

Energy efficiency in Catholic University Azogues Campus, a technical-economical implementation approach based on solar energy

Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico – económico basado en energía solar

D. P. Romo¹D.X. Morales²¹Jefatura de Posgrados, Universidad Católica, Cuenca, Ecuador

E-mail: daniela.romo@est.ucacue.edu.ec

²Universidad Católica, Cuenca, Ecuador

E-mail: dmoralesj@ucacue.edu.ec

Abstract

Currently, the consumption of electrical energy in Ecuador is supplied by 78.89% from renewable sources and 21.08% from non-renewable sources, the production and consumption of energy are the main causes of greenhouse gas emissions (GHG). This article analyzes the energy consumption of each of the buildings on the campus of the Catholic University Azogues Campus, energy efficiency proposals are presented to reduce energy consumption. After a detailed analysis of the electric load present in the institution, a monthly consumption of 35,890 kWh is recorded, which was considered high compared to the consumption of other higher education institutes with similar characteristics in the city, it can be seen that the Monthly invoiced demand does not present significant changes to reduce energy consumption, as there are no policies that promote energy saving and efficient use. The estimation of the maximum demand was made, the energy consumed for the different buildings of the Campus as well as sustainable energy saving measures are evaluated, techniques that optimize energy consumption. As an efficiency proposal, the change of technology in the existing luminaires was considered, as well as the use of photovoltaic solar energy, a theoretical reduction of 15 572,99 Ton of CO₂ per year was estimated, thus making the proposal economically viable through CDM projects (Clean Development Mechanism) In addition, the viability of it was analyzed against Arconel Regulation 003/18.

Index terms— Monthly consumption, energy efficiency, renewable energy, photovoltaic system, solar radiation.

Resumen

Actualmente el consumo de energía eléctrica en el Ecuador es abastecido en un 78.89% por fuentes renovables y el 21.08% de fuentes no renovables, la producción y el consumo de energía son las principales causas de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el presente artículo se analiza el consumo de energía de cada uno de los edificios del campus de la Universidad Católica sede Azogues, se presentan propuestas de eficiencia energética para disminuir el consumo de energía. Después de un análisis detallado de la carga eléctrica presente en la institución se registra un consumo mensual de 35 890 kWh, el cual se consideró elevado con respecto al consumo de otros institutos de educación superior de similares características de la ciudad, se puede evidenciar que la demanda facturada mensual no presenta cambios significativos para la reducción del consumo energético, al no existir políticas que impulsen ahorro y uso eficiente de energía. Se realizó la estimación de la demanda máxima, la energía consumida para los diferentes edificios del Campus igual que se evalúan medidas de ahorro energético sustentables, técnicas que lleguen a optimizar el consumo de energía. Como propuesta de eficiencia se consideró el cambio de tecnología en las luminarias existentes, así como el uso de energía solar fotovoltaica, se estimó una reducción teórica de 15 572,99 Ton de CO₂ al año logrando así que la propuesta sea viable económicamente a través de proyectos MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio). Además, se analizó la viabilidad del mismo frente a la Regulación del Arconel 003/18.

Palabras clave— Consumo mensual, Eficiencia energética, energías renovables, sistema fotovoltaico, radiación solar.

Recibido: 01-10-2020, Aprobado tras revisión: 11-01-2021

Forma sugerida de citación: Romo, D.; Morales, D. (2021). “Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico – económico basado en energía solar”. Revista Técnica “energía”. No. 17, Issue II, Pp. 44-54

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2021 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo se enfrenta a una crisis medio ambiental debido al efecto invernadero ocasionado por la liberación de diferentes gases a la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono (CO₂). Este hecho es asociado directamente al sector energético debido a la demanda de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo) que se utilizan para la generación de energía de forma tradicional [1].

En América latina, para mitigar los efectos negativos producidos por el consumo de energía se emplean políticas que fomentan la eficiencia energética y el cambio de las sociedades hacia modelos que promuevan la eficiencia energética [2]. Desde hace 7 años en el Ecuador se priorizo por parte de Estado planes y programas para poder desarrollar políticas sobre cómo gestionar eficazmente la energía, y esto servirá de ayuda en este caso particular para nuestro sector de estudio que es la academia [3].

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica es considerada como una fuente de energía renovable, inagotable y limpia, esta energía transforma la luz solar en electricidad mediante la utilización de celdas solares. El principio de funcionamiento de estas celdas solares depende de la radiación incidente que, provoca una diferencia de potencial, es decir los electrones que están presentes empiecen a circular de un lugar a otro para que esta manera se genere una corriente eléctrica [4].

Este tipo de energía renovable permite generar electricidad para satisfacer la demanda energética sea para lugares donde no existe una red eléctrica que son conocidos como sistemas fotovoltaicos autónomos o para generar energía y aportar a la red y a estos sistemas se los denomina sistemas conectados a la red [5]. El interés del estudio radica en el elevado consumo de energía en centros educativos; el uso desmedido de energía, y la ausencia de políticas energéticas que redunden en mayores beneficios.

2. Metodología

La propuesta metodológica se sustenta en la determinación de consumos históricos mensuales y diarios de la Universidad Católica. Se identificó los equipos eléctricos que representan un mayor consumo, al igual que la iluminación de cada uno de los edificios del campus.

