseño Muestral

Población: Asociación “La Rinconada de Santa María” San Juan de Lurigancho, Lima Perú (600 viviendas).

Muestra: 1 vivienda de la Asociación “La Rinconada de Santa María” San Juan de Lurigancho, Lima Perú.

2.4. Técnicas de Recolección de Datos

Se utilizaron los métodos complementarios de recopilación de datos tales como: observación participante utilizando como instrumento una matriz de registro Kw/mes; entrevistas informales y análisis de contenido documental.

Procedimiento de uso de la Matriz de Registro Kilovatio por Mes

Los datos fueron recolectados a través del Vatihorímetro (monofásico 2 hilos, 220v, 1600imp/kWh), es un dispositivo que mide la energía eléctrica consumida por un circuito o electricidad y este es su objetivo específico. Suelen estar calibrados en unidades de facturación, siendo las más habituales los kilovatios hora [kWh] (Cuzco *et. al*, 2016) ^[13].

Los datos se recolectaron a partir del mes de octubre hasta diciembre del año 2020 sin instalar la tecnología; y desde enero hasta marzo del año 2021 ya instalada la alternativa de iluminación ecológica, donde los datos se recopilaban de forma semanal, es decir, el día domingo de cada semana.

III. Resultados

Los resultados inherentes a los objetivos planteados en la investigación, responden al estudio previo de consumo de energía eléctrica antes de la puesta en marcha de la alternativa ecológica de iluminación solar para el día y de iluminación nocturna con panel solar a través del método Un Litro de Luz, donde se realizó:

- a. La implementación de dos (02) lámparas diurnas de iluminación solar en una vivienda del sector periurbano La Rinconada Santa María, San Juan de Lurigancho, con limitaciones de servicios básicos como agua, desagüe y luz, siendo esta última proporcionada de manera racional por una asociación, y no directamente de ENEL.
- b. La instalación de una (01) lámpara nocturna de iluminación con bombillo LED, activada con un panel solar para la misma vivienda, para un total de la colocación de tres (03) lámparas ecológicas en el hogar de estudio.

En la tabla 1, se muestran los datos previos de consumo de electricidad antes de la implementación de las tres (03) bombillas de botellas PET e instalación del panel solar:

Tabla 1. Promedio semanal y mensual del consumo de energía eléctrica antes de la implementación de la alternativa ecológica de iluminación medido con el Vatihorímetro. 2020

Mes	Semana	Día	Consumo promedio semanal (Kw)	Consumo promedio Mensual (Kw)
Oct	1	Domingo 04	1.310,43	1.322,91
	2	Domingo 11	1.318,76	
	3	Domingo 18	1.327,45	
	4	Domingo 25	1.334,98	
Nov	1	Domingo 01	1.351,12	1.361,01
	2	Domingo 08	1.358,01	
	3	Domingo 15	1.363,78	
	4	Domingo 22	1.371,14	
Dic	1	Domingo 06	1.384,32	1.394,17
	2	Domingo 13	1.390,67	
	3	Domingo 20	1.398,23	
	4	Domingo 27	1.403,47	
Promedio total del periodo en estudio			1.359,36	

De acuerdo al registro de datos anterior, el consumo promedio semanal de energía eléctrica muestra una tendencia similar entre una semana y otra, igualmente entre un mes y otro, percibiéndose una magnitud entre 1.310,43 Kw y 1.403,47 Kw, comportándose siempre de forma *creciente* el desempeño de uso energético entre periodos de medición ya señalados.

Tales consumos responden a la utilización de varios equipos eléctricos y electrónicos, como son: tres (05) bombillas eléctricas convencionales de 60 vatios, un (01) refrigerador, y un (01) televisor de 21 pulgadas y carga de tres (03) equipos de telefonía celular.

Sin embargo, su variabilidad incremental se fundamenta, en que la asociación periódicamente extiende el rango de racionamiento a favor del consumidor, como alternativa de brindarle un mejor servicio eléctrico, y por supuesto, concebir mayores ingresos por el mismo, adaptando poco a poco a los clientes a los incrementos de pago en la factura, que cada vez son más altos.

