

Estudio de alternativa de uso de energía fotovoltaica en la Sede Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya.

Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Eficiencia Energética.

Autor: Ing. Alejandro Amel Pupo.
Tutor: MSc. Borges Arnaldo Díaz Suárez

Holguín 2019

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera como profesional y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Agradecimientos:

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes. A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido.

Resumen

En Cuba para generar energía eléctrica se utiliza mayormente combustibles fósiles, el cual contamina al medio ambiente y posee precios inestables en el mercado mundial debido a diversos factores políticos y económicos, provocando altos costos de generación, en este contexto la Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya se encuentra como alta consumidora de energía eléctrica que obtiene de la red eléctrica y teniendo tendencia anual de disminución de los planes portadores energéticos debido a la situación económica del país afectándose las actividades del centro docente.

Debido a estos problemas se proyecta el uso de la energía fotovoltaica conectada a red en los edificios de la Sede de la Universidad Holguín Oscar Lucero Moya que le permita, a través del aprovechamiento eficiente de la energía solar, la disminución de parte de la energía eléctrica consumida del Sistema Electroenergético Nacional obteniendo mayor autonomía.

Los resultados de esta investigación muestran el potencial fotovoltaico presente en las áreas universitarias que a pesar de necesitar realizar inversiones por un valor de 321137,00 moneda total. la evaluación económica muestra que resulta factible llevar a cabo esta inversión pues el tiempo de recuperación obtenido es de 5 años, lográndose obtener una generación en el año de 334,337 MWh, lo cual representa aproximadamente el 39,2 % del consumo energético del 2018 y se deja de emitir 292,6 t de CO₂ por concepto de no utilizar energía eléctrica convencional.

Summary

In Cuba, fossil fuels are mainly used to generate electricity, which pollutes the environment and has unstable prices in the world market due to various political and economic factors, causing high generation costs, in this context the University of Holguín Oscar Lucero Moya it is found as a high consumer of electricity that it obtains from the electricity grid and having an annual trend of decreasing energy carrier plans due to the economic situation of the country affecting the activities of the teaching center.

Due to these problems, the use of grid-connected photovoltaic energy in the Holguín Oscar Lucero Moya University Headquarters is projected to allow, through the efficient use of solar energy, the reduction of part of the electrical energy consumed by the National Electroenergetic System, obtaining greater autonomy.

The results of this research show the photovoltaic potential present in the university areas that despite needing to make investments worth 321137.00 total currency. the economic evaluation shows that it is feasible to carry out this investment because the recovery time obtained is of 5 years, achieving a generation in the year of 334.337 MWh, which represents approximately 39.2% of the energy consumption of 2018 and it stops emitting 292.6 t of CO₂ as a result of not using conventional electric energy.

Índice.

Introducción	1
Capítulo 1: Fundamentación Teórica.....	4
1.1 Situación energética actual.....	4
1.1.1 Combustibles fósiles su impacto económico, social y medio ambiental	4
1.2 Las Fuentes Renovables Energía (FRE).....	10
1.2.1 Estado actual del uso de energías renovables a nivel mundial.....	13
1.2.2 Estado actual del uso de energías renovables en Cuba	15
1.2.3 Estado de la FRE en Holguín.....	17
1.3 La Energía Fotovoltaica.....	18
1.3.1 Sistemas aislados	18
1.3.2 Sistemas conectados a la red	20
Capítulo 2: Proyección de los sistemas fotovoltaicos	24
2.1. La Energía Fotovoltaica en la Universidad de Holguín.....	24
2.1.1 Caracterización de las instalaciones.....	24
2.1.2 Comportamiento del consumo de energía en los últimos años.....	25
2.2 Diseño del Sistema fotovoltaico conectado a red.....	31
2.2.1 Evaluación del área a utilizar.....	31
2.2.2 Estructuras soportantes de los paneles.....	33
2.2.3 Orientación e inclinación de los paneles.....	33
2.2.4 Cálculo del número de paneles.....	34
2.2.4.1 Distancia mínima entre filas.....	35
2.2.5 Selección del inversor a utilizar.....	42
2.2.6 Selección del controlador de energía y conductores.....	42
2.3 Análisis económico de la inversión del proyecto.....	43
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
ANEXOS	49
Bibliografía	92

INTRODUCCIÓN

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC) el cambio climático es una realidad, se continua aumentando la temperatura y el nivel del mar como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provocados por actividades humanas, unas de ellas es la combustión de combustible de origen del petróleo en el sector energético, la cual tiene un enorme peso, ante esta situación se estiman potenciales importantes de mitigación a partir de opciones de eficiencia energética, una de ellas es la introducción de Fuentes Renovables Energía (FRE) en el sector eléctrico y también en dependencias económicas y sociales en el abastecimiento de energía limpia y eficiente que contribuya a la rentabilidad.

En la publicación en la revista Economía y Desarrollo del 2017 ⁽⁵⁾ refiere que en Cuba el sector de la energía es el que más ha contribuido a las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) y que continuara aumentando las emisiones totales de este sector en el futuro con el crecimiento de la economía, por tanto, es uno de los sectores que más acciones de mitigación demanda. En este sentido, se identifican potenciales de mitigación en opciones de eficiencia energética, pero también en la penetración de las FRE en el sector eléctrico (que actualmente tiene una participación por debajo de los potenciales), así como la utilización de las fuentes renovables en el abastecimiento de energía limpia a otras actividades como el transporte, el sector residencial, el sector educacional y el sector de servicios, sobre todo en lugares de difícil acceso.

En esta tendencia energética se ve reflejada la Universidad de Holguín, sede “Oscar Lucero Moya”, la cual es un alto consumidor de energía eléctrica que consumió en el 2018 un valor de 853,647 MWh debido a las numerosas áreas que utiliza en sus funciones e incluso se proyecta en terminar de construir o rehabilitar edificios o instalaciones para el uso investigativo que fueron paralizadas desde comienzos del periodo especial por dificultades económicas, los cuales se le instalaran nuevos equipos como impresoras, proyectores, computadoras, scanner, microscopios, hornos, aires acondicionados, iluminarias, etc, lo cual conlleva a profundizar el problema de la entidad en el incremento considerable de la energía eléctrica a utilizar y existiendo una

tendencia anual de disminución de los planes de portadores energéticos debidos a las limitaciones económicas del país, incidiendo en la actividades del centro docente, donde con el aprovechamiento de la energía solar se puede disminuir la demanda de electricidad de la red eléctrica y tener una mayor autonomía en el uso de esta, e incluso conectarla a la red con la posibilidad de tener excedente en algún momento aportarla al Sistema Electroenergético del país, lo cual sería un aporte importante para la eficiencia energética.

Problema científico: Ineficiencia en el consumo energético, limitan el empleo eficiente de la energía eléctrica en la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín

Este trabajo tiene como **objeto de estudio:**

El proceso de generación eléctrica a través de la energía solar

Y su **campo de acción:**

La eficiencia energética para utilizar la energía solar fotovoltaica en la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín.

Es por este motivo que se promueve este trabajo investigativo el que tiene como

Objetivo general: Diseñar un sistema de generación eléctrica conectado a la red con energía solar fotovoltaica en la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín que le permita la disminución del consumo de parte del Sistema Electroenergético Nacional.

Se puede plantear como **Hipótesis** de esta investigación la siguiente:

Si se efectúa un correcto estudio en el diseño de la instalación de los generadores solares fotovoltaicos conectado a la red, en la Sede Oscar Lucero Moya de la Universidad Holguín, permitirá sustituir eficientemente parte del consumo de la energía eléctrica proveniente de la red utilizando la energía solar

Tareas de Investigación.

1. Revisión bibliográfica de la situación energética actual en el mundo y en Cuba, de las energías fósiles y energías renovables y las experiencias en implementación de tecnologías fotovoltaicas.
2. Realizar un estudio del consumo de energía eléctrica de las áreas.

3. Realizar el diagnóstico preliminar de las áreas candidatas para determinar los potenciales físicos de generación.
4. Desarrollar con el cálculo y diseño los sistemas fotovoltaicos conectado a red capaces de sustituir eficientemente el suministro parcial de energía eléctrica generada con combustibles fósiles.
5. Evaluación económica de la inversión del proyecto.

Para desarrollar este trabajo se utilizaron los Métodos de Investigación siguientes:

Empíricos

- Consultas y entrevistas: Se realizaron entrevistas y consultas a especialistas en el campo de estudio para conocer a fondo el problema a investigar.

Teóricos:

- Histórico-lógico: Para comprender las condiciones que determinan el estado actual del problema que se investiga.

- Análisis y síntesis: Se utiliza en la revisión y consulta de la bibliografía especializada sobre el tema, así como, en el estudio de la información existente sobre el equipamiento a emplear.

- Hipotético-Deductivo: Para definir los aspectos que contiene la hipótesis y comprobar la misma.

Capítulo 1: Fundamentación teórica.

1.1. Situación energética actual

1.1.1 Combustibles fósiles su impacto económico, social y medio ambiental.

Los combustibles fósiles surgieron hace millones de años tras ser sometidos los organismos muertos y enterrados al calor y la presión de la corteza, un proceso natural de descomposición aeróbica que ha formado recursos que toman forma sólida, líquida o gaseosa, son muy energéticos y fáciles de almacenar y transportar. No son renovables por la cantidad de tiempo que necesitaron para formarse.

Incluyen carbón, gas natural y petróleo y son usados como un recurso energético, en los sectores de electricidad y transporte. La energía nuclear es considerada también un tipo de combustible fósil por diversos especialistas debido al uso de minerales como el uranio o el plutonio, pues estos no son renovables. Se libera energía nuclear como resultado de una reacción nuclear llamada fisión nuclear. Es la división de núcleos de átomos pesados como el uranio o el plutonio.

El uso de los recursos fósiles ha permitido el gran crecimiento económico y demográfico ligado a la revolución industrial del siglo XIX, siendo fundamental para la sociedad humana hasta el día de hoy, es el motor de desarrollo de las poblaciones y soporte de las actividades productivas, sociales, comerciales y domésticas.

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la demanda mundial de energía es dominada por los combustibles fósiles, en el 2017 creció 1,8 % llegando a alcanzar hasta el 81 % de la demanda mundial y que este porcentaje se viene arrastrando prácticamente desde hace 30 años. [AIE]

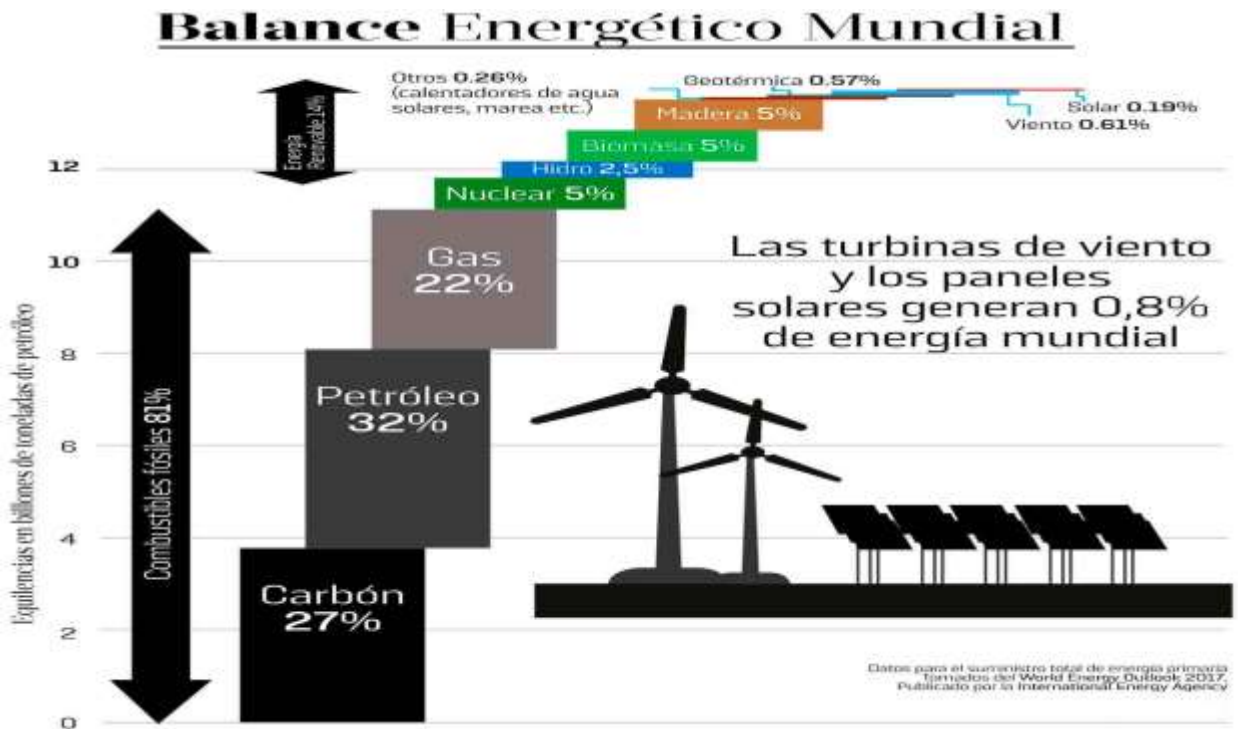


Figura No. 1 Balance mundial de energía. [tomados por World energy Outlook 2017 publicado por AIE, www.energia16.com/wp-content/uploads/2018/02/]

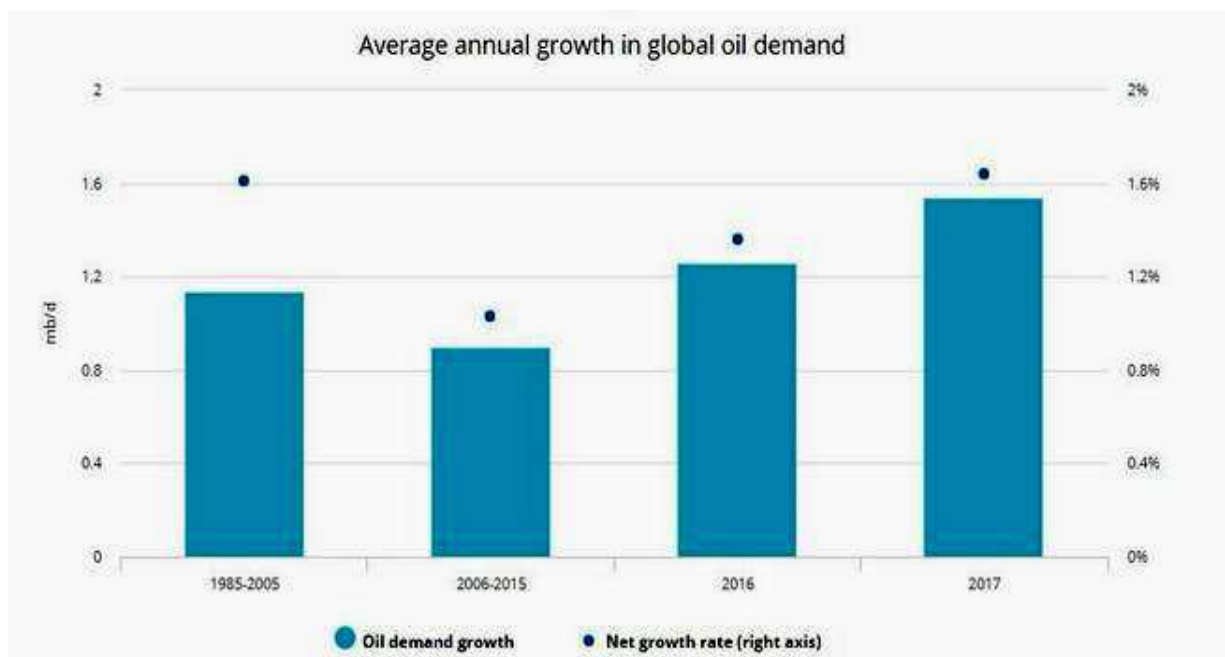


Figura 2: Promedio anual de crecimiento de la demanda mundial de petróleo [Foto: Fuente:AIE]

Incluso prevé que la demanda global de energía aumentará más de un 24 % desde el 2018 hasta el 2040 y que los combustibles fósiles -las más contaminantes- seguirán siendo parte fundamental de la demanda energética con un 70 % de la demanda mundial.