El cálculo de la potencia instalada se realizó para los sistemas de iluminación, de climatización y equipos de fuerza; dentro de los equipos de fuerza se consideran computadoras, equipos de laboratorio, impresoras. Este consumo se estimó en base al perfil de uso, es decir, según el horario que se ocupa cada aula, oficina y pasillo al igual que el funcionamiento de los equipos del edificio.

Para los sistemas de iluminación y fuerza se realizó el inventario de luminarias que están instaladas en los

diferentes edificios del campus universitario, diferenciando cada uno de ellos por su uso y características técnicas. Para los sistemas de climatización, únicamente se considera las especificaciones técnicas del fabricante y a partir de una potencia nominal y horas de uso se calcula la potencia instalada.

El mayor consumo en iluminación se origina en el edificio central, siendo este el objeto de análisis. En la edificación se cumple un horario académico de 15 horas, a diferencia de los otros establecimientos.

En la Fig. 1 se puede observar el campus universitario, el cual está distribuido de la siguiente manera: Edificio Central, Edificio de la Facultad de Medicina, Paraninfo, Laboratorio de Suelos, Cafetería, Biblioteca.



Figura 1: Campus de la Universidad Católica de Azuaga Fuente (Google Earth)

Se procedió a la revisión de la potencia de cada uno de los equipos para así determinar el consumo diario y mensual de los mismos.

La información de la radiación solar, del presente estudio se obtuvo del software Meeonorm [6].

Para el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica; se evaluó áreas donde el consumo de energía es mayor, además se realizó el cálculo de la cantidad de paneles necesarios para alimentar el consumo según los meses más críticos. También se seleccionó los equipos necesarios como inversores para el funcionamiento de la instalación.

A continuación, se estructuró la línea base sobre la cual se trabajará para alternativas de mayor eficiencia eléctrica y finalmente se realizó la propuesta de diseño fotovoltaico con los consumos diarios obtenidos para el edificio central del campus universitario.

2.1. Eficiencia Energética

La Eficiencia energética hace referencia al consumo inteligente de la energía, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía, es una de las políticas

que llevan a mejorar el medio ambiente el uso y ahorro de energía [7].

Eficiencia Energética de edificaciones

Para disminuir el consumo es necesario la gestión eficiente de energía que debe estar incluida en los objetivos de la administración. Esto no solo ayuda a disminuir el impacto ambiental, sino que también mejora la relación costo-beneficio para la economía del mismo[8].

Para lograr la eficiencia energética, se fijan planes para disminuir el consumo de energía sin reducir los servicios y mantener el mismo nivel de prestaciones, haciendo un uso de los recursos sostenible y responsable. Una alternativa para una mejor eficiencia en una edificación es el uso de energías no convencionales, energías limpias como lo es la energía solar a través de sistemas fotovoltaicos, que permiten generar electricidad utilizando un recurso inagotable como lo es el sol por medio de la radiación solar, esto permitirá reducir el consumo en edificios como objetivo primario[9].

2.2. Radiación solar

Los valores de radiación solar fueron obtenidos de software Meteonorm como se muestra en la Fig. 2.

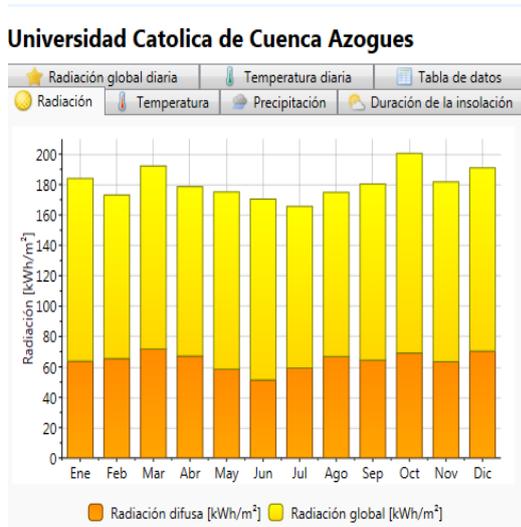


Figura 2: Radiación Global [10]

La mayor parte de la radiación es absorbida por la superficie terrestre. La radiación solar se divide en radiación global directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. Para el presente estudio se utilizó la radiación global directa.

2.3. Componentes del sistema fotovoltaico

Para este diseño se consideró los siguientes componentes:

2.3.1 Panel Fotovoltaico

El panel solar que se determinó en este diseño es un poli cristalino de la marca Sunpower con una potencia de 355 W, en la tabla 1 se puede observar las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico [11].

Tabla 1: Especificaciones Técnicas del panel

Módulo SPR-P17-355-Com Sunpower	
Potencia	355 W
Imp	8,18A
Vmp	43,4 V
Isc	8,68 A
Vsc	51,9 V

2.3.2 Inversor de conexión a red

Los inversores desempeñan un papel importante en un diseño fotovoltaico, para este proyecto se consideró de la marca *GP Tech*, en la tabla 2 se muestra las especificaciones técnicas [12].

El inversor se encarga de transformar la corriente continua que genera el módulo fotovoltaico en corriente alterna, el rendimiento depende de la potencia de la instalación.

