

ARK: <https://n2t.net/ark:/87558/tekhne.25.3.4>

Estudio de factibilidad técnico-económico para la implementación de celdas fotovoltaicas como fuente de energía eléctrica alternativa en la UCAB Guayana

*Gabriel Márquez Coman¹, Orlando Gil Rubio²
gabrielmarquez2909@gmail.com¹, orgil07@gmail.com²
Universidad Católica Andrés Bello^{1,2}*

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio de factibilidad técnico - económico para la implementación de celdas fotovoltaicas como una fuente de energía eléctrica alternativa en casos de emergencia en la UCAB Guayana. La investigación se llevó a cabo mediante el desarrollo de una evaluación técnica que incluyó: i) un estudio de demanda eléctrica de los edificios de ingeniería civil, industrial, informática y comunicación social, esto mediante entrevistas no estructuradas en los distintos departamentos de la universidad y observación directa para obtener datos teóricos sobre el consumo de los edificios; ii) un estudio técnico donde se definieron los equipos más adecuados para el tipo de instalación según su ubicación geográfica y condiciones climáticas, junto con el dimensionamiento de la instalación, para que cumpla con la demanda eléctrica, aplicándose un factor de seguridad para compensar cualquier tipo de pérdidas que se puedan presentar por la instalación o variación en el consumo eléctrico; se plantearon diferentes propuestas con diferentes estructuras y diferente ubicación de los equipos donde algunas ubicaciones suponen un mejor rendimiento para la instalación. En lo que respecta al estudio económico o evaluación económica, este tiene como objetivo aportar los valores necesarios para determinar la viabilidad del proyecto de inversión. Cumpliendo lo mencionado se pudo completar el estado de resultados, aplicando el marco lógico para definir indicadores que aporten información sobre los beneficios sociales, ambientales y económicos de la instalación siendo estos los indicadores más preciados para tomar la decisión de invertir o no en el proyecto. En función de los resultados de este estudio se demuestra que el proyecto es técnicamente factible, no obstante, la decisión en cuanto a su viabilidad económica debe ser evaluado junto con un ajuste en el servicio y tarifas eléctricas en Venezuela, ya que los indicadores en cuanto a los beneficios sociales y ambientales demuestran que este proyecto presenta una alta potencialidad.

Palabras clave: celdas, fotovoltaica, demanda, edificios, propuesta, factible, marco lógico, potencialidad

Economical technical feasibility study for the implementation of photovoltaic cells as an alternative electric energy source in the UCAB Guayana

Abstract

The purpose of this project is to make a technical and economic study for the implementation of photovoltaic cells as an alternative power source in electrical emergencies at UCAB Guyana. The collection of the data in order to carry out the objectives of the project was carried out through documentary review techniques, unstructured interviews and direct observation. The research was carried out through the development of a technical evaluation that included: i) a study of electrical demand of the following buildings: civil engineering, industrial engineering, computing engineering and social communication; ii) a direct observation to obtain theoretical data on the consumption of the buildings; a technical study where the most suitable equipment for the installation is formalized according the geographical location and climatic conditions, with the sizing of the installation to fit with the electrical demand applying a safety factor to compensate any loss that may occur by the installation or variation in electrical consumption; different proposals were made with different structures and locations of the equipment, where some locations suppose a better performance for the installation. Regarding the economic study or economic evaluation, this aims to provide necessary values to determine the viability of this investment project. In compliance with the above, the status of results could be completed, applying the logical framework to define indicators that provide information on the social, environmental and economic benefits of the facility being the most precious indicators to make the decision whether to invest in the project or not. Depending on the results about the study, it shows if is technically feasible, however, the decision about the economic viability of the project must be evaluated together with an adjustment in the service and electricity rates in Venezuela, since the indicators regarding social and environmental benefits show that this project has a high potentiality.

Keywords: cells, photovoltaic, demand, buildings, proposal, feasible, logical framework, potentiality

ARK: <https://n2t.net/ark:/87558/tekhne.25.3.4>

Estudio de viabilidad técnico-económica para la implantación de células fotovoltaicas como fuente alternativa de energía eléctrica en la UCAB Guayana