La perspectiva de energía actualizada de Wood Mackenzie en su informe Escenario con restricción de carbono 2018, explora cómo la demanda de productos básicos y las emisiones de carbono responderían a un despliegue acelerado de tecnologías del sector de transporte y energía bajas en carbono, y concluye que los combustibles fósiles aún conformarían la gran mayoría de la demanda mundial de energía.

En la figura 3 se representa la tendencia en la demanda desde el 2018 hasta el 2040, apreciándose que el carbón como energía será el que mayor decrecerá, con 2 % de disminución, siendo el máximo ganador en crecimiento de demanda la energía renovables con un aumento del 9 %, y le sigue la hidroeléctricas con 2 % y el gas con 1 % pero los combustible fósiles aunque decrecen su demanda tendrán aun mayoría en el balance energético mundial.

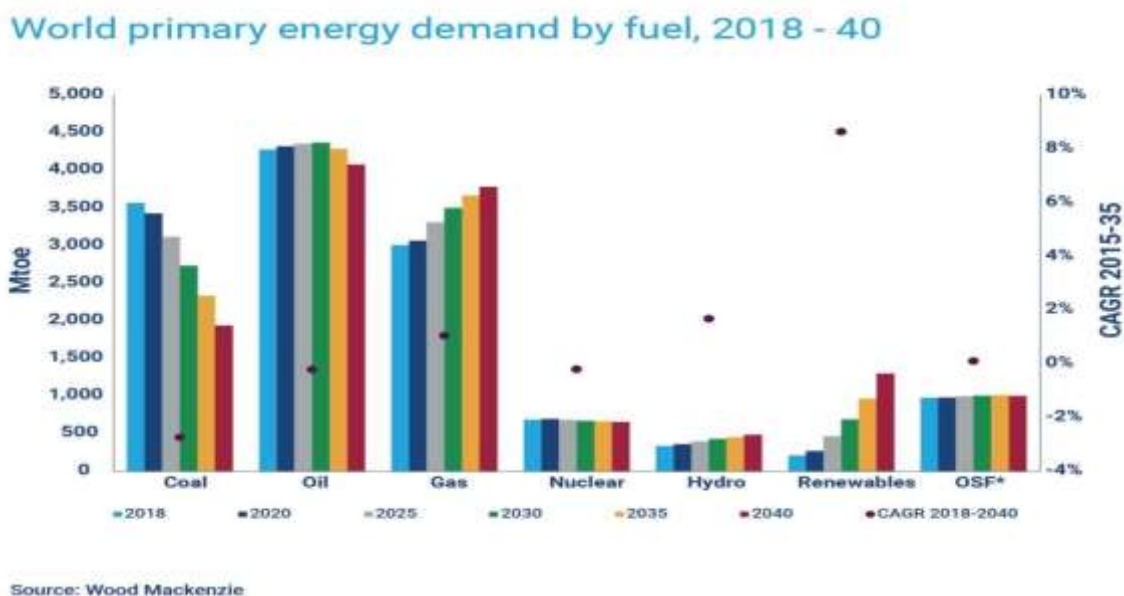


Figura 3: Demanda energía primaria mundial por combustible, 2018-2040. [Wood Mackenzie].

Mix de energía primaria en 2017

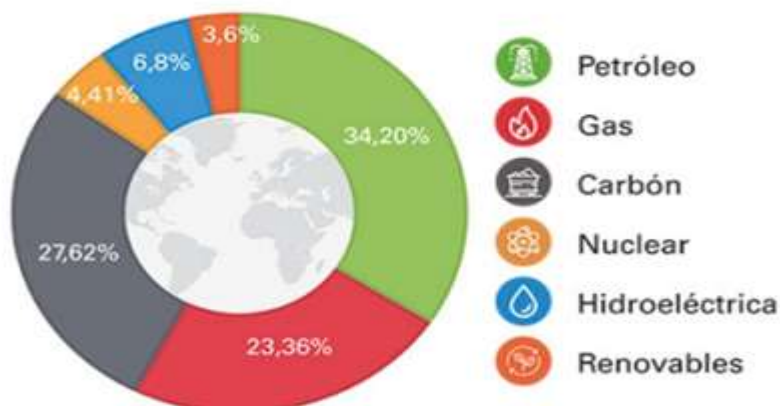


Figura 4: Componentes de energía primaria en 2017 [Fuente: BP - Informe Statistical Review of World Energy 2018]

En Cuba el petróleo destaca como uno de los puntos estratégicos para la economía, actualmente logra una producción anual de alrededor de cuatro millones de toneladas de petróleo equivalente. Ese último es un factor de equivalencia, que se utiliza para saber las cantidades de gas y petróleo que se necesitan para generar una misma cantidad de electricidad.

El 97 % del gas producido en Cuba se dedica esencialmente a la generación eléctrica y al consumo directo de la población capitalina. En tanto, se genera más del 95 % de su electricidad con hidrocarburos y sus derivados, ya sea con petróleo crudo en termoeléctricas o con gas en plantas generadoras (Ver figura 5).

El uso de la energía fósil y la nuclear ha traído los siguientes problemas:

- Alteración efecto invernadero: La quema de combustibles fósiles provoca una mayor emisión de dióxido de carbono (se ha duplicado su concentración desde principios del siglo XX hasta ahora) lo que provoca un exceso de temperatura o calentamiento global que tiene como consecuencia el conocido cambio climático.

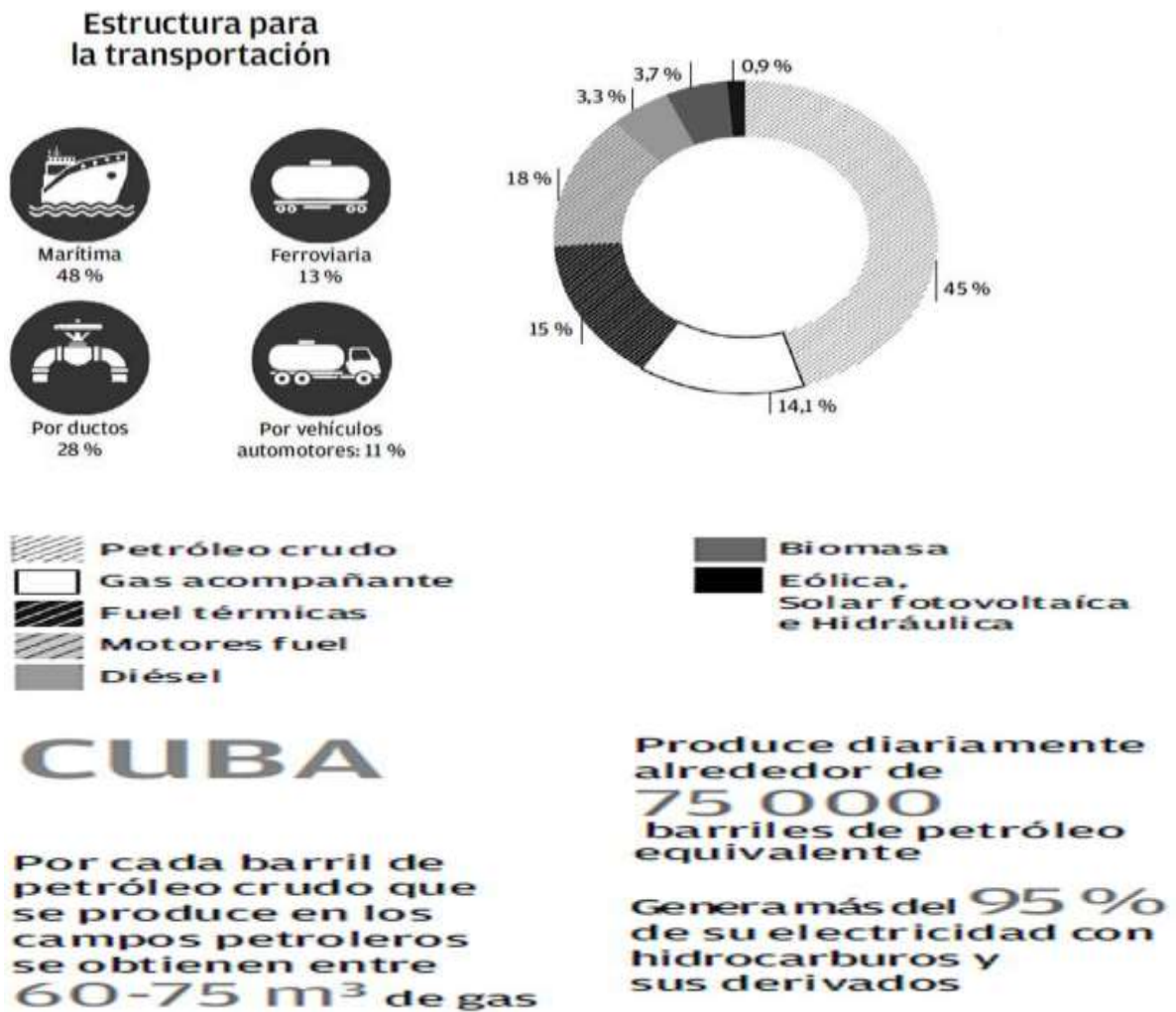


Figura 5: Producción de combustibles fósiles en Cuba. [CUPET]

- Lluvia ácida: La combustión de combustibles fósiles libera gran cantidad de óxidos de azufre y nitrógeno que reaccionan con gases de la atmósfera, y precipitan en forma de ácidos (sulfúrico y nítrico) incrementando la acidificación de agua en general. Esta precipitación, denominada lluvia ácida, causa daños en la vegetación, acelera la contaminación de la tierra y del agua y corroe los edificios, las estructuras metálicas y los vehículos.

- Conflictos bélicos / tensiones sociales: El control y explotación de los yacimientos de combustibles fósiles es causa de conflictos, guerras y tensiones sociales que cada día podemos ver en los medios de comunicación.
- Contaminación del aire, suelo y el agua: Para extraer el combustible se utilizan procedimientos (ejemplo el método Fracking) para la perforación de la tierra inyectando una mezcla de agua, arena, y diversos tipos de químicos que en su mayoría son muy tóxicos y peligrosos para la salud y el medio ambiente y actualmente se cuestiona la calidad del agua, del aire y del suelo.
- Altos riesgos de accidentes: Ha ocurrido numerosos accidentes en el manejo de los combustibles fósiles, derramamientos e incendios, de hecho la energía nuclear actualmente presenta riesgos en el manejo de sus desechos (muy peligrosos), mantenimiento y cierre cuando termina la vida útil de las centrales que usan el uranio como combustible, entre los graves accidentes que provocaron grandes pérdidas ambientales, económicas y sociales se encuentran en Three Mile Island en 1979, Chernobyl en 1986 y Fukushima en 2011, han relegado a esta energía a un papel secundario en gran número de países que en su día apostaron por ella.

De continuar incrementándose el uso de combustibles fósiles se provocaría un daño irreparable a nuestro planeta, con incrementos de sequías, olas de calor, inundaciones y la exacerbación de los modelos climáticos que se dan en muchos lugares del mundo, provocando el aumento de los gastos de atender la salud impactada en las personas, pérdidas económicas debido al daño a la diversidad biológica, de los suelos y aguas, todo estos factores provocan la disminución de la eficiencia energética con el uso de los combustibles fósiles.

Es importante ahora buscar nuevas alternativas, el mundo tiene puesta la vista en el uso eficiente energía y la FRE.

La eficiencia energética está basada en la realización de distintas acciones para disminuir la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad, entre ellas, se encuentran las de carácter tecnológico a través de la introducción de mejoras, sustituciones o cambios en los procesos, en aparatos y

equipos por otros mas eficientes, como luminarias de bajo consumo, electrodoméstico mas eficientes, sistemas de ahorro automáticos en ordenadores, Campañas de fomento del ahorro relacionadas con la concienciación ciudadana, la difusión, la divulgación y la formación en medidas de ahorro energético, etc.

Una de las medidas mas utilizada en el mundo es la de sustitución de fuentes de energia. Estas medidas pueden abarcar la sustitución de un combustible fósil, como el fuel, por otros combustibles también fósiles pero más eficientes y menos contaminantes, tales como el gas natural o el diesel sintético. Sin lugar a dudas, las medidas de sustitución más eficaces son las que logran sustituir los combustibles fósiles por energías renovables, con lo que se consigue eliminar las emisiones contaminantes en la generación de electricidad.

1. 2 Las Fuentes Renovables Energía (FRE).