En la tabla 2 se presentan los datos posteriores de consumo eléctrico después de la implementación de la estrategia de solución con iluminación solar como alternativa de uso de energía renovable.

Tabla 2. Promedio semanal y mensual del consumo de energía eléctrica después de la implementación de la alternativa ecológica de iluminación medido con el Vatihorímetro. 2021

Mes	Semana	Día	Consumo promedio semanal (Kw)	Consumo promedio Mensual (Kw)
Ene	1	Domingo	503,24	539,17
	2	Domingo	526,45	
	3	Domingo	554,57	
	4	Domingo	572,43	
Feb	1	Domingo	597,92	617,96
	2	Domingo	608,34	
	3	Domingo	627,24	
	4	Domingo	638,34	
Mar	1	Domingo	663,21	681,19
	2	Domingo	676,35	
	3	Domingo	688,45	
	4	Domingo	696,75	
Promedio total del periodo en estudio			612,77	

Según los datos expuestos, el promedio de consumo de energía eléctrica semanal se comportó de manera similar entre semanas, y entre los meses enero a marzo, tal como sucedió en el año 2020; registrándose un volumen de gasto energético entre 503,24 Kw y 696,75 Kw, un incremento de consumo eléctrico consecutivo entre los periodos de medición ejecutados.

En este caso, los consumos se deben al uso de un (01) equipos eléctrico (refrigerador) y cuatro (04) equipos electrónicos (televisor de 21 pulgadas y celulares). Por este periodo se suspendió el uso de las bombillas eléctricas instaladas.

Igualmente, la variabilidad incremental de la cantidad de Kw consumidos entre una semana y otra se debe a que la asociación periódicamente otorga más rango se usó de energía eléctrica al consumidor, por motivos ya expresados anteriormente.

No obstante, al comparar el consumo de energía eléctrica antes (año 2020) de la puesta en marcha de la alternativa ecológica y después (año 2021) de la aplicación de la misma como estrategia de solución ante la conservación energética, se percibe una gran diferencia de consumo eléctrico entre ambos periodos en estudio.

Para evaluar el ahorro energético se utilizó la metodología del artículo titulado “*Guía de estudio del potencial de ahorro energético*” (García Fajardo & Florez Marulanda, 2016) ^[16]. Tal apreciación se puede visualizar más detalladamente en la tabla 3 que se muestra a continuación.

Tabla 3. Matriz comparativa de consumo eléctrico promedio mensual de periodos en estudio. 2020 y 2021

Mes	Consumo Eléctrico Promedio año 2020 (Kw)	Consumo Eléctrico Promedio año 2021 (Kw)	Ahorro de consumo eléctrico entre periodos (Kw)	Ahorro porcentual consumo eléctrico entre periodos (%)
1	1.322,91	539,17	783,74	59%
2	1.361,01	617,96	743,05	55%
3	1.394,17	681,19	712,98	51%
Total	1.359,36	612,77	746,59	55%
Total Consumo ambos periodos	1.972,13			

Se puede percibir, en la matriz alusiva a la comparación de periodos “antes y después” de la puesta en marcha de alternativa ecológica de iluminación solar, que el consumo promedio de energía eléctrica bajó significativamente sobre un 55% por ciento, es decir, más de la mitad de lo que se gastaba antes de la implementación de las estrategias de conservación energética a partir de la reutilización de botellas PET para elaborar las lámparas y su respectiva instalación y uso, alcanzando para el primer mes un margen máximo de diferencia de 59%.

En tanto, en la figura 9 se puede observar más claramente las brechas de consumo eléctrico promedio total en contraposición del ahorro energético percibido por una sola vivienda.