Resumo

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de viabilidade técnico-econômica para a implementação de células fotovoltaicas como fonte alternativa de energia elétrica em casos de emergência na UCAB Guayana. A pesquisa foi realizada através do desenvolvimento de uma avaliação técnica que incluiu: i) um estudo da demanda elétrica de edifícios de engenharia civil, industrial, informática e comunicação social, isto através de entrevistas não estruturadas nos diferentes departamentos da universidade e observação direta obter dados teóricos sobre o consumo dos edifícios; ii) um estudo técnico onde foi definido o equipamento mais adequado para o tipo de instalação de acordo com sua localização geográfica e condições climáticas, juntamente com o dimensionamento da instalação, de forma que atenda a demanda elétrica, aplicando um fator de segurança para compensar qualquer tipo de perdas que possam ocorrer devido à instalação ou variação no consumo elétrico; Diferentes propostas foram levantadas com diferentes estruturas e diferentes localizações dos equipamentos onde algumas localizações supõem um melhor desempenho para a instalação. No que diz respeito ao estudo econômico ou avaliação econômica, este tem como objetivo fornecer os valores necessários para determinar a viabilidade do projeto de investimento. Cumprindo o referido, a demonstração de resultados poderá ser completada, aplicando-se o quadro lógico para definir indicadores que dêem informação sobre os benefícios sociais, ambientais e econômicos da instalação, sendo estes os indicadores mais preciosos para tomar a decisão de investir ou não na projeto. Com base nos resultados deste estudo, mostra-se que o projeto é tecnicamente viável, no entanto, a decisão quanto à sua viabilidade econômica deve ser avaliada em conjunto com um ajuste nas tarifas de serviço e energia elétrica na Venezuela, uma vez que os indicadores relativos aos aspectos sociais e benefícios ambientais mostram que este projeto tem alto potencial.

Palavras-chave: células, fotovoltaica, demanda, edifícios, proposta, factível, quadro lógico, potencial

i. INTRODUCCIÓN

El servicio eléctrico en Venezuela actualmente tiene poca calidad y confiabilidad, frecuentemente presenta interrupciones en su suministro afectando así la operación de las empresas, instituciones y otros sectores, limitando su funcionamiento de manera normal y continua.

En la presente investigación se plantea la búsqueda de un sistema de energía eléctrica alternativo para la UCAB Guayana, referido en este caso al uso de celdas fotovoltaicas para el aprovechamiento de la energía solar, las cuales abastecerán en esta primera fase a los edificios de las escuelas de ingeniería civil, industrial, informática y comunicación social. Como parte de este estudio se

valida que las condiciones geográficas y climatológicas son aptas para implementar un sistema de energía fotovoltaica, ya que el campus posee terrenos suficientes para la distribución de los equipos necesarios en este tipo de instalación y su clima le permite a su vez a dichas instalaciones obtener un buen rendimiento.

Se plantearon diferentes escenarios con diferentes arreglos o propuestas, y para cada una de ellas se señalan sus diferencias y ventajas técnicas, económicas y de ubicación. Se selecciona técnicamente la más conveniente para el caso de estudio, y para el arreglo básico de esta instalación, se determinan los equipos más adecuados tomando en cuenta su ubicación y el dimensionamiento de esta, recabando la información

necesaria mediante entrevistas no estructuradas, análisis documental y relaciones matemáticas.

El estudio técnico – económico planteado determina desde el punto de vista técnico la forma en que la instalación de celdas fotovoltaicas puede ser una opción como fuente de energía alternativa en la UCAB Guayana, y desde el punto de vista económico la viabilidad del mismo determinando si es factible o no su aplicación se considera además de las técnicas típicas de VPN, TIR, entre otras, lo correspondiente a la técnica del marco lógico para definir indicadores que aporten información sobre los beneficios sociales, ambientales y económicos de la instalación. De tal manera de poder establecer el escenario que a futuro garantiza la viabilidad del proyecto.

En función de los resultados de este estudio se demuestra que el proyecto es técnicamente factible, no obstante, la decisión en cuanto a su viabilidad económica, debe ser evaluado junto con un ajuste en el servicio y tarifas eléctricas en Venezuela, ya que los indicadores en cuanto a los beneficios sociales y ambientales demuestran que este proyecto presenta una alta potencialidad.

ii. METODOLOGÍA

La modalidad de investigación en este estudio es de tipo aplicada [1] ya que tiene un propósito de utilización inmediata, mediante una propuesta de acción dirigida a resolver un problema o necesidad. En este caso la necesidad de implementar una fuente de energía eléctrica alternativa para solventar problemas como la interrupción de servicio eléctrico y la reducción del uso de energías contaminantes para el medio ambiente en la UCAB Guayana.