Las fuentes de energía renovable han sido aprovechadas por el hombre desde hace mucho tiempo, básicamente acompañadas de la energía animal, y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la “Revolución Industrial”, en los combustibles fósiles por su menor precio.

Durante los últimos años, precisamente pensando en el futuro agotamiento de las fuentes de energía fósiles, en la gran dependencia exterior de muchos países de estas, en el progresivo incremento de su coste y en los problemas medioambientales derivados de su explotación, transporte y consumo, se está produciendo un renacer de las energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Las diferentes fuentes naturales para generar energía limpia incluyen el viento, la luz solar, el agua, el calor geotérmico, las mareas, y diversas formas de biomasa, siendo todas ellas inagotables y encontrándose en constante renovación Además tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

A continuación una breve descripción de cada una de ellas:

Energía hidráulica: Energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. Se necesita construir las necesarias infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas

Energía solar térmica: Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios o fábricas. También, se podrá conseguir refrigeración durante las épocas cálidas. En agricultura se pueden conseguir otro tipo de aplicaciones como invernaderos solares que favorecieran las mejoras de las cosechas en calidad y cantidad, los secaderos agrícolas que consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible. Con este tipo de energía se podría reducir más del 25 % del consumo de energía convencional en viviendas de nueva construcción con la consiguiente reducción de quema de combustibles fósiles y deterioro ambiental.

Biomasa: La vida a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

Energía solar: La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede

transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía lumínica puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica en edificios. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte -que en la actualidad suponen aproximadamente el 40 % del total- y la dependencia energética.

Energía eólica: La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

Energía Geotérmica: La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el ser humano mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

Energía mareomotriz: La energía marina o energía de los mares (también denominada a veces energía de los océanos o energía oceánica) se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria.

1.2.1 Estado actual del uso de energías renovables a nivel mundial

El uso de FRE según análisis de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en la publicación World Energy Outlook 2018, ha tenido la tendencia mundial de un rápido despliegue y disminución de los costos de las tecnologías de energía limpia, estimando en 2040 representen el 40% del sistema eléctrico frente al 25% actual.: El costo medio comparable de la electricidad producida por tecnología solar fotovoltaica se redujo un 70 % entre 2010 y 2016. La producción eléctrica eólica también disminuyó durante ese mismo periodo, pero menos, un 25 %. Con tendencia al incremento futuro del uso de las FRE.

Incluso el reporte 2018 sobre la Situación Mundial de Renovables de REN21 reflejan que 178 GW de renovables se sumaron a nivel global en 2017 (un 70 % de la capacidad de generación energética).

En este contexto, la demanda global de energía creció un 2,2%, con un 60% de este incremento procedente del gas natural y de las energías renovables, que crecieron un 3% y un 17% respectivamente, lo que pone de manifiesto una tendencia a largo plazo hacia un modelo energético con menores emisiones. La energía nuclear creció un 1,1%, con incrementos notables en China y Japón, y la hidroeléctrica aumentó un 0,9%, aumento lastrado por la caída de la producción en Europa. Finalmente, el carbón creció por primera vez desde 2013, en un 1 %. (Ver figura 6).

En la figura 7 se muestra el análisis de Costo Nivelado de Energía, evidenciándose una disminución continua en el costo de generar electricidad a partir de tecnologías debajo del costo marginal de la generación convencional.

Los costos de la electricidad generada por combustibles convencionales actualmente en muchos países es mayor que la generada por FRE ⁽¹⁾, principalmente la Fotovoltaica en dependencia de la radiación solar del país o lugar, mientras mayor sea está más barato será su costo. Incluso sin tener en cuenta externalidades como son que a nivel mundial la determinación de los costos del kWh de generación eléctrica en plantas termoeléctricas fósiles no ha tenido en cuenta todos los factores que la componen, una de las omisiones más importantes es la evaluación de los costos producidos por las

externalidades ambientales asociadas a la generación de energía eléctrica fósil, a pesar de estar bien reflejadas en innumerables estudios al respecto.

Variación del consumo de energía 2016 vs 2017



Figura 6: Variación del consumo de energía 2016 vs 2017. [Fuente: BP - Informe Statistical Review of World Energy 2018].

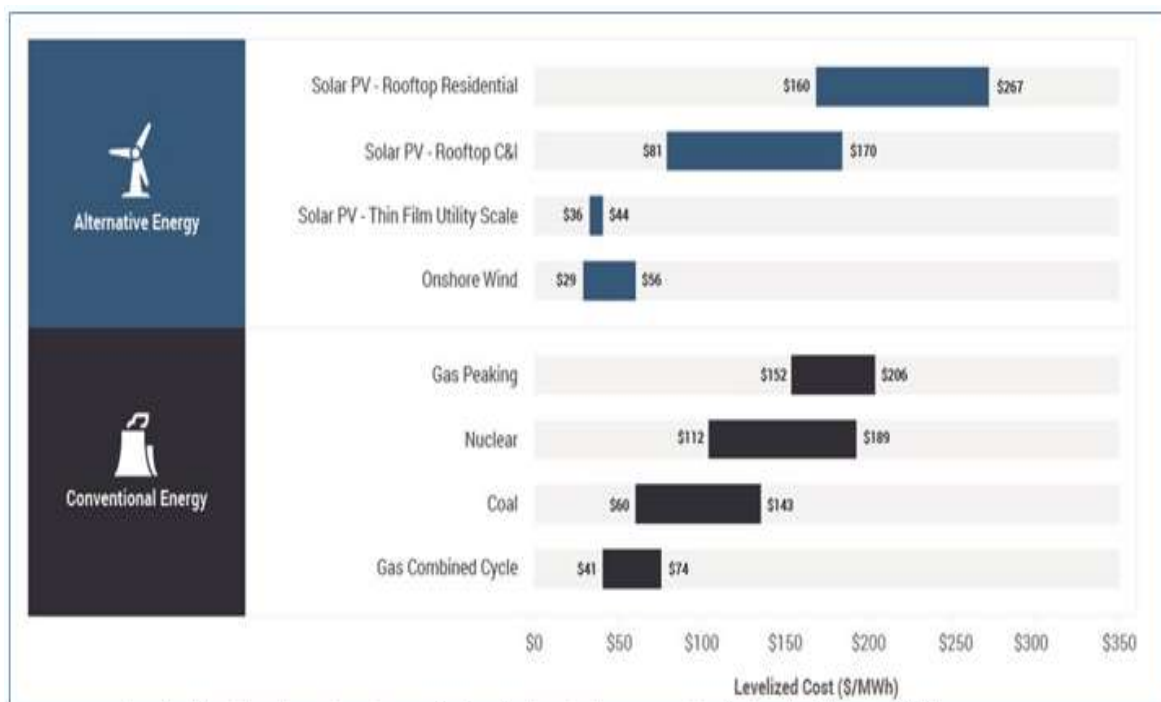


Figura 7: Costo Nivelado de Energía. [Fuente: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/>]

Estas externalidades no solo se refirieren a las consecuencias destructivas de planeta que se originaran por el calentamiento global del planeta en la que Cuba no estará exenta, sino también una parte producto del aporte a la polución atmosférica por la quema y de la combustión de combustibles fósiles, que según la Organización Mundial de a Salud - World Health Organization (WHO) - en artículo del 2014 [www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollútilon/en] plantea que ocasiona 7 millones de muertes prematuras al año, decenas y cientos de millones de enfermos , gastos en salud, que según esta y otras fuentes ocasionan un costo extra entre 15 y 16 centavos de USD por kWh fósil. ⁽¹⁾

1.2.2 Estado actual del uso de energías renovables en Cuba.

En Cuba los principales problemas del sector energético son la alta dependencia de combustibles no renovables para la generación eléctrica, que según la UNE es del 95.4 % de combustible convenciones de origen de petróleo, lo cual hace que Cuba tiene uno de los costos de generación del kWh fósil más altos del mundo⁽¹⁾ y la vez su utilización deriva una alta contaminación ambiental. [Boletín de FRE de la UNE. Semanal No. 97. No. 1 Año 2018. 5 de enero de 2018]

Entre las causas atribuidas a estos problemas se identifican la baja eficiencia en la generación térmica, las pérdidas en las redes de distribución y la reducida utilización de los recursos renovables: por ejemplo, en la matriz energética de Cuba en el 2013 las FRE constituyeron solamente el 4,6 % (Murillo, 2014). ⁽¹⁾

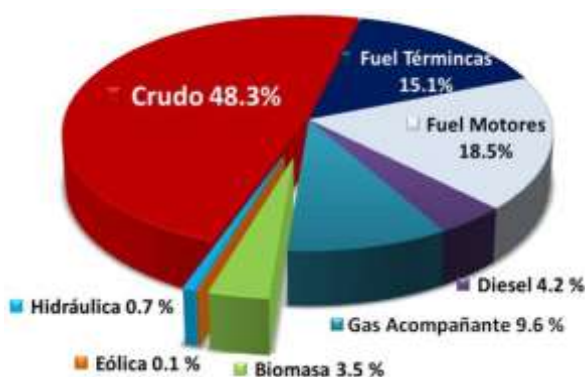


Figura 8 Matriz energética 2017. [Fuente: Ministerio Energía y Minas]

En Junio de 2014 en Asamblea Poder Popular se aprueba la Política para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía, estableciéndose una estrategia definida para el 2030 con el esfuerzo del MINEM, la UNE y otros centros de I-D, haciendo un arduo trabajo para lograr el objetivo de que la matriz energética del país se nutra de las FRE, en no menos de un 24 % antes del año 2030.

La nación es rica en recursos para potenciar el uso de la energía solar, la eólica, biomasa (fundamentalmente la procedente de la caña de azúcar) y la hidroenergía.

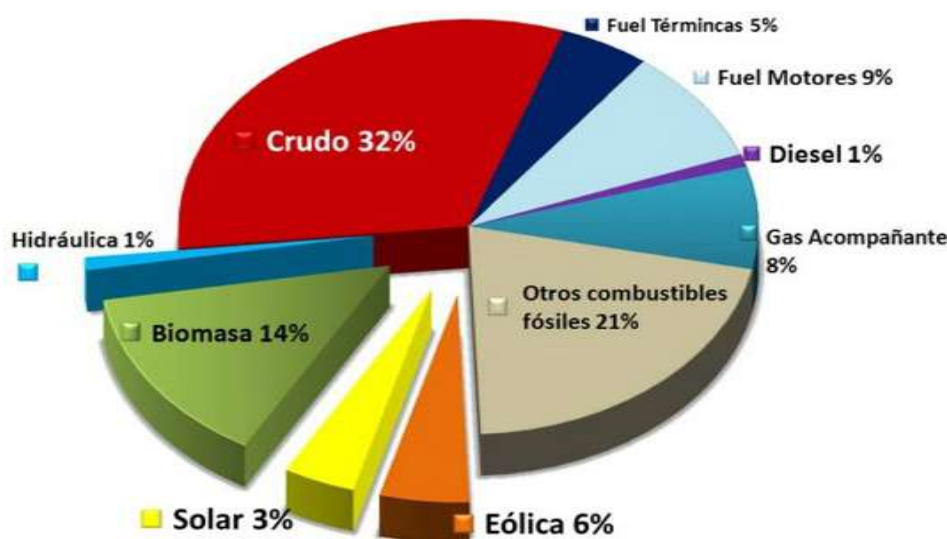


Figura 9: Cómo debe ser la matriz energética para el 2030. [Fuente: Ministerio Energía y Minas].

De esta proyección, el ministro de Energía y Minas de Cuba, Raúl García Barreiro, anunciaba lo siguiente por la televisión nacional [<http://www.cubadebate.cu/especiales/2018/12/14/todos-los-cubanos-ya-disponen-de-servicio-electrico/>] a pocos días de terminar el 2018 lo concretado en el 2018 y los planes de inversión durante este año 2019:

- Todos los cubanos ya disponen de servicio eléctrico por alguna vía desde abril del 2018, 17 mil 614 viviendas que no contaban con electricidad -localizadas fundamentalmente en zonas de difícil acceso- ya disponen de tan esencial servicio gracias a la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

- Al programa de las FRE en el 2019 se dedican 275 millones de pesos para la instalación de 43 nuevos parques solares fotovoltaicos con 179 MW . Existiendo en el cierre del 2018 un total de 65 parques solares fotovoltaicos instalados que generarán 152 MW.
- Además, la biomasa cañera como fuente de energía se construyen tres bioeléctricas en el 2019, cada una de 20 MW en Villa Clara y Matanzas, y la otra de 60 MW con inversión extranjera en Ciego de Ávila, ya en etapa avanzada de ejecución.
- Se culminará en el 2019 la construcción de los parques eólicos Herradura 1 y 2 (50 MW cada uno) en Las Tunas. Estos parques comenzarán a entregar energía a finales de 2019 o inicios de 2020.

1.2.3 Estado de la FRE en Holguín

De acuerdo con Héctor Lugo Graña [<http://www.trabajadores.cu/20181228/apuesta-holguin-por-generacion-de-energia-con-fuentes-renovables/>], Director de la Empresa Eléctrica Provincial, Holguín en la actualidad es la de mayor capacidad de generación eléctrica instalada, tiene un gran futuro en la utilización de las energías eólica y solar, con las que se reducirá considerablemente el consumo de combustibles fósiles.

Los dos parques eólicos existentes en Gibara, se le sumara en el futuro mediato cuatro más, se construirán en Punta de Mula y Cabo Lucrecia, ubicados en los municipios de Banes y Gibara, respectivamente con capacidad de generación en conjunto de 150 MW.

En cuanto a la creación de parques fotovoltaicos, se prevé la implementación de tecnología para producir hasta 100 MW distribuidos en toda la provincia, con lo cual se ampliará la utilización de la energía solar, que ya tiene su primer gran experiencia en la zona de Yuraguanal, en el municipio de Rafael Freyre, con potencia instalada de 4,4 MW.

Para el 2030 en Holguín el 40% de la generación será a partir de parques fotovoltaicos. La presa Mayarí brindará sus aguas a una nueva Pequeña Central Hidroeléctrica en la margen izquierda del embalse, mientras la ubicada en la orilla derecha, entregó más de

25000 MWh al Sistema Electroenergético Nacional, desde su sincronización en el 2017.

1.3 La Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable.

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados.

La instalación de los paneles fotovoltaicos pueden conectarse como sistemas aislados a la red (autónomos) y conectados a la red.

1.3.1 Sistemas aislados

Una instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol. Normalmente requiere el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares -o baterías- y permite utilizarla durante las 24 horas del día.