Tabla 2: Especificaciones Técnicas del inversor

Inversor GP Tech PV 15S	
Entrada DC	
Rango de tensiones MPPT	220-500 Vdc
Máxima tensión	600 Vdc
Máxima corriente	45 A
Máxima potencia fotovoltaica recomendada	18kW
Salida AC	
Tensión de salida	220 Vac trifásica
Potencia nominal	15kW
Corriente máxima	39 A
Eficiencia máxima	97%

2.3.3 Baterías

En los sistemas fotovoltaicos la función más importante de las baterías es el almacenamiento, de este modo la energía que es producida en horas de sol se puede utilizar durante la noche o cuando no se disponga de la radiación solar suficiente para generar energía, por lo general el tipo de baterías más empleado en estos sistemas son las de descarga profunda, en la actualidad existen diferentes variedades de baterías en el mercado siendo las más eficientes las baterías de Litio y las baterías de gel. La capacidad (Ah) de almacenamiento de las baterías se calcula en función a los consumos y al número de días de autonomía del sistema.

La profundidad de descarga (DOD) de una batería es el máximo porcentaje de su capacidad a plena carga[5].

En la tabla 3 se observa la batería utilizada para el diseño [13].

Tabla 3: Especificaciones Técnicas de la batería

Tensite Gel 12	
Voltaje nominal	12 V
Capacidad descarga	90%
Capacidad de almacenamiento	300 Ah

2.3.4 Inversor cargador

La función principal de un inversor cargador es de verificar la tensión de las baterías y determinar si es necesario la carga de las mismas.

2.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En la tabla 4 se puede evidenciar el consumo del campus universitario en la actualidad, el mismo que indica que el 71% de consumo está destinado para equipos eléctricos y un 29% para iluminación.

Tabla 4: Calculo del Consumo Mensual de Energía

Consumo Equipos (kWh/mes)	Consumo Luminarias (kWh/mes)
11 284,5	4 715,3

El cálculo de número de módulos fotovoltaicos se realiza tomando como referencia [14] y se expresa con la siguiente formula:

$$Num\ de\ módulos = \frac{Demanda\ maxima\ diaria}{HSP * Potencia\ módulos} \quad (1)$$

Donde HSP representa la hora solar pico.

Para determinar la inclinación de los paneles se basó en [15] que se representa en la ecuación (2).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69\Phi \quad (2)$$

Donde

β_{opt} es el ángulo de inclinación óptimo.

Φ es la latitud de la instalación fotovoltaica.

La distancia entre los módulos está definida por (3), en el Ecuador al tener una latitud de 0 a 5 grados la inclinación del panel se debe considerar de 5 a 10 grados [16].

$$d = \frac{l \sin \beta}{\tan \gamma_{min}} + l \cos \beta \quad (3)$$

γ_{min} es el ángulo de elevación solar que como norma general para pérdidas de 2 a 3 % se considera de 18- 20 °

l es la longitud del panel.

Para determinar el número de inversores, se debe conocer la potencia nominal del arreglo fotovoltaico y seleccionar un inversor o un grupo de inversores, que sean capaces de cubrir la misma cantidad de potencia.

$$Num\ inversores = \frac{Potencia\ SFV}{NumMódulos * Potencia\ panel} \quad (4)$$

El número de paneles por inversor se calcula con la ecuación 5.

$$Npaneles\ por\ inversor = \frac{Potencia\ del\ inversor}{potencia\ del\ modulo\ FV} \quad (5)$$

El inversor cargador para este tipo de diseño es la marca *Victron Energy* modelo *Quatro48/15000*, según las especificaciones técnicas tiene una capacidad de 12000W.

La batería que se seleccionó es de la marca Tensite Gel con una capacidad de almacenamiento de 300 Ah y tensión nominal de 12 V.

Para realizar el cálculo del número de baterías se utilizó la expresión tomada de [17], es necesario conocer la capacidad total de almacenamiento del sistema para ello se utiliza la ecuación 6.

$$Capacidad\ almacenamiento = \frac{Ed * Da}{DOD} \quad (6)$$

Ed es la energía diaria

Da son los días de autonomía

DOD profundidad de descarga para la batería seleccionada es del 90%

La ecuación 7 muestra el proceso de cálculo del número de baterías.

$$Num\ baterias = \frac{CA\ (Wh)}{Ah * Vb} \quad (7)$$

Ah es la capacidad de almacenamiento

Vb es el voltaje de la batería

3. Resultados

Para determinar el consumo diario y mensual del campus universitario se realizó el levantamiento de los equipos y luminarias que se encuentran en funcionamiento a determinadas horas.

La iluminación de los edificios está basada principalmente en lámparas fluorescentes T8-TF-120mm.

En el edificio de análisis el porcentaje con mayor potencia instalada en iluminación es para aulas como se puede observar en la Fig. 3.