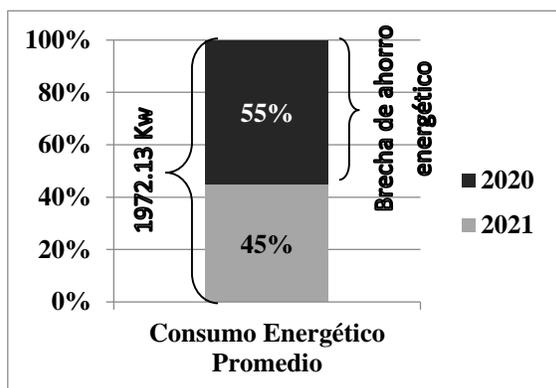


Fig. 9. Diferencia porcentual de consumo energético antes y después de la implementación de la alternativa ecológica

Se deslinda de la figura anterior, que a partir de la alternativa ecológica implementada solo se consumió un 45 por ciento del consumo total registrado en los dos periodos en estudio (años 2020 y 2021), lo que arroja una ventaja perceptiva de 55 por ciento con respecto al contexto cuando sólo se utilizaba energía eléctrica en la vivienda, lo que se traduce en esa misma proporción en el ahorro energético, de costos y montos de factura, así como de emisión de CO² a la atmosfera que fortalecen el crecimiento de gases de efecto invernadero (GEI).

Así, al proyectarse la implementación de esta alternativa ecológica para 600 viviendas en el sector, actualmente ocupadas por 176 habitantes aproximadamente se podría conseguir en tan solo un trimestre del año el siguiente ahorro energético por uso de energía renovable.

Tabla 4. Proyección de ahorro energético estimado al aplicarse la alternativa ecológica de iluminación solar

Cantidad de viviendas proyectadas	Diferencia absoluta consumo eléctrico mensual entre periodos de una vivienda (Kw)	Total ahorro de energía eléctrica por mes de 600 viviendas (Kw)
600	783,74	470.244,00
600	743,05	445.830,00
600	712,98	427.788,00
Total Ahorro energético (3 meses)	2.239,77	1.343.862,00
Total Ahorro energético (1 año)	8.959,08	5.375.448,00

Según lo que se percibe en la tabla 4, al implementarse las bombillas con botellas PET como alternativa ecológica, existe una gran posibilidad de ahorro energético para la conservación energética y que para una sola vivienda en tres meses sería 2.239,77 Kw (8,88 kwh por lámpara), que a nivel general, es decir las 600 viviendas de la comunidad estudiada, se transforma en 1.343.862,00 Kwh y en un año es de 5.375.448,00Kwh, lo cual va más allá de las ganancias tangibles, al ahorrar costos de producción y de dinero a los usuarios, sino al hecho propio de impacto en el medio ambiente.

Esto se corrobora, al plantearse un análisis sobre la cantidad estimada de emisión de CO₂, considerando el valor teórico utilizado por organismos internacionales como la Comisión Interdepartamental del Cambio Climático (CICC, 2011) ^[14], cuyos estándares manejan para ello, un factor de emisión de

CO₂, denominado “mix eléctrico” que es equivalente a 181 gramos de CO₂/kwh.

En todo caso, según la CICC para calcular las emisiones asociadas al consumo eléctrico que se relaciona con la red nacional, debe aplicarse el mencionado factor de emisión de CO₂ atribuible al suministro eléctrico.

Al tomarse en cuenta dicho factor, se puede decir que por cada lámpara se dejara de producir:

$$181 \text{ g de CO}_2/\text{Kwh} \times 8,88 \text{ Kwh} =$$

1.608,72 g de CO₂;

o bien 1,6 Kg CO₂ anual.