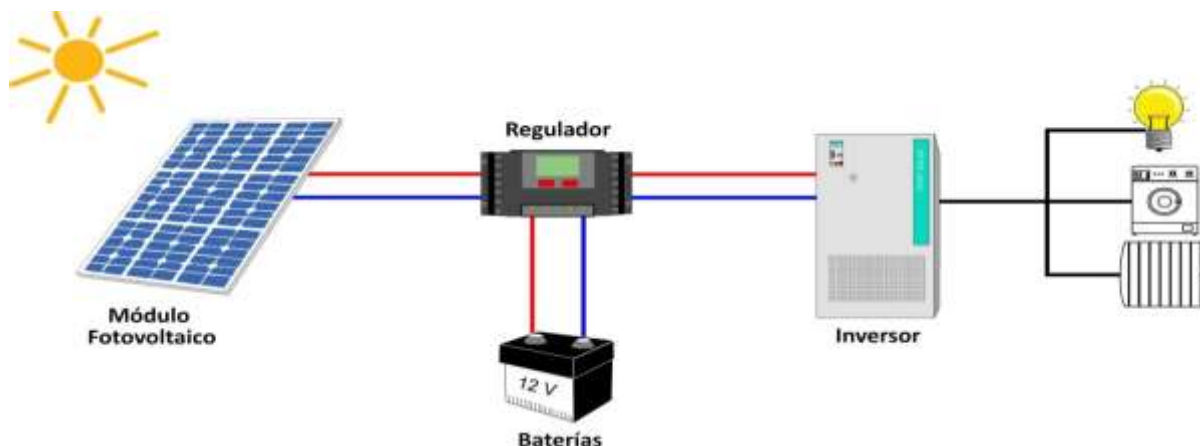


Figura 10: Esquema instalación fotovoltaica aislada

Estas instalaciones fotovoltaicas aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas generalmente se diferencian por su tensión del sistema (corriente continua o corriente alterna). En los sistemas off-grid acoplados en corriente continua, el panel solar se conecta a través de reguladores de carga de CC/CC.

El esquema de instalación de un sistema fotovoltaico aislado se muestra en la figura 10, se utiliza un inversor fotovoltaico convencional para inyectar corriente a la red eléctrica. Este sistema fotovoltaico normalmente está compuesto por paneles solares, regulador de carga (encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas. Además, controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula su intensidad para alargar la vida útil.), acumuladores solares, inversor fotovoltaico, etc. Se recomienda el uso de un monitor de acumulador para controlar el estado de carga de las baterías.

La instalación de un sistema fotovoltaico aislado debe ser debidamente planificada, estudiada y diseñada, teniendo en cuenta, principalmente, estos cinco factores:

- La potencia de conexión necesaria,
- El consumo de energía,

- El tipo de consumo (corriente continua, alterna, monofásica, trifásica, etc.),
- El período de uso,
- La localización y el clima.

Aplicaciones de fotovoltaica aislada:

- Electrificación rural: bombeo de agua, regadío, cámaras de refrigeración, etc.
- Señalización terrestre: alumbrado, señales de advertencia, semáforos, etc.
- Aplicaciones industriales: torres de telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia en las refinerías de petróleo y gas.
- Actividades de ocio: en refugios de montaña, casas de jardín, barcos o caravanas.

1.3.2 Sistemas conectados a la red.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica funcionan como si fueran un generador más, es decir, son una central de producción de electricidad que aporta energía a una red eléctrica. Puede ser una instalación para venta de energía a red o una instalación para autoconsumo.

El consumo de energía de una edificación (fabrica, escuela, hotel, etc) con instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica, no se hace exclusivamente de los paneles solares, pues puede ser que la energía generada por los paneles fotovoltaicos de nuestro sistema de consumo normalmente no es suficiente para cubrir todos los consumos y por tanto, el edificio también se alimentará de la energía que llega de la red de suministro, pagando a la empresa generadora los kWh que consuma de la misma.

Se pueden encontrar sistemas de autoconsumo con conexión a red de cualquier tipo de potencia, pero las más habituales se encuentran en el rango de entre 1,5kW y los 100 kW. Contemplando instalaciones de paneles solares fotovoltaicos en multitud de espacios que se pueden instalar (tejados, terrazas, suelo, ...) en viviendas, almacenes, naves industriales, plantas de producción, integración de edificios y más, ya se puede ver que las aplicaciones que se alcanza dar a una instalación de autoconsumo

fotovoltaico son muy distintas y variadas, eso sí, para que sean instalaciones de autoconsumo con conexión a red todas deberán estar conectadas a la red eléctrica.

Los sistemas conectados a la red no necesitarán baterías para el almacenamiento de la energía, por lo tanto su inversión inicial será más baja.

Elementos que componen las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica:

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica está compuesto principalmente por dos elementos:

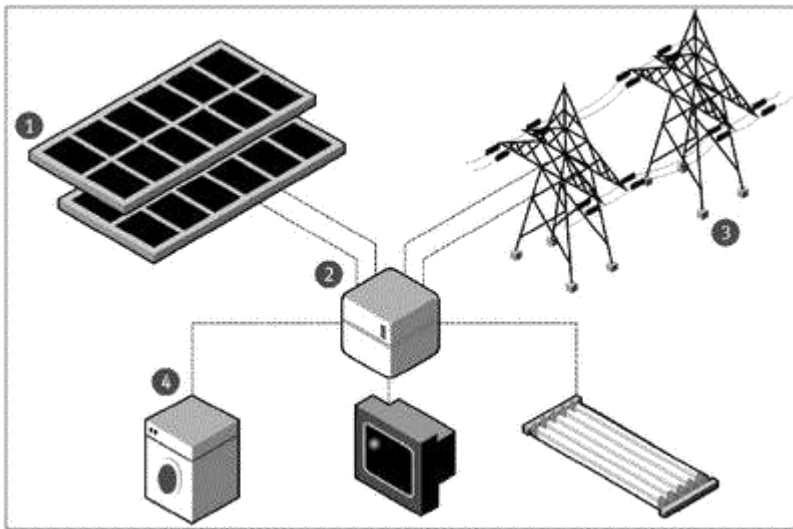


Figura. 11. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red. 1) Panel solar. 2) Sistema electrónico que incluye el inversor en fase con la red, además del metro contador para determinar el consumo y producción de energía. 3) Red eléctrica. 4) Carga eléctrica.

- El primero de ellos es el grupo de paneles solares fotovoltaicos, pieza encargada de transformar la radiación solar en energía eléctrica, producida en corriente continua y cuya potencia generada depende mucho de la intensidad de la radiación solar y de la temperatura.
- El segundo elemento es el inversor. Este pequeño aparato tiene la tarea de transformar la energía eléctrica recibida por los paneles en corriente alterna perfectamente consumible, con las mismas características de la que existe en la red eléctrica. El inversor es un elemento que podemos conseguir de diferentes

potencias, tanto en monofásico como en trifásico y que deberemos elegir en función de nuestras necesidades.

Aparte de estos elementos principales, cada vez más se está añadiendo otros elementos a la instalación:

- El medidor de energía propio del sistema solar. Este pequeño equipo es necesario incluirlo en las instalaciones de autoconsumo que no desean realizar vertido a red o que incluyen baterías.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica se han convertido en una de las opciones más atractivas cuando hablamos de energías alternativas. Un tipo de sistema que ha logrado aportar beneficios a quienes demandan no solo más eficiencia, sino también que al final del camino represente un ahorro significativo en la factura de la luz, sobre todo ante los incrementos vertiginosos de las tarifas eléctricas que hemos sufrido en los últimos años.

De acuerdo a que la sede de la Universidad Oscar Lucero Moya se encuentra en un área urbana accesible a la red eléctrica se selecciona instalar el Sistema Fotovoltaico conectado a red y a la vez se disminuye los costos, el no tener que comprar baterías y reguladores y que el uso de baterías tiene la limitante que sólo puede extraerse 80% de la energía almacenada en las baterías. [<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia38/HTML/articulo02.htm>].

La búsqueda bibliográfica realizada evidencia que el futuro empleo masivo de la energía fotovoltaica estará indisolublemente asociado a los sistemas conectados a la red.

Entre los casos se encuentra el estudio de eficiencia energética en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras (2014) que propone la implementación de medidas de eficiencia energética (MEE) y energía renovable en su centro de capacitación W.K. Kellogg. Donde se realizó la selección y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico y solar térmico que permitirá la diferenciación de la matriz de consumo energético del Centro garantizando la disponibilidad de energía. Los ahorros

percibidos por el estudio fueron aproximadamente USD 16,380 que representan el 40% de energía ahorrada por la implementación de MEE; Las cuales demuestran una mayor rentabilidad en un periodo de recuperación de 1 año.

El estudio preliminar de Alternativas de Empleo de Energía Fotovoltaica conectado en red en la Universidad Central Villa Clara (2015). Los resultados de esta investigación muestran el elevado potencial fotovoltaico presente en las áreas universitarias que no precisan de grandes inversiones teniendo presente sus características constructivas. La evaluación económica de estos proyectos muestra que en la mayoría de las áreas estudiadas resulta factible llevar a cabo este tipo de inversión pues el periodo de recuperación considerando solamente la mitad de la vida útil del proyecto oscila entre 2 y 7 años en todos los casos, lográndose obtener un cubrimiento de la demanda de energía que alcanza hasta un 40 % en horarios de máxima demanda.

Otra investigación realizada en Cuba en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) con la Implementación de un sistema fotovoltaico con conmutación a la red para parte de las cargas del CEETAM en el ISMMM (2017). En este trabajo se realiza el estudio de un Sistema Solar Fotovoltaico implementándolo para suministrar parte de la energía eléctrica AL departamento del CEETAM en el ISMMM. Como resultado sede muestra que el equipamiento con que cuenta el departamento del CEETAM posee la capacidad de suministrar una cantidad de energía que garantisse determinados servicios y así dejar de consumir electricidad proveniente de la combustión de combustibles fósiles.

Se concluye que el empleo del Sistema Solar Fotovoltaico con los recursos con que cuenta el CEETAM puede ser de marcada importancia por su eficiencia y su impacto al medioambiente

Capítulo 2: Proyección de los sistemas fotovoltaicos

2.1. La Energía Fotovoltaica en la Universidad de Holguín.

La sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín radica en carretera Aniversario s/n, Reparto Piedra Blanca, municipio y provincia Holguín donde se ubican sus principales instituciones administrativas, científicas y académicas; instalaciones deportivas, recreativas y culturales.

2.1.1 Caracterización de las instalaciones

La sede Oscar Lucero Moya de la UH la componen las siguientes instalaciones, edificios administrativo, las residencias, la casa estudiantil, cocina comedor, talleres, locales de mantenimiento, ATM, edificio H, los laboratorios de informática, Biblioteca, y docencia. En la figura No. 12 aparece la imagen de Google Earth de las áreas de la sede Universidad Oscar Lucero Moya.

Es de destacar que la residencia estudiantil posee 6 edificios. Uno de ellos está habilitado como Hotelito de post grado, otro alberga a todos los estudiantes extranjeros y los cuatro restantes alojan al resto de los estudiantes internos.

Edificio H: En sus 3 plantas y más de 150 oficinas agrupan tanto personal docente como no docentes de oficinas y facultades. Tiene también laboratorios con cantidades considerables de computadoras.

Informática: En el bloque que comprende los laboratorios de Informática de diferentes facultades, se concentra la mayor cantidad de equipos informáticos, además del centro de estudio CAD/CAM.

Biblioteca: Incluye oficinas, laboratorios así como las diferentes salas especializadas de la biblioteca.

En la sede universitaria en su gran mayoría las edificaciones son aptas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, el procedimiento para la selección de las

mismas fue siguiendo los parámetros de los mayores consumidores de energía eléctrica principalmente, el estado de la cubierta y la disponibilidad de espacio.



Figura No. 12 Imagen de Google Earth de las áreas de la sede Universidad Oscar Lucero Moya

2.1.2 Comportamiento del consumo de energía en los últimos años.

La Sede Universitaria Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín se alimenta de la subestación Mayabe 110 kV a 13,2 V a través del circuito 12. Interruptor H2010.

En la figura 13 se muestra a continuación un esquema Ramal de alimentación Monolineal de la sede Universidad De Holguín Oscar Lucero Moya.

El consumo energético se divide en tres bloques energéticos con sus respectivos bancos de transformadores:

1-Bloque del centro de cálculo (componen el edificio H, los laboratorios de Informática y la Biblioteca) con las característica del banco de Transformador mostrada en Anexo1.

2-Bloque residencial (se compone de la residencia, la casa estudiantil, cocina-comedor, talleres y locales de mantenimiento) con la característica del Banco de Transformador mostradas en Anexo 2.

3- Bloque docente (se componen del edificio docente) con la característica del Banco Transformador mostradas en Anexo 3.