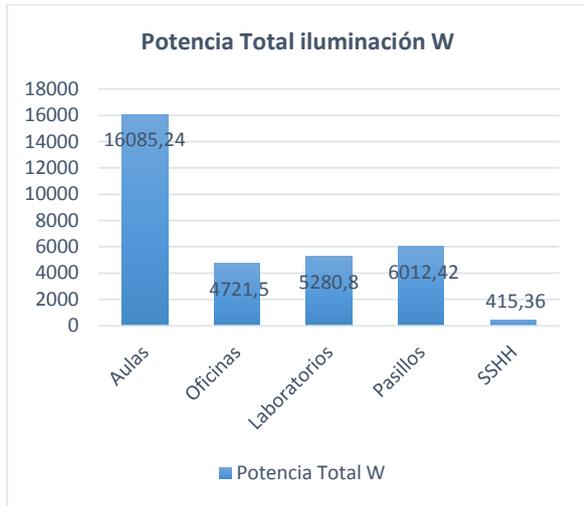


Figura 3: Potencia instalada en iluminación

Los resultados obtenidos del cálculo de la energía al realizar el inventario de los equipos y luminarias son similares en un 93 % a los consumos facturados por la Empresa distribuidora, en la Fig. 4 y Fig. 5 se puede observar el consumo histórico mensual del año 2019 que presenta la distribuidora.

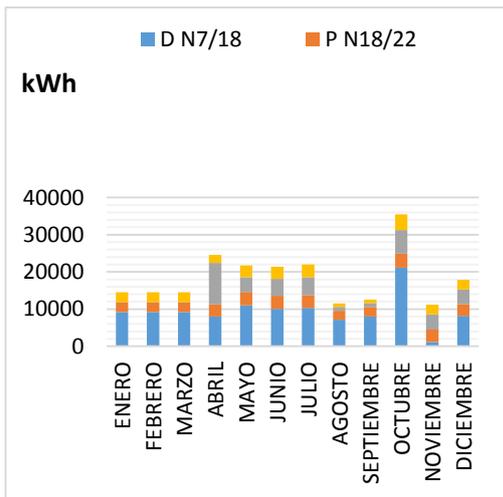


Figura 4: Consumos históricos energía activa

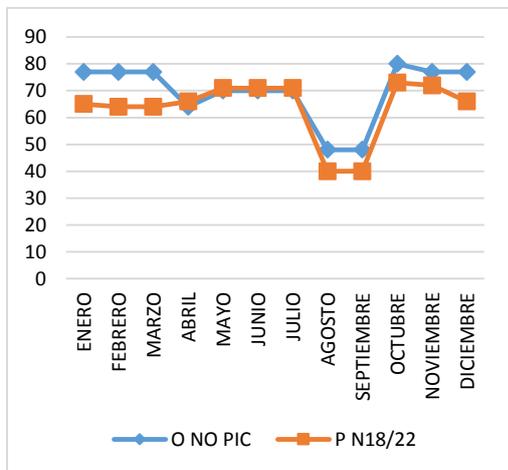


Figura 5: Consumos históricos demanda

El campus universitario dispone de un contador de energía con tarifa comercial y registrador de demanda horaria, que se encuentra establecido según el pliego tarifario, este contador registra las diferentes lecturas en cada una de sus variables; según el horario el costo de la energía varia. La empresa distribuidora realiza la facturación mensual en base a las lecturas tomadas del contador que dispone el campus universitario, teniendo como referencia las siguientes variables: (ADN, APN, ATN) representa la energía activa. Registra un consumo de demanda no pico y demanda en el rango horario de 18:00 a 22:00 pm, y la energía reactiva RN como se muestra en la Tabla 5 la facturación realizada del mes de consumo Julio 2019.

Tabla 5: Facturación mes de consumo Julio

Tarifa comercial baja tensión con demanda horaria			Lecturas tomadas	Consumos facturados
A activa	D N7/18	kWh	332 326	10 353
A activa	P N18/22	kWh	578 309	3 435
A activa	T N22/7	kWh	388 603	4 743
D demanda	O NO PIC	kWh	69	70
D demanda	P N18/22	kWh	70	71
R reactiva	NNORMAL	kVar	500 511	3 426

ADN 7/18 es la variable del contador que registra el consumo que presenta en las horas de 7 am a 18:00pm, APN 18/22 registra el consumo de las 18:00 a las 22:00, ATN es el consumo a partir de las 22:00 a 7:00 y finalmente se registra un consumo de energía reactiva (N).

Se puede evidenciar que el personal administrativo, docentes y alumnos no llevan una política de ahorro de energía, el uso desmedido de energía ocasiona el incremento en las planillas eléctricas. Se considera que este consumo es desmedido ya que la Universidad Católica presenta un consumo superior al Instituto Superior Luis Rogelio González de la ciudad de Azogues, en la Fig. 6 se puede observar los consumos correspondientes al mes de junio de los dos establecimientos educativos.

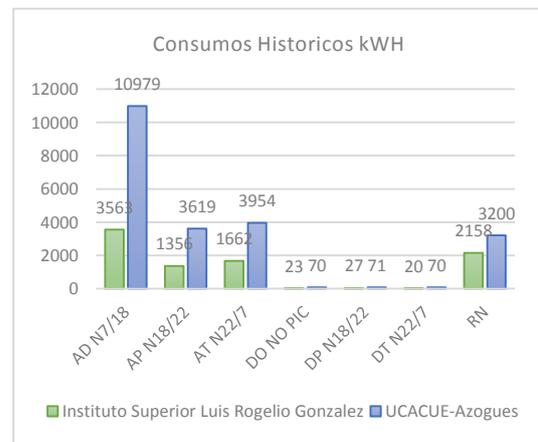


Figura 6: Comparación de consumos mes facturado junio



El consumo anual en iluminación del edificio analizado se encuentra alrededor de 45 349,45 kWh, la demanda máxima diaria es de 217,2 kWh, mientras la potencia instalada es de 31,77 kW.