En cuanto al diseño de la investigación esta es documental y de campo [2]. La población en este caso corresponde al sistema eléctrico comprendido por el consumo eléctrico de la UCAB Guayana, y la muestra se limitó a aquellos equipos prioritarios para el funcionamiento de los edificios de ingeniería civil, industrial, informática y comunicación social, tales como luminaria, sistemas de emergencia y computadoras

Tabla I. Operacionalización de variables

Objetivo específico	Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
1. Diagnosticar la situación actual del servicio de electricidad en la UCAB Guayana.	Conformidad con la situación eléctrica actual	Estudio en el cual se analiza el consumo eléctrico teórico en las instalaciones de la UCAB Guayana	Diagnóstico de la situación eléctrica actual de la UCAB Guayana. Inventario de equipos involucrados en el consumo eléctrico.	Consumo eléctrico teórico.	Entrevistas no estructuradas.
2. Determinar el arreglo básico para la instalación e interconexión de las celdas fotovoltaicas y su factibilidad técnica en la UCAB Guayana.	Estudio técnico	Estudio en el cual se analiza el tipo de celdas necesarias según las condiciones climáticas de la zona y el tamaño de los arreglos fotovoltaicos para satisfacer la demanda eléctrica de la UCAB Guayana.	Determinación de los equipos necesarios para la instalación, su dimensión, especificaciones técnicas y cantidad de equipos necesarios en base a estudios climatológicos y técnicos según la dimensión de la instalación.	Dimensión de la instalación. Cantidad de equipos. Vida útil. Almacenamiento. Areas.	Análisis documental. Relaciones matemáticas.
3. Evaluar la factibilidad económica de la instalación de las celdas fotovoltaicas en la UCAB Guayana	Factibilidad Económica financiera.	Evaluación demostrativa para definir si la investigación puede darse en marcha, mostrando evidencias de lo que se ha planeado contemplando los problemas que se pueden involucrar.	Estructura de costos y beneficios de la instalación.	Costos de inversión. Costos de transporte. Costos de mano de obra e instalación.	Relaciones matemáticas. Hoja de cálculo de Excel.

Fuente: Márquez (2020)

Los procedimientos metodológicos para desarrollar los objetivos planteados en esta investigación, se presentan y

contextualizan de manera sucinta en la Tabla 1 a continuación [3].

Tabla II. Consumo eléctrico teórico total estimado para los edificios de las escuelas de Ing. Civil e Informática, Comunicación Social e Ing. Industrial

Consumo teórico total de los edificios	kWh	kWh 9h	kWh 22días
Consumo total con aire acondicionado	316,831	2.851,479	62.732,538
Consumo total sin aire acondicionado	49,594	446,346	9.819,612

iii. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Estudio del consumo eléctrico.

El consumo de energía eléctrica tiene un costo en el tiempo, mientras más energía eléctrica se consume en periodos prolongados de tiempo mayor será su costo y se calcula de la siguiente manera: Consumo eléctrico (Energía consumida) = Potencia (W) * Tiempo (h).

El estudio fue realizado solo a los edificios de las Escuelas de Ingeniería Civil e Informática, Comunicación Social e Ingeniería Industrial, correspondiente a la muestra de la población. Dadas las limitaciones para obtener la totalidad de planos y manuales de especificaciones técnicas de los equipos instalados /conectados en estos edificios, se procedió a realizar una serie de reuniones y entrevistas no estructuradas con el personal de mantenimiento el cual suministró la información necesaria para poder determinar el consumo eléctrico en los edificios antes mencionados, suponiendo un funcionamiento continuo de los equipos de 9h diarias desde

las 8am hasta las 5pm, con una jornada laboral de 22 días laborales al mes.

El consumo de los edificios considerando o no el uso de aire acondicionado, se observa en la Tabla 2 a continuación.

El consumo antes indicado, se considera es la demanda eléctrica que deberá suplir la futura estación fotovoltaica.

Rendimiento Global de la instalación fotovoltaica

El rendimiento global (RG)[4] abarca el análisis del rendimiento de cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico que se mencionan a continuación: panel fotovoltaico, regulador, baterías, inversor, corriente en CA y corriente en CC, y se calcula con la siguiente ecuación.

$$RG = 1 - ((1 - Kb - Kc - Kr - Kv) \times (Ka \times N)/Pd) - Kb - Kc - Kr - Kv$$

Donde:

Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento.

Kc: Perdidas por el rendimiento del inversor.

Kr: Perdidas en el controlador de carga.

Kv: Perdidas no consideradas.

Ka: Fracción de energía que se pierde por auto descarga.
 N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio de carga.
 Pd: Profundidad máxima de descarga admisible.

Los coeficientes y el cálculo del rendimiento global de la instalación de los paneles fotovoltaicos, para los edificios de la UCAB antes mencionados, se presentan en la Tabla 3.