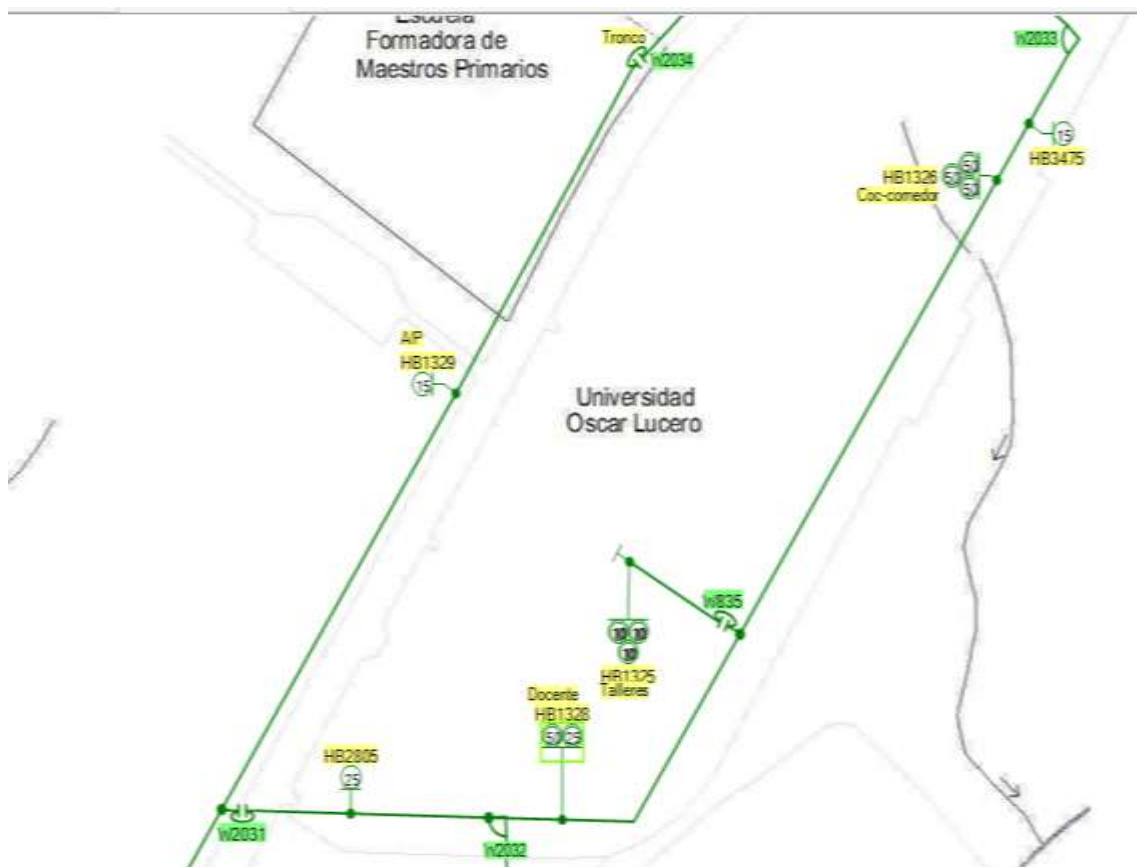


Figura 13: Ramal de alimentación Monolineal de Universidad

En los gráficos mostrados en la Figura No. 14 se muestra el consumo de energía eléctrica de los tres bloques y de laboratorio que posee servicio de prepago desde los años 2016 al 2018 y también el total. (Fuente: Área Facturación de la Empresa Eléctrica Holguín).

Evidenciándose que el consumo de energía eléctrica en la sede Universidad Oscar Lucero Moya desde el 2016 al 2018 ha disminuido principalmente por las afectaciones a los portadores energéticos debido a la situación económica del país. El bloque residencial y el centro de cálculo son los que mayor consumo tienen

En los Anexos No. 4 al 7 aparecen los consumos energía eléctrica de los bloques por meses y en los anexos No. 8 al 11 por promedio diario en el periodo del 2016 al 2018 Como promedio entre los tres últimos años el mes de mayor y menor consumo en los bloques son:

- El mes de mayor consumo en el bloque centro de cálculo es el mes de junio con 38,3 MWh y el mes de agosto es el de menos consumo con 16,1 MWh
- En el residencial el mes de mayor consumo es mayo con un promedio de 45,3 MWh, y el de menos consumo es agosto con 26,0 MWh,
- En el docente el mes de mayor consumo es junio con un promedio de 7,5 MWh, y el de menos consumo es agosto con 2,7 MWh,
- En el Laboratorio el mes de mayor consumo es febrero con 1,31 MWh y agosto el menor con 0,34 MWh

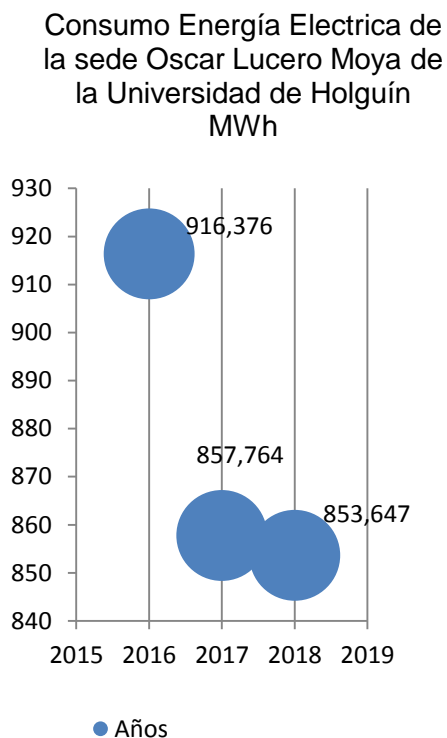
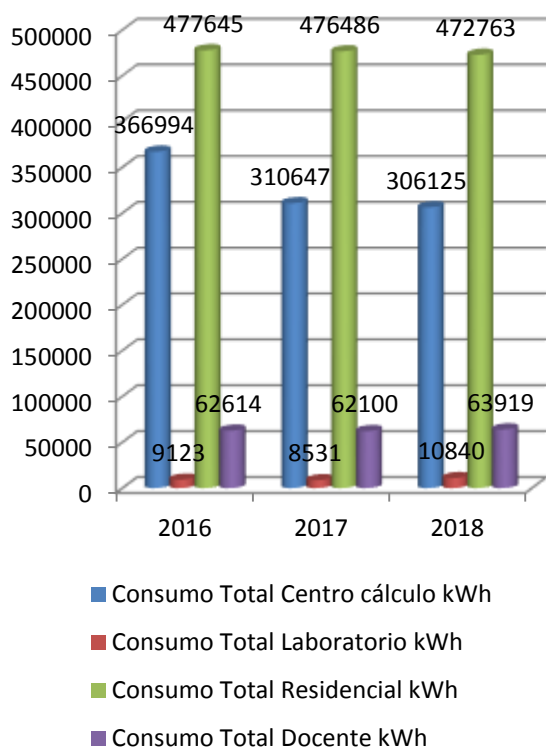


Figura No. 14: Gráficos de consumo de energía eléctrica por Bloque y total

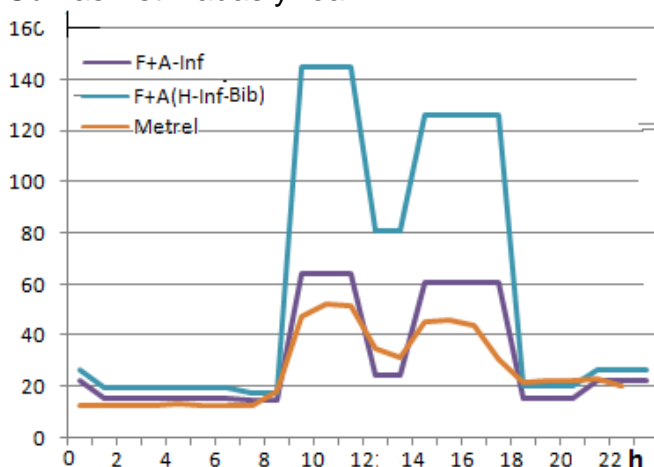
En entrevista al Ing. Joan Pérez Zapata, energético de la UH se pudo constatar el consumo de electricidad de la sede Oscar Lucero Moya de la UH a través de los datos que entregó y que se muestra a continuación:

En la figura No. 15 se muestra que el consumo total estimado para un día (24 horas) del centro de cálculo (componen el edificio H, los laboratorios de Informática y la Biblioteca de la sede Oscar Lucero Moya" de la universidad de Holguín) es de 1418,03 kWh correspondiendo el 77,5 % (1098,42 kWh) al horario que comprende la jornada laboral.

El consumo medido para un día en el mes de junio es de 617,075 kWh, del que el 70,4% (434,475 kWh) resulta el consumo entre las 8 y las 17 horas. Resulta menor que el estimado debido a que en junio los laboratorios docentes no trabajan disminuyendo las cargas.

El consumo del edificio de los Laboratorios de Informática es más de la mitad del consumo total de los edificios H, Informática y Biblioteca debido a la concentración de más de la tercera parte de las computadoras y los sistemas de climatización.

Curvas Estimadas y real kWh



F+A-Inf: Consumo total (fuerza más alumbrado) sólo del edificio Laboratorios de informática

F+A(H-Inf-Bib): Consumo total (fuerza más alumbrado) de los edificios H, Lab Informática y Biblioteca.

Metrel: Mediciones realizadas con el analizador de red Metrel sólo en los Laboratorios de Informática

Figura No. 15: Consumo estimado y real bloque centro de cálculo

En cuanto al Bloque residencial (se compone de las residencias, la casa estudiantil, cocina comedor, talleres y locales de mantenimiento) el consumo total estimado para un día (24 horas) es 1953,024 kWh

De la figura No. 16 se obtiene que sólo el 14,4 % del consumo de potencia eléctrica corresponde al alumbrado, mientras que el resto (85,6%) corresponde a Fuerza, por lo que el estudio se centrará en este aspecto.

kWh Consumo estimado

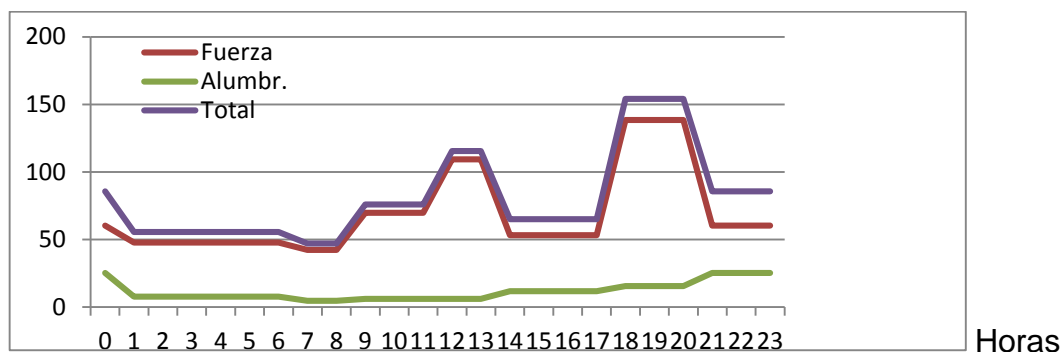


Figura No. 16 Consumo estimado Bloque residencial

Entre las 8 y las 11 se produce un incremento del consumo en la misma medida que aumenta la actividad en los bloques que comprenden las residencias de aproximadamente un 51% con relación al consumo entre las 8 y las 11 am.

Este significativo aumento se debe a la cocción de alimentos utilizando equipos altos consumidores.

Entre las 13 y las 17 horas el consumo baja hasta aproximadamente 65,122 kWh, para luego entrar en las horas de mayor consumo entre las 18 y las 21 horas, alcanzando los 154 kWh.

Las causas fundamentales están en el calentamiento de agua para efectuar el aseo y la conexión de una cantidad considerable de equipos altos consumidores para efectuar la cocción de alimentos.

Analizando los datos tabulados se aprecia que en sólo 5 horas (20,8% de las horas del día) se consumen 693,406 kW/h que corresponde al 35,5 % del consumo total.

Aunque en las horas de la noche y la madrugada se aprecia una considerable disminución del consumo, todavía permanecen en niveles altos debido a la cantidad importante de ventiladores y televisores que existen en las residencias.

Los resultados anteriores se han comprobado de manera práctica mediante mediciones.

kWh

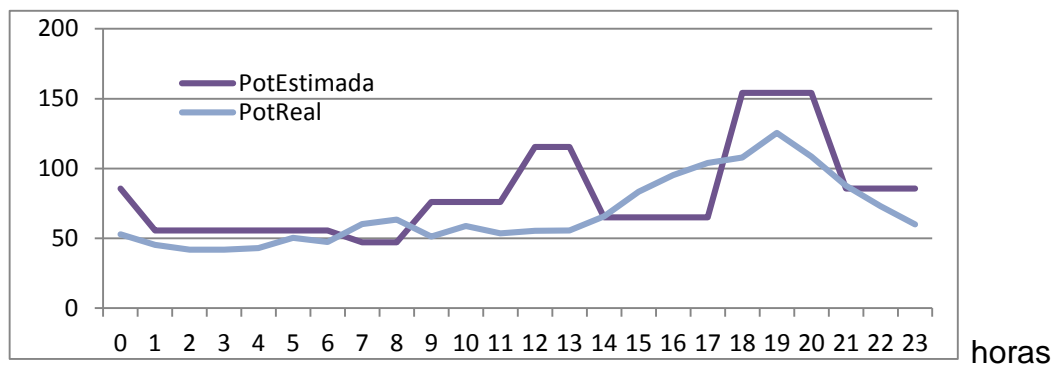


Figura No. 17: Consumo estimado y real bloque residencial.

En la figura No. 17 el gráfico medio de las dos mediciones se aprecia un comportamiento irregular entre las 6 y las 23 horas con 2 picos significativos, el primero ocurre entre las 6 y las 8 de la mañana (63,4 kWh valor máximo). A partir de las 19 y hasta las 21 horas el consumo se incrementa drásticamente hasta llegar a 125,55 kWh como máximo.

Comparando los gráficos del estimado con el real no se aprecia coincidencia en la formas de las curvas en la mayoría de los intervalo de tiempo, sin embargo es importante notar que el consumo entre las 6 y las 8 horas en la medición real es superior al consumo estimado.

En el horario pico del día (entre las 11 y las 13 horas se aprecia que las mediciones reales son inferiores a las estimadas. En el horario pico de la noche sucede lo mismo (menor el real que el estimado), pero en ambos casos se produce un incremento considerable del consumo.

Lo más significativo sucede entre las 14 y las 17 horas donde el consumo real llega a superar al estimado en aproximadamente 40 kWh. Esto se debe básicamente a consumos que tienen lugar en ese intervalo de tiempo en las residencias, que no fueron declarados y por tanto aleja considerablemente las potencias reales de las estimadas.

De acuerdo a las mediciones registradas en los bloque que comprenden: Las 6 residencias, la cocina comedor, los almacenes, mantenimiento y la casa estudiantil, el consumo total promedio es de 1632,6 kWh/día (1,632 MWh/día).

Se concluye que atendiendo a los consumos de electricidad de los bloques (ver figuras No. 14 a la 17), se requiere priorizar la proyección del sistema fotovoltaico conectado a red en las áreas que componen los bloques residenciales y centro de cálculo, los cuales son los de mayor consumo de energía eléctrica.