Una vez identificado los parámetros como la potencia máxima y el consumo de energía anual, mensual y diario, se expresan los resultados de la propuesta de diseño fotovoltaico.

3.1. Análisis de la radiación solar en el Campus universitario

Para el análisis es necesario trabajar con el mes de menor radiación teniendo como resultado el mes de julio con una radiación mensual de 161 kWh/m².

Se determinó que la hora solar pico (HSP) para nuestro caso de estudio es igual 4,39 horas.

3.2. Selección de los módulos fotovoltaicos

Al aplicar la ecuación (1) se obtiene que el número necesario de módulos fotovoltaicos es de 140.

La potencia instalada en módulos fotovoltaicos será 49,7 kW.

3.2.1. Inclinación de los paneles

La inclinación de los paneles aplicando (2) es 5,59°.

Es recomendable alejarse 10° del ángulo óptimo para obtener pérdidas del 1% por lo tanto la inclinación de los paneles será 15,59°.

La distancia entre los módulos es de 1,78 m.

3.2.2. Selección del inversor de red

La cantidad de inversores necesarios son 4 conectados en paralelo, para prevenir en el caso que uno de ellos falle. El número de paneles por inversor se calcula con la ecuación 4.

En total se necesita 42 paneles por inversor, para no sobrecargar a los inversores se considera que las conexiones en serie no sean superiores a la tensión de circuito abierto del lado de corriente continua, se distribuye para cada inversor un total de 35 paneles, que están divididos en 5 grupos conectados en paralelo de 7 paneles en serie.

3.2.3. Selección del inversor cargador

El número de inversores cargadores se determina con la potencia instalada en el arreglo fotovoltaico y la potencia del inversor dando como resultado que son necesarios 4 inversores.

3.2.4. Selección de las baterías

Aplicando la ecuación 6 se calcula la capacidad de almacenamiento de la batería siendo esta de 241,31 kWh.

La ecuación 7 muestra el proceso de cálculo del

número de baterías siendo necesarias para este dimensionamiento de 64.

Las baterías son distribuidas en 16 grupos cada uno con 4 baterías cumpliendo cada grupo los 48 Vdc al inversor cargador.

3.3. Medidas de eficiencia energética

Entre las medidas de eficiencia se puede adoptar la instalación de sensores de movimiento para pasillos y en aulas el uso de sensores de presencia, aprovechar la luz solar.

Otra propuesta es el cambio de luminarias del edificio principal ya que existe aún lámparas fluorescentes que incrementan el consumo, y con esta nueva línea base se realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Se realiza los respectivos cálculos de la potencia con iluminación Led, y se puede verificar que la potencia disminuye.

En la tabla 3 se puede observar que, al cambiar a tecnologías más eficientes se reduce significativamente el consumo eléctrico.

Tabla 3: Consumos con luminaria LED

Consumo Anual (kWh)	Consumo Diario (kWh)	Potencia Instalada (kW)
31 322,44	149,6	21,58

3.3.1. Diseño fotovoltaico

Con los nuevos datos se procede a realizar el cálculo, utilizando los equipos y las ecuaciones de la sección 2.4.

Aplicando la ecuación (1) se obtiene que el número de módulos necesarios es de 96.

El edificio central tiene un área de cubierta de 861 m², la distribución de los paneles se realizará como se muestra en la Fig. 7. En la parte lateral derecha del edificio se instalarán 28 paneles distribuidos en 4 filas de 7 paneles cada fila.

En la parte central se colocarán 48 paneles distribuidos en 4 filas de 12 paneles cada fila y finalmente en la parte lateral izquierda se colocará 20 paneles distribuidos en 3 filas de 7 paneles cada fila. El área total de la instalación es de 715 m².



Figura 7. Distribución de los paneles edificio central

La potencia instalada en el arreglo fotovoltaico es de 34.08 kW.

El número de paneles por inversor se calcula con la ecuación (5) obteniendo como resultado 42 paneles por inversor. Se considera 3 inversores, con 32 paneles cada uno.

Para el cálculo de las baterías se tiene que partir de la capacidad de almacenamiento aplicando la ecuación 6 de la sección 2.4 se obtiene 166,27 kWh.

Utilizando (7) se determina el número de baterías necesarias siendo estas 44 baterías. La distribución de las baterías será de la siguiente manera 11 grupos de 4 baterías cada grupo.

4. Discusión

4.1. Análisis de los resultados.

En la Fig. 8 se puede evidenciar que, al aplicar el cambio de luminarias a led como medida de eficiencia energética, se reduce significativamente el consumo eléctrico del edificio central. Las barras de color azul corresponden al estado actual del campus universitario.