Tabla III. Coeficientes estimados en paneles fotovoltaicos UCAB Guayana para obtención del rendimiento global

Valor de las constantes para la instalación fotovoltaica UCAB Guayana.	
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	Kb= 0.050
Baterías de baja auto descarga, sin mantenimiento	Ka= 0.005
Rendimiento inversor 95%	Kc= 0.050
Controlador de carga eficiente	Kr= 0.1
Estudio detallado de pérdidas por cableado	Kv= 0.050
Batería descargada hasta el 60%	Pd= 0.600
Vivienda habitual	N= 2
RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN RG =0.7375	

Fuente: Alvarado (2018)

Considerando el coeficiente de rendimiento global de la instalación de 0,7375 da como resultado los nuevos requerimientos de energía eléctrica que se toman en cuenta para el dimensionamiento de la instalación (Consumo/RG), y tal como se indicó anteriormente estos datos representan la demanda que debe suplir el sistema fotovoltaico (Tabla 4).

A. Selección del módulo fotovoltaico

Para las condiciones climáticas de Ciudad Guayana [5][6][7][8], los paneles más apropiados son de silicio poli cristalino, ya que este tipo de paneles son los más adecuados para los climas cálidos por su rápida absorción de calor y por su lento efecto de recalentamiento[9]. Adicionalmente, para esta

instalación se busca que los módulos estén entre un rango de 300WP – 340WP debido a que los equipos de la instalación están pensados para un funcionamiento de 48V o menor, ya que normalmente en los módulos poli cristalinos al superarse los 340WP de potencia el módulo deja de ser de 72 células y pasa a ser un módulo de 84 células lo cual lo lleva a dejar de ser un módulo de 48V y se convierten en módulos de 64V. En función a esto se consideraron los paneles TP340PP-72 marca Topsky, fabricados por Topsky Electronics Technology (China)[10]; y los módulos solares marca AE Solar (Alemania)[11], específicamente el modelo AE P6-72 340W, de estos ~~los cuales~~ se seleccionó el modelo TP340PP-72 conformados por 72 células dado que los

costos son menores, además tiene una garantía del producto de 10 años y una garantía de producción de energía lineal entre el 80% y 100% de 25 años, con un costo de

Para un consumo eléctrico sin aire acondicionado son necesarios ≈ 481 módulos para satisfacer la demanda eléctrica, mientras

Tabla IV. Demanda eléctrica teórica total estimada para los edificios de escuela aplicando rendimiento global (RG).

Consumo teórico total de los edificios	kWh	kWh 9h	kWh 22días
Consumo total con aire acondicionado	429,601	3.866,409	87.286,124
Consumo total sin aire acondicionado	67,246	605,214	13.314,728

0,158 centavos de \$ por cada WP que tengan los módulos.

Para un consumo eléctrico de una jornada de 22 días laborales por mes a 9h diarias de funcionamiento continuo, la demanda eléctrica de los edificios de escuela de ingeniería industrial, ingeniería civil e informática y comunicación social, tomando en consideración el factor de rendimiento global de la instalación resulta de 87.286,124 kW mensuales, lo que se traduce en 3.866,409kW diarios, esto haciendo uso del aire acondicionado: Sin hacer uso del aire acondicionado presentan un consumo de 13.314,728kW mes, y 605,214 kW diarios.

Tomando en cuenta que, para Puerto Ordaz, el mes con menos irradiación solar es junio presentando un promedio de 3,7 HSP diarias y que la máxima tensión del módulo es de 38,2V, su corriente máxima 8,91A, se procede a hacer el cálculo de la cantidad de paneles necesarios.

$$M = \frac{605,214kW}{38,2V \cdot 8,91A \cdot 3,7HSP} * 1.000 = 480,58 \text{ Paneles}$$

$$M = \frac{3.866,409kW}{38,2V \cdot 8,91A \cdot 3,7HSP} * 1.000 = 3.070,18 \text{ Paneles}$$

que para un consumo eléctrico con aire acondicionado son necesarios ≈ 3.071 módulos.

Para este tipo de instalaciones no se toman en cuenta los aires acondicionados debido al alto consumo energético que estos requieren, solo se toman en cuenta cuando son instalaciones pequeñas o cuando son de uso estrictamente necesario, por lo tanto, para esta instalación no serán tomados en cuenta el servicio de aire acondicionado, ya que estos representan el 86,46% de la demanda eléctrica de los edificios de escuela de ingeniería civil e informática, comunicación social e ingeniería industrial.

Energía eléctrica producida con paneles fotovoltaicos

La cantidad de kW producida por los paneles solares en un tiempo determinado se calcula con la siguiente fórmula:

$$EP = \frac{P_{\text{modulo}} \times N_{\text{modulos}} \times HSP \times \text{días}}{1000}$$

$$EP = \frac{P_{\text{modulo}} \times N_{\text{modulos}} \times HSP \times \text{días}}{1000}$$

$$EP = \frac{340W \times 481 \times 3,7 \times 22}{1000} = 13.312,156 \text{ KW}$$

EP en 1 año = 159.745,87 KW

EP en 25 años de vida útil = 3.993.646,8 KW

B. Selección del inversor

Se seleccionó el inversor modelo 40 kVA (3:3) PF 0,9 off-grid por ser una instalación aislada de la red eléctrica, Este inversor cuenta con una potencia máxima de salida de 36kW, con un rango de frecuencia de 50 – 60 Hz, su rango de tensión MPPT es de 450 – 750V y una corriente nominal de 60 A, lo cual permite una interconexión de 96 paneles solares por cada uno de ellos, por lo tanto, son necesarios 6 de estos inversores para satisfacer la dimensión de la instalación.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
F2	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
F3	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
F4	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
F5	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
F6	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96

Figura 1. Arreglo permitido por cada inversor.