2.2 Diseño del Sistema fotovoltaico conectado a red.

2.2.1 Evaluación del área a utilizar

Se realizó una evaluación de las áreas de la universidad donde fuera más factible la instalación de paneles solares teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- sus condiciones estructurales y soporte de carga son adecuadas para instalar en ellas los sistema fotovoltaicos con una perspectiva como mínimo de 20 años.
- Las edificaciones o elementos que sean fuentes de sombreado: Se valora que no sean afectados por formas irregulares, obstáculos o varios niveles en la cubierta, edificaciones cercanas que tengan la altura y cercanía como para generar sombreado sobre la cubierta, u otro efecto de sombreado por parte de elementos lejanos (ejemplo una montaña, tanque elevado, etc).
- Se tiene acceso permanente a la cubierta.
- Evaluación puntual de la radiación, la temperatura solar incidente y determinar la cantidad de energía que produce el proyecto, para ello fue utilizado el software RET SCREEN, facilitado por la Empresa Hidroenergía y cuyos cálculos aparecen en los anexos 12 y 13. Este fue nutrido de datos aportados por el Instituto de Meteorología (Anexo 14) tales como la radiación y la temperatura. En ambos casos se recibió instrucción para su utilización y estos software fueron aprobados por la Dirección General Fuentes Renovables Energía de la UNE. El documento de aprobación o autorización para el uso del software aparece en el Anexo 15.

El resultado de la evaluación de las cubiertas de las áreas teniendo en cuentas los requisitos anteriores se muestra en el Anexo 16:

Observaciones:

En la figura No. 18 se muestra la edificación o caseta en el centro de la azotea de los edificios residenciales con una altura de 2,9 m y en todos los lados posee un muro de 0,95 m de altura que proyectan sombra por lo cual se multiplicó por 2 (protocolo de la UNE en sus proyectos fotovoltaicos para evitar sombreado en los paneles) para conocer la distancia en que se debe colocar los sistemas de paneles fotovoltaicos para evitar pérdidas por sombreado y así fue en las demás áreas donde existan obstáculos que provoquen sombreado.

La casa estudiantil y el edificio Docente existen áreas que está afectada por sombras de vegetación y cercanía de edificio por lo cual seleccione una parte del área total como factible.

En el taller, biblioteca y cocina comedor no se concibe instalar paneles solares debido a que se encuentran afectados por formas irregulares, vegetación, edificaciones cercanas que tienen la altura y cercanía necesaria como para generar sombreado sobre la cubierta, u otro efecto de sombreado por parte de elementos lejanos como tanque elevado, etc.

En los anexos 24 al 31 se muestran los esquemas o diagramas de las áreas donde estarán ubicados los Sistemas fotovoltaicos.



Figura No. 18: Imagen azotea edificio residencial

2.2.2 Estructuras soportantes de los paneles.

Se obtuvo el cálculo de la velocidad máxima del viento, indicados por el Instituto de Meteorología (INSMET), según el Estudio de Cronología de Huracanes realizado por el mismo.

En el anexo 17 se muestran en tabla los períodos de retorno de los fuertes vientos para las zonas climáticas determinadas en la provincia Holguín (La Universidad de Holguín aparece en la zona remarcada)

Al evaluar esta tabla se determina que los valores máximos de la velocidad del viento ocurren en la zona costera y montañosa, dado por la afectación directa que tuvieron las mismas por los huracanes Ike (2008) y Sandy (2012), los cuales han sido los más intensos que han afectado a Holguín desde 1791. Los cálculos pueden interpretarse como que una vez en 25 años es de esperarse vientos de 205 km/h, 160 km/h y entre 130- 140 km/h para las zonas costera, montañosa e interior respectivamente.

- La estructura se eleva en la parte inferior de los módulos a 0,3 m sobre el nivel del techo para evitar la influencia de los vientos.
- Emplear estructuras fijas (no orientables),
- Usar en su composición, perfiles de acero galvanizado para aumentar la resistencia a la corrosión y al viento. De igual composición los pernos y tornillería. Con estos también se debe fijar la estructura al piso.
- La sujeción de los módulos a la estructura se efectuará mediante abrazaderas a su marco.

En la. Figura No. 20 se observa la estructura a utilizar.

2.2.3 Orientación e inclinación de los paneles

La orientación e inclinación de los paneles, para que capten la mayor cantidad de radiación posible es muy importante. [Revista Cubana de Ingeniería Vol. VIII, No. 2, mayo - agosto, 2017, pp. 29 – 34. Orestes Castillo Castillo¹, Antonio Sarmiento Sera²]. La irradiación durante cada mañana y su correspondiente tarde son como promedio anual simétricas alrededor del mediodía y que la máxima captación total del año corresponde con la orientación de los receptores hacia el sur (azimut = 0) y con una

inclinación igual a la latitud del lugar aplicable para el hemisferio norte. En cuanto a la inclinación, es conocido que los efectos de sombras sobre los módulos fotovoltaicos, son dañinos, pues se trata de la reducción de la posibilidad de recepción de los rayos solares. Al ser colocados en filas, las delanteras producen sombras sobre las filas posteriores.

Se considera el criterio expuesto por la literatura [Informe sobre optimización de costos de construcción y montaje de sistemas fotovoltaicos. Dr. C. Daniel Stolik Novygrad. Instituto Ciencias y tecnologías de materiales de la Universidad de La Habana] de instalar el módulo con inclinación a 15° (en lugar de los grados de latitud correspondientes) se obtiene una mayor resistencia del sistema a los vientos. pero además:

1. La diferencia de energía solar captada es pequeñísima.
2. Se privilegia la generación en el verano (mayor generación)
3. Disminuye la altura del poste posterior.
4. Se estrecha la calle entre filas de módulos . (disminución de área)
5. Posible ahorro de cableado

Todos estos factores en la construcción y montaje hay que tener en cuenta para disminuir los costos de la instalación fotovoltaica y hacerla más eficiente.

Por tal motivo y por experiencia existente en la UNE en proyección e instalación de parques fotovoltaicos los módulos se anclarán a la estructura con un plano de 15° (grados) de inclinación respecto a la horizontal y con orientación Sur, pues permite obtener mayor eficiencia, disminución de costos y que la lluvia o el lavado manual, resulten beneficiosos en el proceso de limpieza de los módulos.

2.2.4 Cálculo del número de paneles.

Para el cálculo del número de paneles del generador conectado a red, se consideran cuatro aspectos fundamentales, las dimensiones limitadas del terreno o azotea, las dimensiones de los paneles solares seleccionados, la inclinación de los paneles y la carga a alimentar.

Tipo de célula constituyente:

Los tipos de celdas seleccionados deberán de ser los mismos, en este caso: multicristalina.

El módulo que se empleará es el DSM-250 fabricado en la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara, ubicada en Pinar del Río, única en el país que se dedica a la producción de módulos Fotovoltaico. Las especificaciones del módulo se presentan en el anexo 18

2.2.4.1 Distancia mínima entre filas

Con el objetivo de disminuir al máximo el efecto de sombra entre los módulos, se calcula la distancia mínima de separación entre las filas de módulos solares que componen el generador fotovoltaico

En la revisión Bibliográfica aparecen varias formas la determinación de la distancia mínima entre filas, entre estas se encuentran las siguientes:

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDAE, la distancia “d”, medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura “h”, que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

$$d = h / \tan(61^\circ - \text{latitud}) \quad (1)$$

En la figura No. 19 se muestra la separación mínima entre filas de paneles y como se determina la altura (h) y la longitud lineal que ocupa en cubierta el panel inclinado un ángulo α , respecto a la horizontal.

Donde:

La distancia de separación entre filas de módulos fotovoltaicos depende del ángulo de inclinación de estos (α).

Siendo L: longitud del módulo o panel;

h: altura máxima del módulo inclinado.

d: distancia mínima desde el final del primer panel hasta el principio del segundo panel

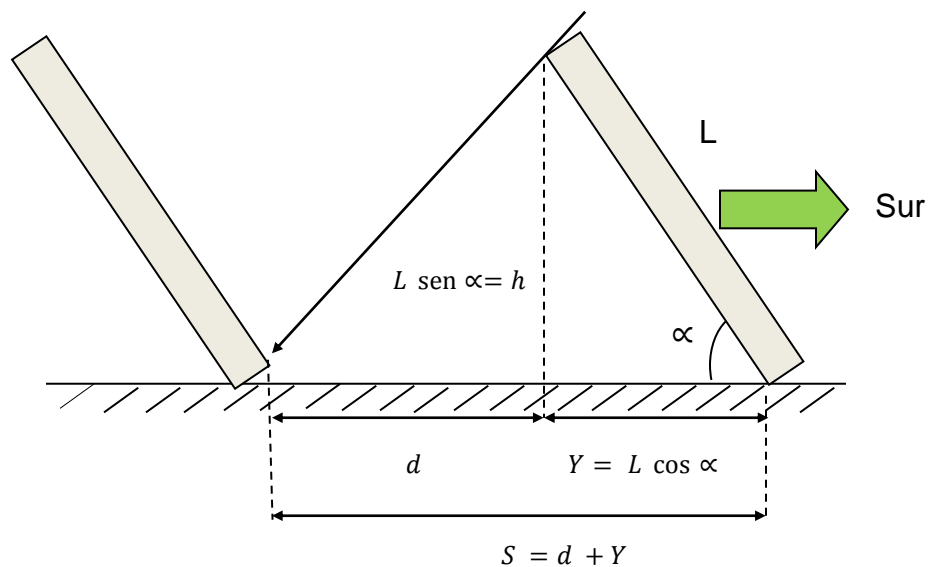


Figura No. 19: Esquema cálculo de la distancia mínima entre filas de paneles

La longitud lineal que ocupa en cubierta el panel inclinado un ángulo α , respecto a la horizontal se obtiene aplicando la expresión:

$$Y = L \cos \alpha \quad (2)$$

Donde:

Y: Longitud lineal que ocupa el panel (m).

L: Longitud del panel (m)

α : Angulo con respecto a la posición horizontal

S: separación o espaciamiento entre filas de módulos. Esta separación se obtendrá mediante la ecuación:

$$S = d + Y \quad (3)$$

Según Documento Memoria Energía Solar Fotovoltaica, donde se especifica condiciones técnica y de seguridad en la instalación y operación de los paneles solares de la junta de Andalucía, si el campo de paneles requiere más de una fila, situadas sobre la misma horizontal, la separación entre estas deberá ser como mínimo dos veces la distancia vertical entre la parte superior e inferior de los paneles y que en terrazas o suelos, las estructuras deben permitir una altura de panel como mínimo de 30 cm.

También en la Unión Nacional Eléctrica de Cuba en sus proyectos e instalaciones de parques fotovoltaicos tienen como principio de diseño que el espaciamiento entre mesas de soporte fotovoltaico será dos veces la altura que sobresale una mesa sobre otra.

Es importante señalar que la separación entre filas del generador fotovoltaico debe guardar una distancia mínima con el objetivo de facilitar las labores de instalación y mantenimiento. A criterio de instaladores esta distancia no debe ser inferior a 0,5 m.

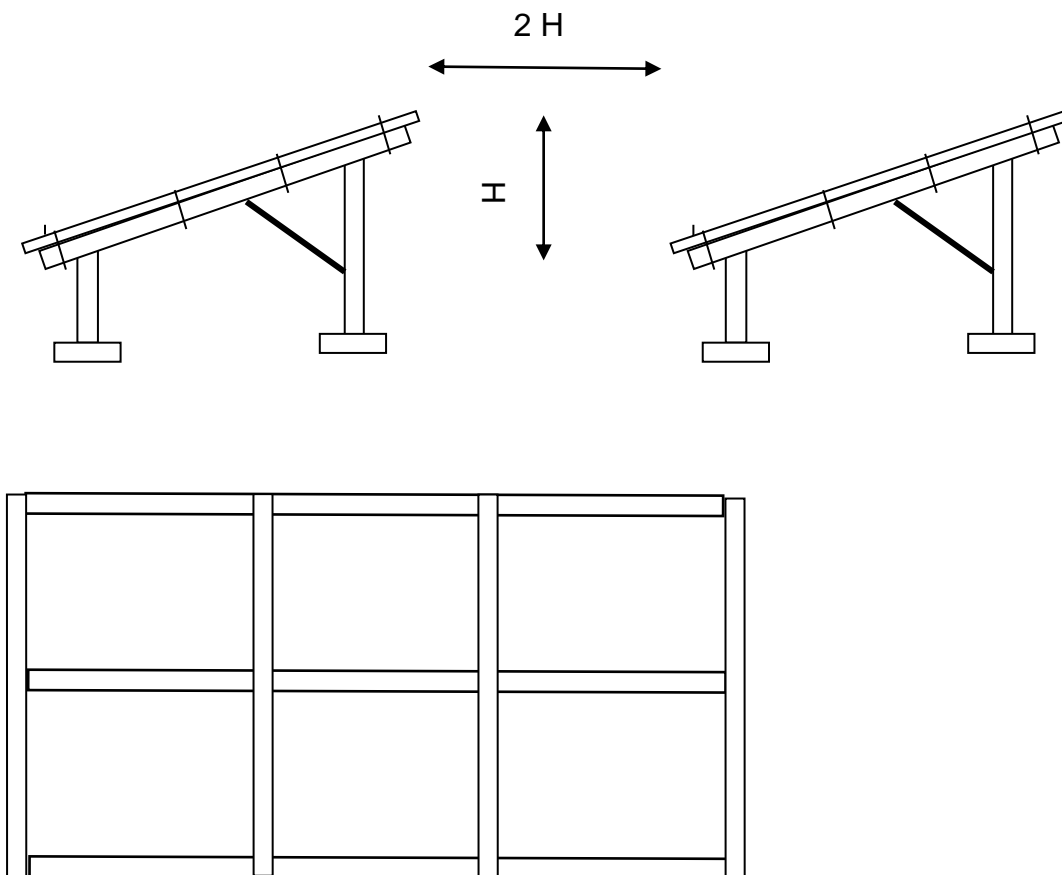


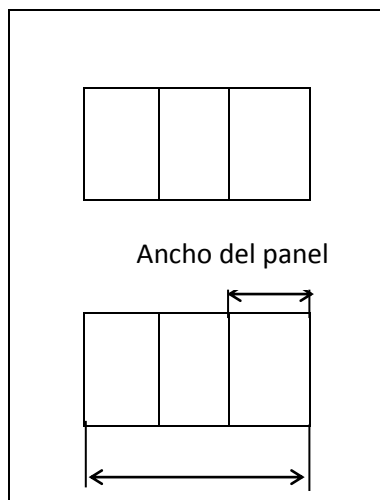
Figura No. 20: Principio de diseño.

Por otra parte existe la restricción de que en la medida que el ángulo de elevación (α), de los módulos crezca crece la magnitud de la sombra que proyecta y esta no debe incidir en las filas de paneles siguientes, pues afecta la producción

del generador fotovoltaico. Por tanto se hace necesario calcular la cantidad de módulos que se pueden ubicar en la cubierta para conformar el generador fotovoltaico.