Entonces, conociendo que el volumen de consumo energético ahorrado por las 600 viviendas en de 1.343.862,00 Kwh, donde se aplica además alternativas para disminuir el consumo ya antes especificado (usan equipos de bajo consumo, bombillos ahorradores, entre otros), lo que representa un ahorro eléctrico de 8% (0,08), la disminución de emisiones resultante de ello sería:

$$5.375.448,00 \text{ Kwh} \times 0,08 = 430.035,84$$

$$5.375.448,00 \text{ Kwh} + 430.035,84 = 5.805.483,84 \text{ Kwh}$$

Una vez estimada el ahorro total, quedo calcular el producto que se genera al relacionar dicho ahorro con el mix eléctrico, es decir:

$$181 \text{ g de CO}_2/\text{Kwh} \times 5.805.483,84 \text{ Kwh} = \\ 1.050.792.575,00 \text{ g de CO}_2 =$$

$$1.050.792,575 \text{ Kg de CO}_2 =$$

1.050,792 Toneladas de CO₂

Esto quiere decir, que teóricamente se estaría dejando de emitir 47.548,36 Toneladas de CO₂ al medio ambiente, en un lapso de tres (03) meses, lo que en un año sería equivalente a:

$$1.050,792 \text{ Toneladas de CO}_2 \times 4 =$$

4.203,1703 Toneladas de CO₂

Tal como se pudo demostrar, se percibe una disminución importante del volumen de CO₂ asociado a la emisión de gases de efecto invernadero, a favor de **4.203,1703** Toneladas que dejando de entrar a la atmosfera, constituyendo este contexto un aporte para la conservación energética, que beneficia al entorno

social, y disminuye el impacto ambiental ante el uso de energía renovable, para evitar:

- Enfermedades respiratorias en los habitantes de la localidad.
- Incremento del problema del calentamiento global en consonancia con el cambio climático.
- Disminución del efecto de menoscabo de la capa de ozono (González, 2015) ^[15].

Otros impactos positivos que genera el uso de esta fuente de energía renovable es el corto tiempo de su instalación, su bajo costo, su nulo mantenimiento, la seguridad de manipulación ya que funciona automáticamente, sin necesidad de conectarlos a un interruptor; además, de que se descarta posibilidad alguna de que se presenten dificultades por cortes eléctricos (González, 2015) ^[15].

También es de considerar el hecho de que este tipo de lámpara no se calienta, aminorando las temperaturas internas de su lugar de ubicación, en comparación con los bombillos eléctricos que si generan calefacción dentro de un local.

A grosso modo, la alternativa ecológica implementada convoca al ahorro energético en la generación de energía eléctrica dado que recicla residuos contaminantes como los materiales a base de PET que van directamente medio ambiente, provocando daños al mismo de diferentes índoles.

Es importante resaltar, que ante la reutilización de desechos, se evita:

- Contaminación del agua y del suelo.
- Desarrollo socio-económico para la sostenibilidad local.
- Ahorro en la gestión de insumos materiales para la innovación y creación de productos como son las lámparas solares.

Finalmente, alternativas como estas, promueven la integración social de la comunidad al hacerse sus habitantes partícipes en el emprendimiento de autogestión, que a fines comunes, genera un beneficio para la mejora de su calidad de vida, en cuanto a la disposición de iluminación para poder alumbrar permanentemente su vivienda y facilitar hacer sus quehaceres, a partir de energía limpia y económica, donde este último aspecto se verá reflejado en su factura de pago.

IV. DISCUSIÓN

Al implementar las bombillas solares diurnas elaboradas con botellas PET, fue conveniente acondicionarlas para su inserción en la lámina de zinc previamente perforada, para después de su ubicación en el agujero realizado ajustarlo al mismo con pegamento, y posterior a ello empotrarlos al techo con la fijación de la lámina de Zinc auxiliar. Esto coincide con el método aplicado por Duarte (2020) ^[12], quien

usó un procedimiento metódico y sistemático en su investigación, en el cual detalló los materiales a utilizar para elaborar la bombilla de luz con la botella PET, así como el proceso para limpiarla, para perforar la lámina y acondicionar el agujero para insertar la botella, pegarla y sellarla, y agregarle el líquido de agua y cloro. Posteriormente para implementarla en el propio techo. Una vez dado estos pasos, se instaló en otra botella un bombillo LED, se le instaló un circuito para ser conectado al panel solar que iba a proveer a lámpara de energía en las noches.