C. Selección del controlador de carga.

El control de carga seleccionado para esta instalación es el modelo RF 96-100 de la marca Garnde Solar Energy[12] de tecnología MPPT, debido a la poca perdida o casi nulo desperdicio de la energía,. Por cada controlador de carga se permite una interconexión de 32 paneles por lo que son necesarios 16 de estos para satisfacer la instalación.

D. Selección del banco de baterías.

En este caso la instalación se hace en base a la Capacidad nominal de la batería en función de descarga máxima estacionaria (Cne) debido a que se busca un sistema de descarga estacionaria para una cantidad de días de autonomía. En este sentido, se hacen dos propuestas distintas para un (1) día de autonomía y cuatro (4) días de autonomía con diferentes tipos de baterías para la instalación, de tal manera que existan dos alternativas distintas para su selección. La primera propuesta consiste en baterías de vaso de dos (2) voltios y tipo OPzV mientras que la segunda propuesta o alternativa consta de baterías de litio con una conexión en paralelo al cual se le incorpora adicionalmente el Battery Management System (BMS) y la colocación de las barras necesarias para su correcta conexión en paralelo.

Para las baterías OPzV se seleccionó el pack de baterías BAE Secura C100, el cual consta de 24 vasos de 2V cada uno para así lograr los 48V de tensión necesarios, para un día de autonomía son necesarios 72 vasos mientras que para cuatro días de autonomía son necesarios 240 vasos.

Para las baterías de Litio se seleccionó el modelo BYD B-Box LVL Premium 15,4 kWh, para un día de autonomía son necesarias 15 baterías mientras que para cuatro días de autonomía se necesitan 59.

E. Cableado de la instalación.

Aunque para este tipo de instalaciones también se puede usar cableado común, lo recomendable es usar cableado fotovoltaico el cual está compuesto por un conductor de cobre electrolítico estañado, ya que ofrece un mejor rendimiento por su menor índice de degradación en el tiempo en comparación al cableado normal. Los cálculos referentes a cableado y protección, se formularon siguiendo las regulaciones establecidas en las

normas COVENIN[13] y la IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) para los tipos de conductores permitidos y la máxima caída de tensión permisible por sección respectivamente, específicamente para Sistemas Solares Fotovoltaicos.

Los cables recomendados para la instalación según sus dimensiones son cables unifilares SOLAR PV ZZ-F Rojo de 6mm^2 y 10mm^2 de sección. Sección de 6mm^2 desde los paneles hasta el inversor y de 10mm^2 hacia los edificios debido a las distancias, para así reducir al mínimo las caídas de tensión.

F. Propuestas para la instalación de los equipos.

Se plantearon tres propuestas para la instalación de los equipos en los distintos

terrenos de la Universidad [3], tomando en cuenta que el área mínima requerida de terreno para la instalación es de $933,31\text{m}^2$.

- 1) Ubicación en el estacionamiento de visitantes, donde existe un área total disponible de 1.791m^2 para la instalación, haciendo uso de una estructura techada que tiene doble funcionalidad, servir como un soporte para la instalación de los paneles solares y proporcionar sombra a los vehículos que hagan uso de dicho estacionamiento, y la construcción una edificación para el almacenamiento de inversores, baterías, controladores de carga y otros equipos. En la figura 2 se observan las áreas destinadas a la instalación.



Figura 2. Propuesta uno para la instalación.

- 2) La ubicación de esta propuesta es la misma que la propuesta 1, pero en este caso se selecciona un lugar distinto para la

construcción de la edificación donde se almacenan los inversores, baterías,

controladores de carga y otros equipos.



Figura 3. Propuesta dos para la instalación.

3) Esta propuesta se aplica en un área verde situada frente a la escuela de ingeniería industrial, a diferencia de las propuestas anteriores, no se usa una estructura techada para la instalación de los paneles,

se usa una estructura que permite la instalación de los paneles en el suelo, permitiéndoles inclinaciones entre 5° y 45°,

disponiendo así de un área total para la instalación de 1.465m².