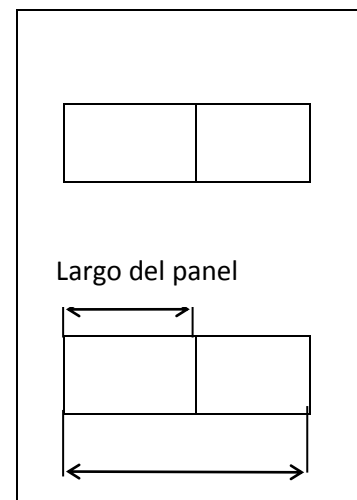
Para determinar la cantidad de paneles solares se realizaran los cálculos en varias variantes (siempre con orientación Sur) para determinar cuál de ellas puede generar más cantidad de energía eléctrica, se muestran los esquemas en la figura No. 21 para mayor comprensión:

Figura No. 21 Esquemas para determinar la cantidad de paneles en 4 variantes.



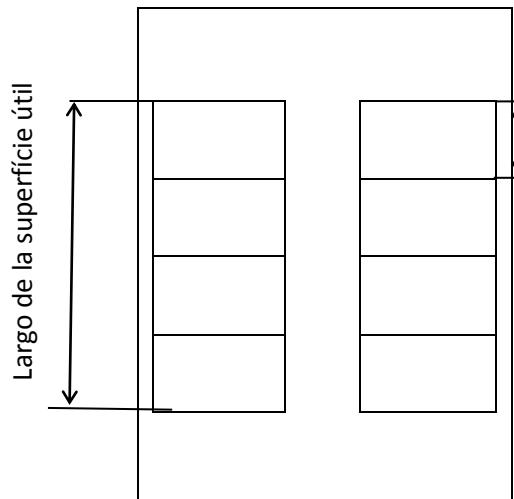
Ancho de la superficie útil

Variante 1 Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura en el ancho de la superficie útil

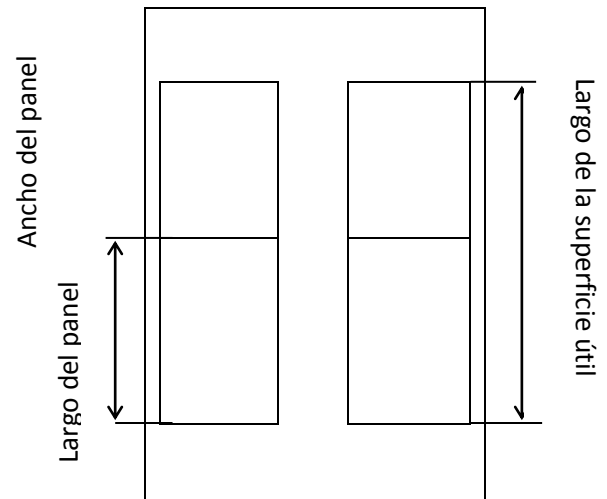


Ancho de la superficie útil

Variante 2 Apoyando con la arista más grande del panel solar sobre la estructura en el ancho de la superficie útil



Variante 3 Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura en el largo de la superficie útil



Variante 4 Apoyando con la arista más larga del panel solar sobre la estructura en el largo de la superficie útil

- Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura en el ancho de la superficie útil

$$\text{Cantidad de paneles por fila} = \frac{\text{Ancho de la superficie útil}}{\text{Ancho del panel}} \quad (4)$$

$$\text{Número de filas} = \frac{\text{Largo de la superficie útil}}{\text{Separación o espaciamiento entre filas de módulos (S)}} \quad (5)$$

$$\text{Número de paneles} = \text{Cantidad de paneles por fila} \times \text{Número de filas} \quad (6)$$

$$\text{Potencia del módulo} = \text{Número de paneles} \times \text{Potencia del panel solar} \quad (7)$$

- Apoyando con la arista más grande sobre la estructura en el ancho de la superficie útil.

$$\text{Cantidad de paneles por fila} = \frac{\text{Ancho de la superficie útil}}{\text{Largo del panel}} \quad (8)$$

$$\text{Número de filas} = \frac{\text{Largo de la superficie útil}}{\text{Separación o espaciamiento entre filas de módulos (S)}} \quad (9)$$

$$\text{Número de paneles} = \text{Cantidad de paneles por fila} \times \text{Número de filas} \quad (10)$$

$$\text{Potencia del módulo} = \text{Número de paneles} \times \text{Potencia del panel solar} \quad (11)$$

- Apoyando con la arista más pequeña sobre la estructura en el largo de la superficie útil

$$\text{Cantidad de paneles por fila} = \frac{\text{Largo de la superficie útil}}{\text{Ancho del panel}} \quad (12)$$

$$\text{Número de filas} = \frac{\text{Ancho de la superficie útil}}{\text{Separación o espaciamiento entre filas de módulos (S)}} \quad (13)$$

$$\text{Número de paneles} = \text{Cantidad de paneles por fila} \times \text{Número de filas} \quad (14)$$

$$\text{Potencia del módulo} = \text{Número de paneles} \times \text{Potencia del panel solar} \quad (15)$$

- Apoyando con la arista más grande sobre la estructura en el largo de la superficie útil.

$$\text{Cantidad de paneles por fila} = \frac{\text{Largo de la superficie útil}}{\text{Largo del panel}} \quad (16)$$

$$\text{Número de filas} = \frac{\text{Ancho de la superficie útil}}{\text{Separación o espaciado entre filas de módulos (S)}} \quad (17)$$

$$\text{Número de paneles} = \text{Cantidad de paneles por fila} \times \text{Número de filas} \quad (18)$$

$$\text{Potencia del módulo} = \text{Número de paneles} \times \text{Potencia del panel solar} \quad (19)$$

Para realizar los cálculos de la distancia mínima entre filas de paneles y obstáculos, número de paneles por filas, cantidad de filas, total de paneles solares y potencia del módulo por área se confeccionó una hoja de cálculo en Excel, determinándose la distancia mínima entre filas de paneles por las dos vías, la referida por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDEA como por el de la UNE, para escoger la mayor entre las dos y analizar la necesidad de incrementar el espacio o pasillo para el personal que va a realizar el montaje o desmontaje así como el mantenimiento.

Teniendo como resultado que Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura el valor mayor de distancia entre filas, $d(\text{mínima})$ es de 0,86 m y apoyando con la arista más grande del panel solar sobre la estructura el valor mayor de $d(\text{mínima})$ es de 0,52 m, ambos por la variante de diseño de la UNE. Pero para ambos casos la distancia entre filas (d) calculada lo incremente a 1,3 m con el propósito de dejar espacio o pasillo para el personal que va a realizar el montaje o desmontaje así como el mantenimiento. (Ver Anexo 19).

En los Anexos 20 al 23 se muestran la cantidad total de paneles solares calculados por las cuatro variantes antes explicadas y aparecen sombreadas las que fueron utilizadas para formar el Sistema Fotovoltaico en las azoteas de las áreas y en los anexos 24 al

31 se muestran los esquemas o diagramas de las áreas donde estarán ubicados los Sistemas fotovoltaicos.

2.2.5 Selección del inversor a utilizar.

Para el generador fotovoltaico obtenido en cada área se selecciona los inversores de modo que el mismo se ajuste a las condiciones de carga y operación en el punto de máxima potencia

La potencia total en inversores va a ser igual a la suma de la potencia activa de todos los inversores a utilizar y esta suma, a su vez, será igual a la carga que se desea suplir.

Los inversores contarán con la protección necesaria, transformando la corriente directa en alterna y la suministra a través de un contador a las áreas. La energía que no se utiliza en las áreas de la Sede de la Universidad de Holguín será suministrada a la red.

En el anexo 32 se muestra el inversor a utilizar para cada área

2.2.6 Selección del controlador de energía y conductores.

Los conductores utilizados serán de cobre, para la parte de CC (desde los módulos fotovoltaicos al inversor) se usarán de conductor número 15, para una corriente máxima de 24 A y un área de conductor de 1,65 mm².

Para la parte de CA (desde el inversor hasta el punto de distribución) se usarán un conductor de 4 vías, donde cada vía será un conductor número 2, para una corriente de 168 A y un área de conductor de 33,60 mm².

En el anexo 33 se muestra cantidad de conductor por área

En cada área se ubicará un contador de energía eléctrica o equipo de medida, el cual controlara el flujo de la energía eléctrica, tanto la que ira a consumir como la que va para la red cuando no se use.

2.3 Análisis económico de la inversión del proyecto.

Al realizar la búsqueda bibliográfica de los últimos 5 años sobre los costos de la energía solar fotovoltaica se descubrió lo siguiente:

En la publicación científica de las Fuentes Renovables ECOSOLAR No. 47 del trimestre enero-marzo del 2014 el Dr. Daniel Stolik Novygrad [<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar47/HTML/articulo05N.htm>] publica su artículo Costos de la energía solar fotovoltaica y alternativas de financiamiento, donde refiere el análisis sobre Global Solar PV Balance of Global Solar PV Balance of System (BOS) Markets: Technologies, Costs, and Leading Companies, 2013-2016 de GTM Research, planteaba (para el Si-c) los costos siguientes por Wp de participación en los componentes del sistema fotovoltaico, sin incluir el panel:

SBOS	\$0,28 todo lo relativo a estructuras
EBOS	\$0,22 todo lo relativo a partes eléctricas
Inversor	\$0,18
Labor	\$0,27
Otros (miscelánea)	\$0,22

También el mismo autor refiere en el Boletín semanal de Fuentes Renovables de Energía de la UNE del 05-01-2018 que los costos de los paneles solares SI-policristalino (multicristalino) han bajado, que se encuentra alrededor de 0,31 CUC/Wp con cierre de diciembre del 2017.

Por otra parte el costo de instalación de los sistemas, con las tarifas actuales de la corporación Copextel S.A [resolución 85 del 2018], se encuentran en 316.00 pesos en Moneda total/kWp.

Con estas consideraciones se plantean las ecuaciones siguientes que permiten determinar el costo de la inversión.

Se determinara los costos por inversión de paneles solares y la estructura:

$$CIGFV = WpMóduloFV \times NoModulosGFV \times CGFV + Cestruct. \times Wp \quad (20)$$

Donde:

CIGFV : Costo de inversión del generador fotovoltaico (\$).

WpModuloFV: Potencia pico del módulo (W).

NoModulosGFV: Numero de módulos fotovoltaico (paneles solares)

C_{GFV}: Costo especifico panel solar (\$/W_{pGFV})

Cestruct.: Costo especifico estructura por participación Wp

Wp: Potencia de los paneles a instalar

Se determinará el costo de los inversores y también de los elementos eléctricos y misceláneas (contador de energia, etc) mediante la siguiente ecuación:

$$CIIEM. = PInversor \times No.Inversores \times Cinv. + Pelect. \times Wp + Cm \times Wp \quad (21)$$

Donde:

CIIEM.: Costo de inversión de los inversores, elementos eléctricos y misceláneas (Contadores de energía, accesorios del panel solar, inversor, estructura, etc), (\$)

P_{inversor}: Potencia del inversor (W)

No. Inversores: Cantidad de inversores

C_{inv}.: Costo especifico del inversor de acuerdo a la potencia (\$/Wp)

Pelectric. Costo especifico de las partes eléctricas que componen el Sistema fotovoltaico, en funcion a la potencia a instalar, \$/Wp

W_p : Potencia de los paneles a instalar

C_m : Otros, misceláneas (Contadores de energía, accesorios del panel solar, inversor, estructura, etc)

Empleando las dos expresiones anteriores y el costo de mano de obra se puede calcular el costo total de la inversión (CTI).

$$CTI = CIGFV + CIEM + kW_p \text{ instalados} \times 316 \frac{\$}{kW_p} \quad (22)$$

El ahorro (\$/año), expresado en función de la energía anual generada se determina en función de la energía ahorrada.

$$\text{Ahorro} = E_{\text{año}} \times C_{kWh} \quad (23)$$

Donde:

Ahorro: Ahorro total (\$)

$E_{\text{año}}$: Energía ahorrada kW.h por año.

C_{kwh} : Costo específico del kW.h (\$)

Para determinar la cantidad de emisiones de CO_2 se toma el factor de emisión utilizado por la UNE que aparece en las premisas, e igual a 0,8753 t de CO_2 por cada MWh generado. De esta manera podemos decir que el Sistema fotovoltaico a instalar en los edificios de la Sede Universidad Holguín Oscar Lucero Moya ocasionará el siguiente impacto:

Utilizando la fórmula siguiente:

$$GPS \times Fe = t CO_2 \quad (24)$$

Dónde:

GPS: Generación promedio anual del parque expresado en (MWh).

Fe: Factor de Emisión de CO₂ por cada MWh generado.

Si conocemos que GPS= 334,337 MWh y Fe= 0,8753 se obtiene que se dejara de emitir a la atmosfera 292,6 t de CO₂

Para el cálculo se utilizó la energía promedio anual, que incluye la pérdida de eficiencia de los paneles durante todo el horizonte temporal evaluado (esta fue determinada como explicamos anteriormente por el software RET SCREEN)

Se confecciona el flujo de caja del proyecto y como criterio de decisión se aplica el valor actual neto (VAN).

Los resultados del flujo de caja para cada área se muestran en las Tablas de los Anexos. 34 a la 40 que se encuentran en los Anexos.

El resultado de los flujos de cajas desarrollado siguiendo este proceder para las diferentes áreas se muestran en tabla del Anexo 41.

Se evidencia que a pesar del elevado costo de la inversión, la misma resulta interesante pues la misma se recupera a partir del quinto año, excepto del edificio docente que lo hace en el cuarto año de explotación.

Conclusiones

Luego de haber realizado esta investigación se tienen las conclusiones siguientes:

1. El sistema fotovoltaico conectado a red proyectado posee un total de 838 paneles solares sobre una superficie útil de 2751,97 m² .
2. La propuesta de alternativa de uso de un sistema fotovoltaico conectado a red tiene un potencial de generación al año de 334,337 MWh, lo cual representa aproximadamente el 39,2 % del consumo energético del 2018 y evitara emanar al ambiente la cantidad de 292,6 t de CO₂ por concepto de no utilizar energía eléctrica convencional.
3. La evaluación económica muestra que es factible recuperar la inversión de 321137,00 en un período máximo de 5 años.