Jean *et. al*, (2016) ^[6], señala que en este tipo de proyectos de iluminación solar la mayor ventaja se aprecia en que la obtención de los materiales se maneja fácilmente, dado que las botellas de plástico reutilizadas, y no requieren recursos adicionales para la fabricación. Las botellas de poli-etilentereftalato en cualquiera de sus versiones de 1,5 a 2 litros desechadas son las protagonistas del proceso, y lo mejor es el hecho de reutilización para aplicarlo a este sistema de iluminación solar, a la vez que se contribuye con la disminución del problema de contaminación por desechos sólidos.

Asimismo, Cuzco (2016) ^[13], expresa que la instalación de paneles solares juega un gran papel como fuente de energía fotovoltaica, y que es muy interesante por su forma de emitir energía limpia y renovable, de manera directa e impecable, por lo que este método de producción energética se manifiesta como una de las mejores opciones para generar electricidad, sin contar las innumerables ventajas que conlleva su uso, tales como ahorro de dinero, de recursos de instalación, accesibilidad y disponibilidad.

Por su parte, Olivera (2016) ^[8], comenta que se disminuirá el volumen de inconvenientes y accidentes que normalmente se presentan cuando se manipulan bombillos anclados a circuitos y conexiones eléctricas, es decir, se reducirán los riesgos y peligros por manipulación eléctrica a nivel doméstico, que es una de las mayores causas de accidentes en el hogar y comercios; además que se le dará uso a los desechos que de una forma u otra también causan los principales problemas de obstrucción en alcantarillados y desagües de aguas residuales..

De acuerdo a los resultados obtenidos *antes* y *después* de implementada la iluminación solar como alternativa de ecológica para la conservación energética se pudo comprobar que un ahorro energético de 55%, lo que se traduce en esa misma proporción en el ahorro de costos para el consumidor, y en la emisión de CO₂ como gases de efecto invernadero. Al respecto, Couret (2015) ^[1], afirma que las fuentes de iluminación alimentadas con energía solar son una solución viable a los inconvenientes por carencia de luz en zonas donde hay limitaciones para tener acceso a la electricidad, y sobre todo donde hay

poblaciones de bajos estratos, y resalta la pobreza, ya que son de gran ayuda para reducir los costos de adquisición e instalación.

Con la ejecución masiva de lámparas solares con botellas PET en la comunidad en estudio, se espera una reducción aproximada de 190.193,45 Toneladas al año de emisión de CO₂, así como de 1,6 Kg de CO₂ anual por cada bombilla instalada. Duarte (2020) ^[12], destaca que la alternativa propuesta basada en el proyecto “Un Litro de Luz”, conduce a un propósito con cero emisiones de carbono con respecto a la utilización y disposición de la iluminación eléctrica o de combustión de hidrocarburos como son las lámparas de kerosene y gas.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados se puede decir que la investigación si cumple con el objetivo, ya que con la implementación de la bombilla solar como alternativa ecológica se comprobó un ahorro energético de 55% y con esta se espera reducir aproximadamente 190.193,45 toneladas de emisión de CO₂, Asimismo, teniendo presente el principio de “conservación energética”; en cuanto al ahorro de energía eléctrica y emisiones de gases de efecto invernadero que puede obtenerse a partir de la reducción del consumo eléctrico, proporcionando confort y la calidad de vida a poblaciones de bajos recursos económicos con la implementación de la bombilla solar como alternativa ecológica, se observó, que los dispositivos de iluminación implementados e instalados brindaron un alto rendimiento lumínico sin empleo de electricidad, y el que dependía de la energía eléctrica, con el panel solar se pudo suplir su carga con un elevado nivel de eficacia al funcionar por 10 horas. Este contexto, ubica la estrategia aplicada como viable para la puesta en marcha de proyectos de amplio alcance para la obtención de alumbrado óptimo de tipo doméstico y público.