Desde el punto de vista técnico, la propuesta tres es la mejor debido a la cercanía de los equipos con los edificios a los cuales estará destinada la energía eléctrica producida, ya que a menores distancias de cableado existen menores caídas de tensión y menores pérdidas eléctricas.



Figura 4. Propuesta tres para la instalación.

GABRIEL MARQUEZ COMAN, ORLANDO GIL RUBIO

G. Evaluación económica de las propuestas.

Por la naturaleza del tipo de instalación y los resultados desde el punto de vista económico, cuya tendencia esta decididamente marcada por el costo de la energía eléctrica en Venezuela, resulta conveniente considerar otros indicadores que permitan tener más elementos que permitan tomar una decisión en cuanto a la realización de la inversión en este proyecto. Para obtener estos elementos se aplicó el análisis de marco lógico, estableciendo indicadores sociales, ambientales y económicos [3].

H. Costo de los equipos para la instalación solar.

Se determinaron los costos totales de la instalación en cada una de las tres propuestas, teniendo como opción para seleccionar una instalación con uno (1) o cuatro (4) días de autonomía y la facilidad de escoger entre un banco de baterías tipo OPzV o baterías de Litio. Tal como se indicó en párrafos anteriores, considerando desde el punto de vista técnico. la ubicación geográfica de la instalación y los altos costos, la mejor opción es la propuesta tres con un día de autonomía y un banco de baterías OPzV la cual tiene un costo total de 145.164,93\$ (dólares americanos) los desgloses de los mismos se presentan en la Tabla 4.

Tabla V. Costos totales para la propuesta tres.

4 días de autonomía		1 día de autonomía	
Equipos/estructuras	Costos(\$)	Equipos/estructuras	Costos(\$)
Panel 340W	25.839,32	Panel 340W	25.839,32
Inversor	24.750	Inversor	24.750
Controlador de carga	6.080	Controlador de carga	6.080
Baterías OPzV	177.890,05	Baterías OPzV	53.367,15
Baterías de Litio	544.094,46	Baterías de Litio	138.329,1
Estructura paneles	1733,52	Estructura paneles	1.733,52
Cable 6mm2	205,2	Cable 6mm2	205,2
Cable 10mm2	590	Cable 10mm2	590
Estructura techada	0	Estructura techada	0
Mano de obra	0	Mano de obra	0
Edificación ⁽¹⁾	25.050	Edificación ⁽¹⁾	25.050
Envío 1	4.575	Envío 1	4.575
Envío 2 OPzV	804,52	Envío 2 OPzV	374,87
Envío 2 Litio	1241,41	Envío 2 Litio	542,49
Envío terrestre	1.500	Envío terrestre	1.500
Mantenimiento	150	Mantenimiento	150
Total/OPzV	269.017,61	Total/OPzV	145.164,93
Total/Litio	635.658,91	Total/Litio	229.194,63

(1) En el presupuesto de la edificación, se incluyen los costos del estudio de suelo, preparación del sitio, excavaciones,

fundaciones, construcción propiamente de la edificación, mampostería, sistemas sanitarios y los sistemas eléctricos incluyendo la acometida con la instalación existente.

I. Indicadores sociales del análisis de marco lógico.

De dimensión social se presenta el indicador "personas beneficiadas por unidad monetaria", haciendo referencia al total de personas que se benefician por cada unidad monetaria invertida en la propuesta tres con un banco de baterías OPzV y un día de autonomía, cuyo objetivo es la no interrupción de actividades, donde los beneficiados principales son los alumnos y profesores pertenecientes a las escuelas de ingeniería y comunicación social.

Tabla VI. Total de personas beneficiadas.

Alumnos	1.268
Profesores	138
Total	1.406

Personas beneficiadas por unidad monetaria invertida en la propuesta tres con un (1) día de autonomía y baterías OPzV

$$\frac{\text{Personas beneficiadas}}{\text{Costo instalacion (US\$)}} = \frac{1.406}{145.164,93} = 0,0097$$

J. Indicadores ambientales del análisis de marco lógico.

De dimensión ambiental el primer indicador se presenta como toneladas de CO₂ producidas por kWh, haciendo referencia a la cantidad de toneladas de CO₂ que se producen en un periodo de un año para satisfacer la demanda eléctrica de los edificios mediante la producción de energía con celdas fotovoltaicas, cuyo objetivo es reducir las emisiones de CO₂. Para hacer la medición de las emisiones de partículas de dióxido de carbono se usa la unidad de tonelada equivalente de petróleo (TEP) ya que es la más común usada mundialmente, y sus relaciones según la orden de la convocatoria de subvenciones de eficiencia energética y

energías renovables de la región de Murcia del año 2019 [14] son las siguientes: 1 Tep = 41.868.000.000 Jules = 11.630 kWh ; 1 Tep de central hidroeléctrica = 0,37 toneladas de CO₂; 1 Tep de energía fotovoltaica = 0,17 toneladas de CO₂.