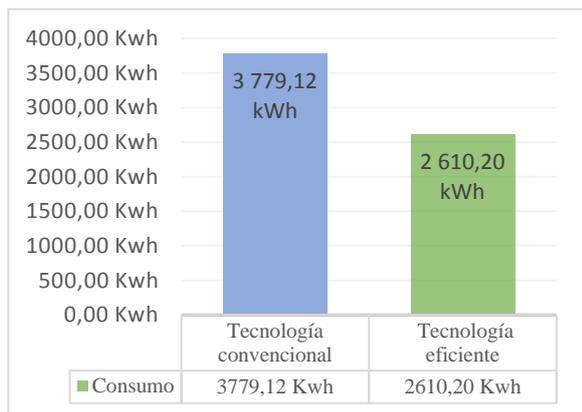


Figura 8. Comparativa de la tecnología convencional con la tecnología eficiente

4.2. Análisis técnico, económico y ambiental

Como herramienta para este análisis se utilizó el método payback para determinar el tiempo de recuperación de la inversión de un proyecto.

Se presentan tres escenarios para realizar este análisis.

Cambio de luminarias a tecnología eficiente led

En la tabla 4 se puede observar el presupuesto que implica cambiar a tecnología led y el periodo de recuperación de la inversión.

Presupuesto luminarias led	
Costo de la inversión	\$885,65
Ahorro anual	\$2 104,06
Periodo de retorno	5 meses

Implementación del sistema fotovoltaico

Para determinar el presupuesto del sistema se obtiene los datos referenciales de proyectos fotovoltaicos realizados [14].

Para calcular el periodo de retorno se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Costo inversión}}{\text{ahorro anual}} \quad (8)$$

La inversión necesaria para este proyecto basado en energías renovables y cambio a luminarias led está alrededor de los USD \$58 448,4 dólares americanos, el ahorro anual utilizando tecnología led es de \$ 2 104,06.

El periodo de retorno al implementar el sistema fotovoltaico es de 27 años, lo cual no resulta viable desde el punto de vista económico.

En la Tabla 5 se puede observar cada uno de los rubros del sistema fotovoltaico.

Tabla 5: Inversión del sistema fotovoltaico
Presupuesto Sistema Fotovoltaico

Ítem	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario \$ incluye IVA	Total \$
1	Panel fotovoltaico Sunpower SPR-P17-355-COM	96	82,50	7 920,0
2	Inversor Gptech	3	4 500,72	13 502,1
3	Batería Tensite 12v 300Ah	44	380,00	16 720,0
4	Inversor Cargador Victron Quatro 48/15000,12 kW	3	4 370,00	13 110,0
5	Estructura de acero	1	1 988,59	1 988,59
6	Instalación(eléctrica,cableado,cuadro, protecciones)	1	2 803,82	2 803,82
7	Montaje (mano de obra)	1	1 518,14	1 518,14
8	Costo del cambio de luminarias	1	885,65	885,65
Costo total			58 448,36	



Viabilidad ambiental Mecanismos de Desarrollo limpio

Es importante dentro de estudios de eficiencia energética y el uso de energías renovables el conocer la viabilidad medioambiental.

La demanda energética anual del edificio central es de 45 349,44 kWh de acuerdo a la generación térmica de energía del SNI [18] y el factor de emisiones de CO₂ en el Ecuador este valor alcanza los 0,3434 tonCO₂/kWh [19].

Ahora bien, si se implementara esta medida de eficiencia energética las toneladas de CO₂ al año que se evitan son 15 572,99.

Las toneladas que se evita emitir pueden ser financiadas por empresas internacionales, mediante mercados de carbono, que puede ser tratado como un proyecto (MDL) Mecanismo de Desarrollo limpio. El objetivo principal de los MDL es invertir en proyectos que sean sostenibles y que den lugar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, los países desarrollados acreditan y enfocan la implementación de este tipo de proyectos a los países en vías de desarrollo [20]. Los mercados de carbono tienen diferentes precios de la reducción de emisiones certificadas, para este análisis se tomó como referencia los precios del Sistema Europeo de negociación de CO₂ [21]; el mismo que presenta un valor anual para las toneladas de CO₂ de 0,31€ que representa \$0,37 de dólares norteamericanos. El precio de ahorro anual es de \$5 762.

Utilizando la ecuación 8 se determinó el tiempo de recuperación de la inversión desde el punto de vista ambiental como proyecto MDL dando como resultado el tiempo de retorno de 10 años.

Es importante también considerar los criterios descritos en la Guía Ecuatoriana [22] que califica como elegibles bajo MDL a proyectos que promuevan la eficiencia energética, generación basada en fuentes renovables como instalaciones fotovoltaicas, reemplazo de equipos con tecnologías más eficientes, con el fin que se pueda aplicar una estrategia para cumplir con los objetivos planteados del presente estudio.

Por otro lado, si el caso de estudio se analiza en base a la regulación vigente del Arconel 003/18 [23], es importante conocer los siguientes parámetros como son: la tarifa del cliente regulado, facturación mensual y anual del servicio eléctrico y determinar si es viable cumpliendo las observaciones de la regulación.

La tarifa que presenta el cliente es Comercial con demanda horaria, siendo esta rentable debido al costo del kWh de acuerdo al rango horario.

La empresa distribuidora factura mensualmente a la Universidad Católica un valor promedio de \$2 474,88 y anualmente \$ 25 552,9 dólares norteamericanos.

En la tabla 6 se presenta el análisis de flujo del capital, si la Universidad Católica financia la inversión al 100% se obtiene el TIR del 17%. La regulación aprueba estos proyectos para un tiempo de 20 años, si se considera el costo que cancela anualmente el Campus por energía, el tiempo de recuperación de inversión es 2 años 3 mes y a partir del año 3 se dispone de un ahorro de energía.