Así, ante la escasez del suministro eléctrico en poblaciones de extrema pobreza donde además tienen limitantes para pagar altas tarifas por consumo eléctrico, resulta conveniente fortalecer estrategias de uso de energías renovables proporcionadas por la luz solar, ya que evita altos niveles de contaminación por CO₂, que es la principal contradicción ante la conservación energética.

Es recomendable pues, considerar esta propuesta como alternativa ecológica y desarrollo sostenible en comunidades de bajos recursos, ya que con cada lámpara de luz de día ahorra 1,6 kilos anuales de emisiones de carbono, que comparativamente con una lámpara de kerosene que emite 20 veces más carbono negro, que es un agente de absorción de luz solar muy

potente, mucho más que el dióxido de carbono (González, 2015) ^[15].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Couret, D. G. (2015). *Las energías renovables al servicio de la humanidad Renewable Energies in the service of mankind*. Arquitectura y Urbanismo, XXXVI (1), 93–98. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100008.
2. Mansilla, L. y Ruiz, M. (2009). *Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster*. Ingeniería Industrial, núm. 27, 2009, pp. 123-137. Universidad de Lima, Lima, Perú. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428493008>.
3. Duart Belloque, V. (2007). *Eficiencia y ahorro energético: contribución del sector de las tecnologías de la información*. I(13), 116–126.
4. Heredia, H. (2011). *El Cambio Climático Y Los Determinantes Sociales De La Salud Desde La Perspectiva De La Equidad*. Comunidad y Salud, 9(2), 58–65.
5. Rico, R., & Hidalgo, G. (2008). *El futuro de los energéticos en la globalización*. Análisis Económico, XXIII (54), 305–327.
6. Jean, P., & Jessica, L. (2016). *Energías Renovables y medio ambiente su regulación jurídica en Ecuador*. Revista Científica Universidad y Sociedad, 8, 150.
7. García, J, y García, G. (2020). *Implementation of a lighting system with solar panels in a Pereira neighborhood as part of an ABP classroom Project*. Avances y perspectivas de la ingeniería. (pp.23-33). Colombia ISBN: 978-958-8859-60-6 ed: Universidad Libre Colombia , v. , p.23 - 33 1 , 2020.
8. Olivera, F. A. (2016). *Diseño de una red de Recolección de botellas PET en Lima*. 2. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7599>.
9. Garcia, G. (2019). *Evaluación de los determinantes de pérdida de bosques, crecimiento urbano, demanda eléctrica y producción de energía eléctrica en el Perú, periodo 2000-2016*. Tesis de Grado Doctoral no publicada. Gestión Ambiental Empresarial. Universidad San Ignacio de Loyola. Perú.
10. Cristan, A., Ize, I., & Gavilan, A. (2003). *La situación de los envases de plástico en México*. Gazeta Ecológica, 69, 67–82.
11. World Habitat Awards (2020). *Un Litro de Luz: Iluminando Hogares y Vidas, Una Botella a la Vez*. [https://world-habitat.org/wp-](https://world-habitat.org/wp-content/uploads/2016/11/A4-Liter-of-Lite-Report-Oct16-Esp-v2.pdf)
12. Duarte León, M. P. (2020). *Diseño y fabricación de bombillos Led ecológicos a partir del reciclado del tereftalato de polietileno (pet)*. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Industrial. Bogotá, Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/25327>.
13. Cuzco, G., Carabalí, J. y Montes, J. (2016). *Estudio e implementación de un sistema de comunicación para la tele-gestión de medidores eléctricos basado en pl^t*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
14. Comisión Interdepartamental del Cambio Climático (2011). *Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. Versión 2011. Cataluña, España: CICC. <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
15. González, R. (2015). *Eficiencia energética por la utilización de componentes de conducción de luz natural en clima cálido-húmedo saber*. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, vol. 27, núm. pp. 573-585. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427744808008>
16. Garcia Fajardo, M. I., & Florez Marulanda, J. F. (14 de julio de 2016). *Guia de estudio del potencial de ahorro electrico*. Gerencia Tecnologica Informatica, 15. Recuperado el 12 de mayo de 2021, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/6257/6463>