Emisiones de CO₂ anuales por producción de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas para satisfacer la demanda anual de los edificios:

$$\frac{\text{Capacidad generada } \left(\frac{\text{kW}}{\text{h}}\right)}{11.630 \text{ kW/h}} \times \text{CO}_2 \text{ Emitido (Ton)}$$

$$\frac{3.993.646,8 \left(\frac{\text{kW}}{\text{h}}\right)}{11.630 \text{ kW/h}} \times 0,17 \text{ t CO}_2$$

$$\frac{\quad}{25 \text{ años.}} = 2,33 \text{ t CO}_2$$

Comparando las toneladas de emisión de CO₂ para satisfacer la demanda eléctrica aproximada los edificios de escuelas durante el periodo de vida útil de la instalación fotovoltaica (25 años), se destaca el hecho que la energía fotovoltaica es la que produce menos cantidades de CO₂, tal como se presenta en la Tabla 6.

Tabla VII. CO₂ emitido según el método de generación de energía.

Método de generación de energía	CO ₂ emitido durante la vida útil de la instalación (25 años)
Fotovoltaica	2,33 toneladas de CO ₂
Hidroeléctrica	5,08 toneladas de CO ₂
Gasoil	39,83 toneladas de CO ₂
Gas natural	28,85 toneladas de CO ₂
Carbón	52,19 toneladas de CO ₂

Fuente: Márquez (2020).

El segundo indicador de dimensión ambiental se presenta como Porcentaje (%) de CO₂ emitido por la demanda requerida de los edificios de escuela, el cual hace referencia al porcentaje de CO₂ producido por la demanda energética requerida por los edificios con respecto al total de emisiones totales de CO₂ en Venezuela en el año 2018 (120.211.000 toneladas de CO₂) [14].

Cálculo de porcentaje de CO₂ que representa la demanda de los edificios de la UCAB Guayana en Venezuela si se produce con energía solar fotovoltaica:

$$\frac{\text{CO2 producido por la demanda (Ton)}}{\text{CO2 emitido en Venezuela 2018 (Ton)}} \times 100$$
$$= \frac{2,33 \text{ t CO}_2}{120.211.000 \text{ t CO}_2} \times 100$$
$$= 0,00001938\%$$

K. Indicadores económicos del análisis de marco lógico.

De dimensión económica se presenta el indicador inversión monetaria por cada beneficiario, haciendo referencia a la inversión anual que se debe hacer por cada beneficiario del proyecto hasta cumplir la vida útil de la instalación (25 años), cuyo objetivo es el aumento de inversión en infraestructura y alumnos.

Para la propuesta tres, con un (1) día de autonomía baterías OPzV, resulta el siguiente valor para el indicador económico del marco lógico [3]:

$$\frac{\text{Costo instalacion (US\$)}}{\text{Personas beneficiadas}} = \frac{145.164,93\$}{1.406} = 103,25\$$$
$$\frac{\text{Vida util (años)}}{25} = 4,13\$$$

Este indicador permite al inversor de manera más objetiva, saber el monto de inversión aproximado que debe hacer por cada uno de los beneficiados del proyecto anualmente, de tal manera que puede ser de suma importancia al momento de tomar la decisión de implementación o no del proyecto.

iv. CONCLUSIONES

El consumo eléctrico teórico aproximado, del conjunto de edificios de la Escuela de Ingeniería Civil e Informática, Ingeniería Industrial y Comunicación Social, así como el funcionamiento simultáneo de todos los equipos, sin tomar en cuenta el consumo de los aires acondicionados es de 446,35 kWh por jornada diaria laborable (9 h), este valor cuando se considera las pérdidas involucradas en el rendimiento global (RG) asciende a 605,21 kWh por día (9hr), este último valor se considera la demanda a suplir por la instalación del sistema fotovoltaico.

Mediante análisis documental y relaciones matemáticas, se logró determinar el arreglo más adecuado en cuanto a la selección de equipos y su dimensionamiento para el consumo teórico presentado para los edificios de las Escuela de Ingeniería Civil e Informática, Ingeniería Industrial y Comunicación Social. La instalación consta de 481 paneles solares de 340WP, 16 reguladores de carga, 6 inversores off-grid y 72 o 240 baterías OPzV para uno (1) o cuatro (4) días de autonomía, y 15 o 59 baterías de litio para uno (1) o cuatro (4) días de autonomía.

Se determinaron tres posibles propuestas para la ubicación e instalación de todos los equipos, en los espacios cercanos a los edificios de las escuelas, que cuentan con las dimensiones necesarias para su instalación, seleccionando la propuesta tres en el área verde frente a la escuela de ingeniería industrial, ya que

presenta las menores distancias de cableado, lo que se traduce en menores pérdidas de tensión.