Tabla 6: Inversión del sistema fotovoltaico

FLUJO DE CAPITAL (USD)			
100% Financiamiento			
Inversión	Año 1	Año 2	Año 3
(USD)	(USD)	(USD)	(USD)
58 448,36	25 552,9	25 552,9	7 424,64
	Factura EEA	Factura EEA	Factura EEA

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de iluminación del edificio central tiene durante varias horas del día encendida las luminarias en varias zonas, el mayor consumo representa en aulas un 49 % dando lugar a un incremento en la factura eléctrica mensual, para ello es necesario realizar el cambio de luminarias a tecnología led, obteniendo como beneficio el periodo de recuperación de inversión y además tomando como medida de eficiencia energética para calificar como un proyecto MDL.

Es necesario también considerar los criterios de la regulación ARCONEL 003/18 de Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales, la misma que establece lineamientos para la implementación de este tipo de proyectos englobando múltiples beneficios ambientales y técnicos.

Dentro de las ventajas de la generación fotovoltaica, es el mantenimiento ya que no es intensivo, la reducción de pérdidas en el sistema eléctrico, los incentivos que presenta la aplicación de Net Metering.

La viabilidad del proyecto está ligada directamente con la tarifa que el consumidor dispone en la empresa distribuidora. Una de las barreras que el Ecuador presenta para la integración de sistemas fotovoltaicos es el subsidio en las tarifas de servicio eléctrico.

Es importante concientizar a todo el personal el uso responsable de las instalaciones esta medida resulta conveniente ya que no requiere ninguna inversión para lograr un consumo responsable.

No hay limitantes para que el proyecto sea MDL sin embargo los factores a tomar en cuenta son las actividades y emisiones que se deberán incluir en la Línea Base y, por otro lado, las actividades y las emisiones que serán objeto de monitoreo una vez que el proyecto entre en operación.

Todos los segmentos de mercado contribuyen a la inserción de las energías renovables a la matriz



energética del Ecuador, y uno de los desafíos a los que se enfrenta es la penetración de la Generación Distribuida considerando los parámetros establecidos en la regulación vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. D. Pinzón-Casallas, F. Santamaría-Piedrahita, and A. Corredor-Ruiz, "Uso racional y eficiente de la energía en edificios públicos en Colombia-Rational and efficient use of energy in public buildings in Colombia," *Revista científica*, vol. 2, no. 19, pp. 93-103, 2014.
- [2] H. Altomonte, M. Coviello, and W. F. Lutz, *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas*. CEPAL, 2003.
- [3] B. Ministerio de Electricidad, *Plan Nacional de Eficiencia Energetica, 2016-2035*. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/y5uox8ky>.
- [4] E. Formación, *Energía solar fotovoltaica*. FC Editorial, 2007.
- [5] M. A. Abella, "Sistemas fotovoltaicos," SAPT Publicaciones Técnicas, SL, 2005.
- [6] b. d. d. Meteororm. "Meteororm 7.3.4 (23.03.2020)." <https://meteororm.com/en/> (accessed 02/09/2020).
- [7] J. Rey Hernández, F. J. Rey Martínez, and E. Velasco Gomez, *Eficiencia energética de los edificios. Sistema de gestión energética ISO 50001. Auditorías energéticas*. Ediciones Paraninfo, SA, 2018.
- [8] J. D. Pinzón, A. Corredor, F. Santamaría, J. A. Hernández, and C. L. Trujillo, "Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete-Universidad Distrital Francisco José de Caldas," *Revista EAN*, no. 77, pp. 186-200, 2014.
- [9] S. Chakraborty, P. K. Sadhu, and N. Pal, "Technical mapping of solar PV for ISM-an approach toward green campus," *Energy Science & Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 196-206, 2015.
- [10] Meteororm. "Meteororm 7.3.4 (23.03.2020)." <https://meteororm.com/en/download> (accessed).
- [11] Sunpower. "Sunpower performance series 1500 V P/17." <https://tinyurl.com/y5pcy9oc> (accessed).
- [12] GPTech. "GPTech, Inversores." <https://www.greenpower.es/es/home/index.html> (accessed).
- [13] Tensite. "Tensite AGM DC 12-300." <https://autosolar.es/pdf/datasheet-tensite-batteries-AGM-12-300.pdf> (accessed).
- [14] C. S. Antonio, B. D. David, C. F. Eduardo, and C. G. M. Alonso, *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*. Editorial UNED, 2015.
- [15] P. L. Oscar, "Energía Solar Fotovoltaica," ed: Madrid, España-Creative Commons, 2015.
- [16] S.J.S Miño, "ENERGIAS RENOVABLES:CONCEPTOS Y APLICAICONES," vol. WWF- Fundacion Natura, vol. 2, pp. n°1, p.41, 2003.
- [17] M. A. Abella, "Dimensionado de sistemas fotovoltaicos," Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas". Tesis para optar al título de maestría, Departamento de Energias Renovables. Escuela de organización industrial, 2014.
- [18] M. d. E. y. R. n. Renovables. "Resumen Ejecutivo." <https://tinyurl.com/yxtpjdfj> (accessed).
- [19] Factor de emision de CO2 del S.N.I, 2018.
- [20] F. B. Carbono, "Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe," 2017. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/yydnlm9v>.
- [21] SENDEC02. Sistema Europeo de Negociacion de C02 [Online] Available: <https://www.sendeco2.com/es/>
- [22] G. G. Daniel Valenzuela, "Guia Ecuatoriana para la formulacion de Proyectos bajo el Mecanismo de desarrollo limpio."
- [23] REGULACION Nro. ARCONEL-003/18, 2018.