La instalación fotovoltaica puede llegar a reducir la emisión de CO₂ en el proceso de producción de energía requerido por la demanda eléctrica anual de los edificios seleccionados para el proyecto, de 5,08 toneladas de CO₂ a 2,33 toneladas de CO₂, representando una reducción en las emisiones de dióxido de carbono del 45,87%, llevando así la representación de emisiones de CO₂ de los edificios de escuela de un 0,000004226% a un 0,000001938% tomando como referencia las 120.211.000 toneladas de CO₂ emitidas en Venezuela en el año 2018 a nivel general.

Considerando que este proyecto es de alto impacto ambiental y social, y vistos los resultados del estudio económico, se realizó un análisis de marco lógico y se determinó que el proyecto beneficiario directamente un total de 1268 alumnos y 138 profesores, de los cuales 380 alumnos y 19 profesores podrían ver clase de manera simultánea en las diferentes aulas y laboratorios de las diferentes escuelas, sin interrupción del suministro del servicio eléctrico. Tomando como ejemplo la propuesta tres (3) con un (1) día de autonomía y un banco de baterías OPzV por ser la más económica y más adecuada técnicamente, se debe invertir anualmente un total de 4,13 \$ americanos, por cada uno de los beneficiados directos para que puedan tener acceso a este beneficio.

v. RECOMENDACIONES

Continuar con esta línea investigación considerando un sistema fotovoltaico conectado directamente a la red eléctrica, el cual por su naturaleza y por el tamaño de la instalación tendrá más beneficios y una reducción considerable en los costos. Para esto se debe tomar en cuenta que no será

necesario un banco de baterías, los inversores deben cambiarse por inversores “on-grid” y los reguladores de carga ya no serán obligatorios, serán a decisión.

El tema de la energía por celdas fotovoltaicas es un campo abundante que se encuentra en una exploración continua, en el cual se aplican constantemente nuevas tecnologías con la intención de disminuir costos y aumentar el rendimiento en cuanto a paneles, sería innovador realizar un estudio de factibilidad con celdas solares amorfas aplicando el sistema conocido como “rapid roll portable solar power” ya que es mucho menos costoso y se podría colocar prácticamente en cualquier superficie irregular.

Estudiar la posibilidad para que en este tipo de instalaciones se aplique la automatización o domótica de la edificación, de tal manera que el propio edificio pueda hacer el servicio de gestión de energía eléctrica automáticamente, también aplicando sistemas de seguridad automatizados para que, ante cualquier cambio en los valores establecidos o deseados del sistema, este se corrija automáticamente.

Considerar aplicar un estudio enfocado en energía solar, pero con una tecnología diferente como lo son paneles solares térmicos o alguna tecnología que produzca energía mediante calor, ya que hablando desde el punto de vista ambiental debido a los hechos estas tecnologías y sus procesos de fabricación, la emisión de CO₂ o gases que contribuyen con el efecto invernadero es mucho menor al compararla con la energía solar fotovoltaica.

REFERENCIAS

- [1] Murillo, W. (2008). La investigación científica, Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-ciéntifica/invest-ciéntifica.shtm>.
- [2] Fidias G. Arias. (2012). El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica (6ta edición) Recuperado de: El proyecto de investigación de Fidias Arias -2012 – 6ta edición (slideshare.net)
- [3] Marquez, Gabriel (2020), Trabajo especial de grado Estudio de factibilidad técnico - económico para la implementación de celdas fotovoltaicas como fuente de energía eléctrica alternativa en la UCAB Guayana.
- [4] Alvarado, J (2018). Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica Aislada. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
- [5] Gómez, Jesús (2016). Potencialidades de la Energía Solar en Venezuela. Caracas: Editorial Universidad Metropolitana.
- [6] NASA (National Aeronautics and Space Administration), (2018). NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center surface meteorology and solar energy (SSE). Recuperado de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [7] Weather Spark. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/>
- [8] Solargis. Recuperado de <https://solargis.com/es>
- [9] Evergreen Solar Inc. USA. Recuperado de <https://evergreensolar.com/>
- [10] Topsy Electronics Technology. Recuperado de <http://www.topsy-tech.com/>
- [11] AE Solar. Recuperado de <https://ae-solar.com/es/>
- [12] Garnde Solar Energy Corporation. Recuperado de <http://www.garnde.com>
- [13] COVENIN (1999), “Código eléctrico nacional” (Covenin 0200:1999)
- [14] DatosMacro. Orden de la convocatoria de subvenciones de eficiencia energética y energías renovables de la región de Murcia del año 2019. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/>