Daniela Patricia Romo. - Nació en Azogues, Ecuador en 1989. Recibió su título de Ingeniero Electrónico de la Universidad de Católica de Cuenca en 2013; desde el 2017 es colaboradora en la Empresa Eléctrica Azogues. Actualmente, se encuentra cursando la Maestría de Energías Renovables de la Universidad Católica de Cuenca.



Diego Xavier Morales. - Nació en Cuenca, Ecuador en 1985. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2009; Maestría en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Salzburgo-Austria en 2013; Master en Ingeniería Eléctrica especialidad Smart Grids and Buildings por el Instituto de Tecnología

de Grenoble- Francia (Grenoble INP) en 2014. Obtuvo el grado de PhD en 2017. Es parte del Equipo de Investigación en Energía de la Universidad Politécnica Salesiana y Profesor de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Católica de Cuenca. Sus intereses de investigación son: Desarrollo de aplicaciones de redes inteligentes y aplicaciones geográficas para el cálculo de la demanda eléctrica.

ANEXO I

Edificio Central

Equipos de fuerza	
Equipos	Cantidad
Computadoras	125
Proyectores	39
Impresoras	29
Teléfonos	29
Cafeteras	9
Cámaras	14
Calefactor	1
TV	5
Scanner	5
Nevera	1
Radio	3
TOTAL	260

Centro de datos	
HP proliant ML110 Gen10	1
HP proliant ML110 Gen6	1
Cpu clon	1
Cpu clon	1
Ups cdp 1k	1
Switch cisco ws-c2960s-48ts-s	1
Switch cisco ws-c2960s-24ts-s	1
Switch cisco ws-c2960s-24ts-s	1
Ups cdp 600	1
Switch cisco ws-c2960s-48ts-s	1
Ups cdp 600	1
Switch cisco ws-c2960s-24ts-s	1
Switch cisco c9200l-24t-4g	2
Switich hp 3com baseline switch	1
Switch cisco ws-c3750x-12s	2
Switch cisco ws-c3750g-12s	3
Router cisco router cisco 2921	4
Switch cisco ws-c2960s-48ts-s	5
Wirless lan controller cisco 3504	6
Nvr ds-7616ni-q2	7
Ups cdp 600	8
Total	50

Iluminación Edificio Central	
Total lámparas	494
Total focos	51
Total	545

Edificio Medicina

Equipos Médicos de laboratorio	
Equipos	Cantidad
Microscopios	21
Cocina Eléctrica	3
Baño maría	3
Baño seco	1
Balanza	1
Extractor olor	1
Esterilizador	3
Estufa para cultivo	1
Refrigerador	4
Autoclave(GNATUS)	1
Centrifuga	3
Espectrofotómetro	2
Homogeneizador	1
Bomba de succión	1
Equipo signos vitales	1
Microondas	1
Thermovoque	1
Homogeneizador	1
Equipo prueba ADN	1
Micro centrifuga	1
Vortex homogenizar	1
Termo bloque	2
Cabina esterilizadora	1
Congelador Biobase	1
Congelador Electro lux	1
Analizador Genético	1
Monitor Eliteone	2
Portátil	2
Compresor aire	1
Regulador link box	1
Negatoscopio	2
Lámpara cuello de ganso	1
Electrocardiógrafo	1
Monitor signos vitales	2

Equipos de Fuerza	
Equipos	Cantidad
Computadoras	23
Proyectores	17
Impresoras	13
Teléfonos	10
Cafeteras	2
Cámaras	25
Microondas	2
TV	2
Scanner	2
Radio	1

Equipos de Laboratorio	
Equipos	Cantidad
Horno de secado	1
Cocina eléctrica	1
Prensa Rotura hormigón	1
Separación de materiales	1
Separación de materiales	1
Balanza materiales	2
Horno de secado	1
Estación carga de baterías	2
Baterías teodolitos	3

Sistema de Climatización	
Aire acondicionado Johnson Controls modelo YCD4B21S	1
Aire acondicionado Electrolux split btu18000	2

Equipos de Fuerza	
Equipos	Cantidad
Computadoras	10
Impresoras	1
Teléfonos	5
Cafeteras	1

Centro de Datos	Cantidad
Switch cisco sg300-28 28-port gigabit managed switch	1
Switch 3com baseline switch 2952-sfp plus	2
Ups cdp 600va	4
Switch 3com baseline switch 2928-sfp plus	1
Switch cisco sg200-26 26-port gigabit smart switch	1
Antenas wireless cisco air-cap2702i-a-k9	12

Iluminación Edificio Medicina	
Número de lámparas	240
Número de focos	79
Total	319

Laboratorio de Suelos

Iluminación Laboratorio de suelos	
Número de lámparas	35
Número de focos	1
Total	36