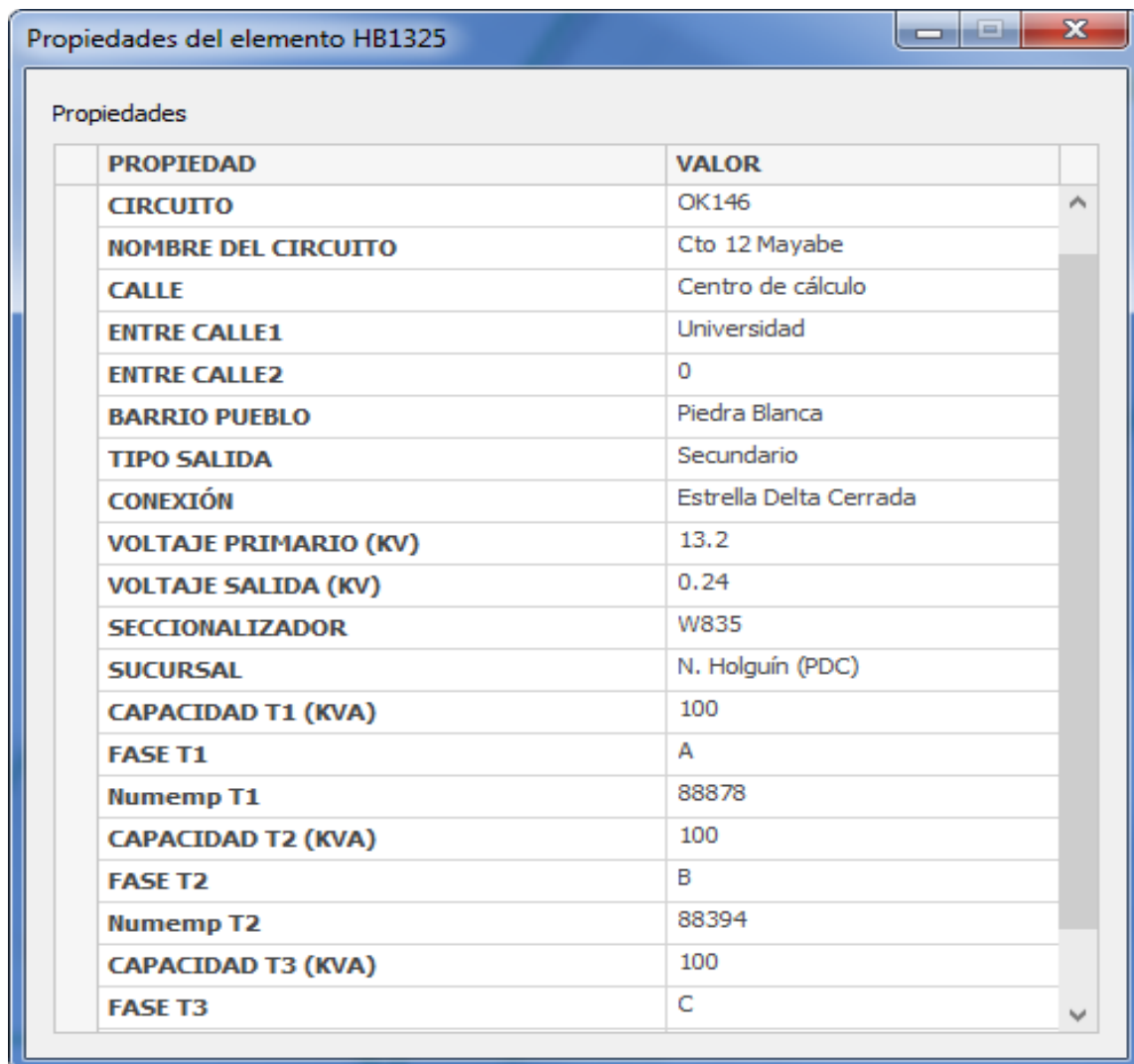
Recomendaciones

Se recomienda después de obtenidos los resultados:

1. Divulgar este trabajo entre los administrativos del centro docente para lograr su aplicación práctica en las edificaciones de la sede de la Universidad Oscar Lucero Moya.
2. Realizar un estudio sobre otras fuentes renovables que puedan emplearse como medida de eficiencia energética, como por ejemplo el bombeo de agua para las áreas residenciales y cocina- comedor para efectuar el aseo y la cocción de alimentos

ANEXOS

Anexo 1: Característica del banco de Transformador del Bloque del centro de cálculo.

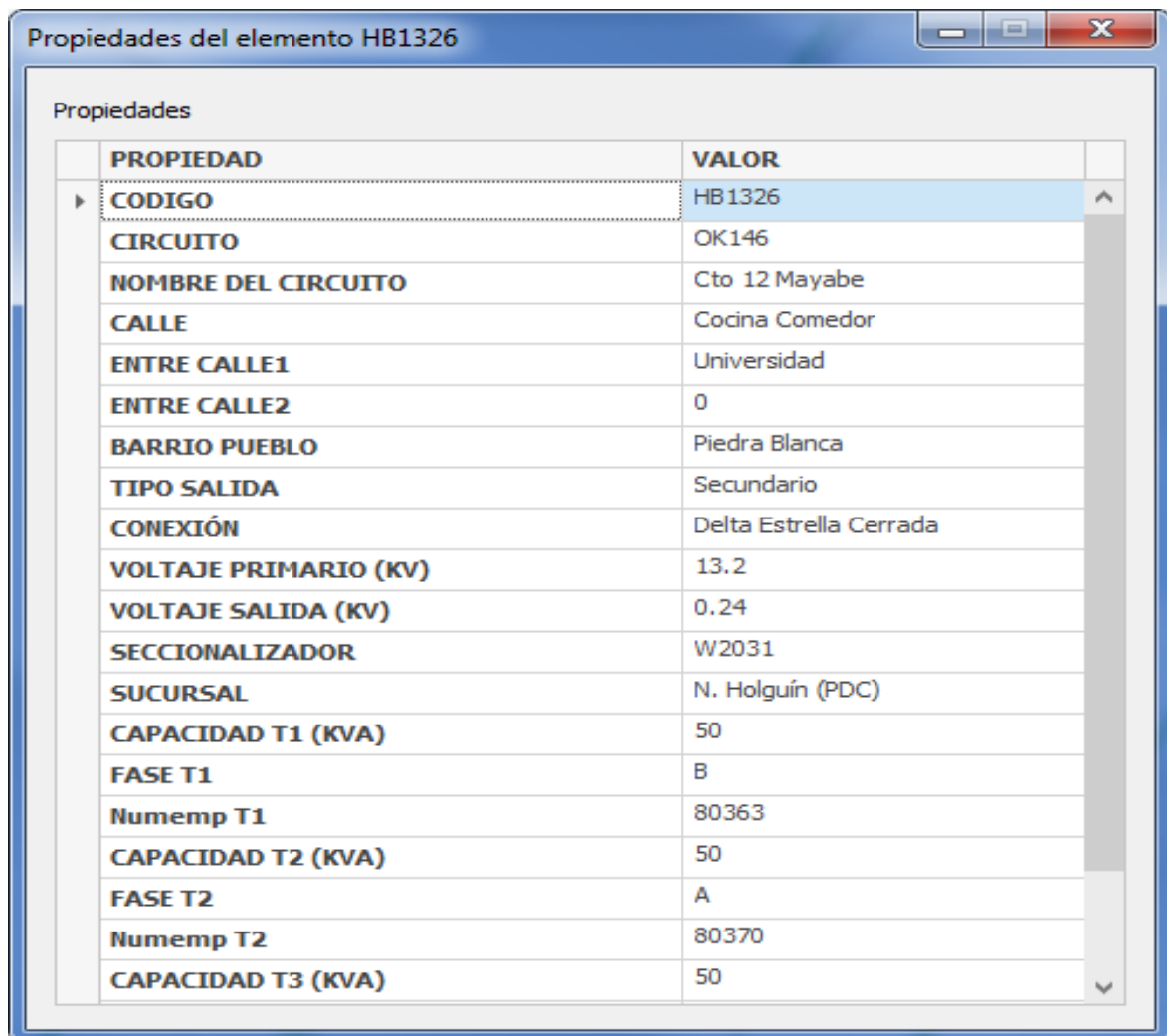


Propiedades del elemento HB1325

Propiedades

PROPIEDAD	VALOR
CIRCUITO	OK146
NOMBRE DEL CIRCUITO	Cto 12 Mayabe
CALLE	Centro de cálculo
ENTRE CALLE1	Universidad
ENTRE CALLE2	0
BARRIO PUEBLO	Piedra Blanca
TIPO SALIDA	Secundario
CONEXIÓN	Estrella Delta Cerrada
VOLTAJE PRIMARIO (KV)	13.2
VOLTAJE SALIDA (KV)	0.24
SECCIONALIZADOR	W835
SUCURSAL	N. Holguín (PDC)
CAPACIDAD T1 (KVA)	100
FASE T1	A
Numemp T1	88878
CAPACIDAD T2 (KVA)	100
FASE T2	B
Numemp T2	88394
CAPACIDAD T3 (KVA)	100
FASE T3	C

Anexo 2: Característica del banco de Transformador del Bloque residencial.



Propiedades del elemento HB1326

Propiedades

PROPIEDAD	VALOR
▶ CODIGO	HB1326
CIRCUITO	OK146
NOMBRE DEL CIRCUITO	Cto 12 Mayabe
CALLE	Cocina Comedor
ENTRE CALLE1	Universidad
ENTRE CALLE2	0
BARRIO PUEBLO	Piedra Blanca
TIPO SALIDA	Secundario
CONEXIÓN	Delta Estrella Cerrada
VOLTAJE PRIMARIO (KV)	13.2
VOLTAJE SALIDA (KV)	0.24
SECCIONALIZADOR	W2031
SUCURSAL	N. Holguín (PDC)
CAPACIDAD T1 (KVA)	50
FASE T1	B
Numemp T1	80363
CAPACIDAD T2 (KVA)	50
FASE T2	A
Numemp T2	80370
CAPACIDAD T3 (KVA)	50

Anexo 3: Característica del banco de Transformador del Bloque Docente.

Propiedades del elemento HB1328

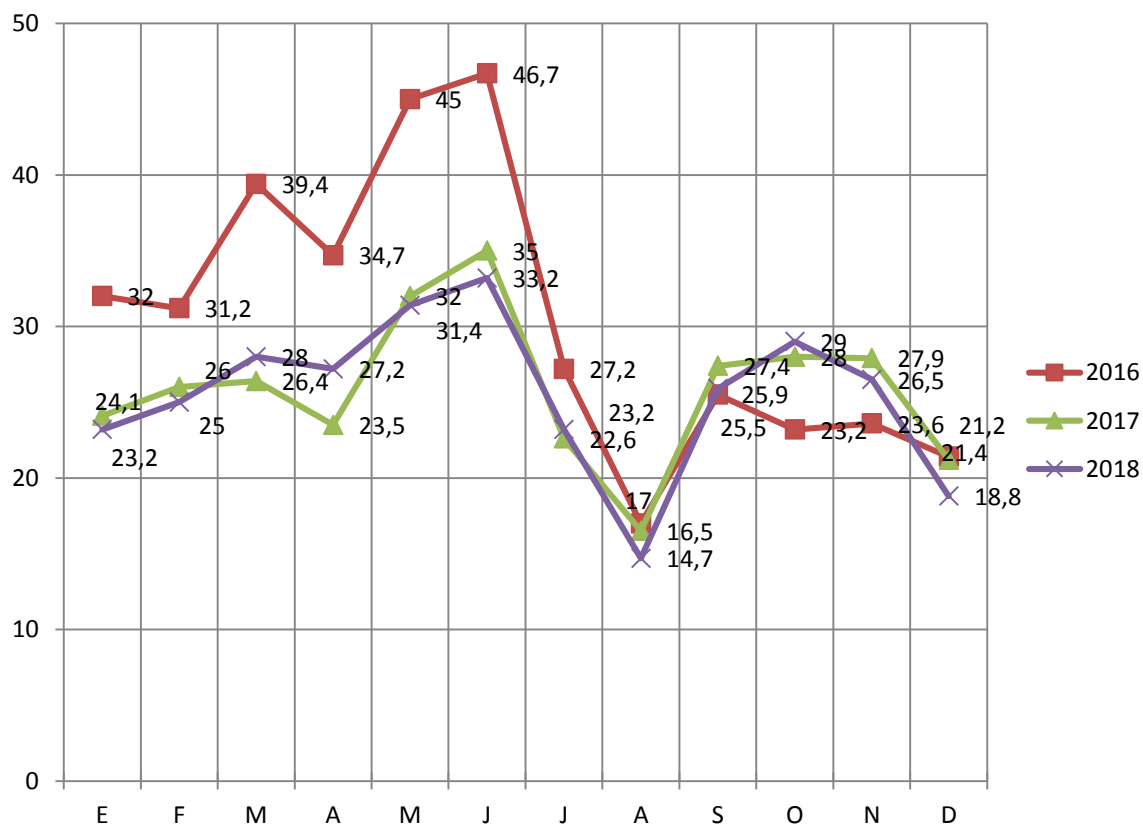
Propiedades

PROPIEDAD	VALOR
CODIGO	HB1328
CIRCUITO	OK146
NOMBRE DEL CIRCUITO	Cto 12 Mayabe
CALLE	area docente
ENTRE CALLE1	universidad
BARRIO PUEBLO	Piedra Blanca
TIPO SALIDA	Secundario
CONEXIÓN	Estrella Delta Abierta
VOLTAJE PRIMARIO (KV)	13.2
VOLTAJE SALIDA (KV)	0.24
SECCIONALIZADOR	W2031
SUCURSAL	N. Holguín (PDC)
CAPACIDAD T1 (KVA)	50
FASE T1	A
Numemp T1	68588
CAPACIDAD T2 (KVA)	25
FASE T2	C
Numemp T2	7693

Anexo 4: Consumo energía eléctrica del Centro cálculo por meses, MWh (desde 2016 al 2018).

Años	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	32,0	31,2	39,4	34,7	45,0	46,7	27,2	17	25,5	23,2	23,6	21,4	366,9
2017	24,1	26,0	26,4	23,5	32,0	35	22,6	16,5	27,4	28	27,9	21,2	310,6
2018	23,2	25,0	28,0	27,2	31,4	33,2	23,2	14,7	25,9	29	26,5	18,8	306,1

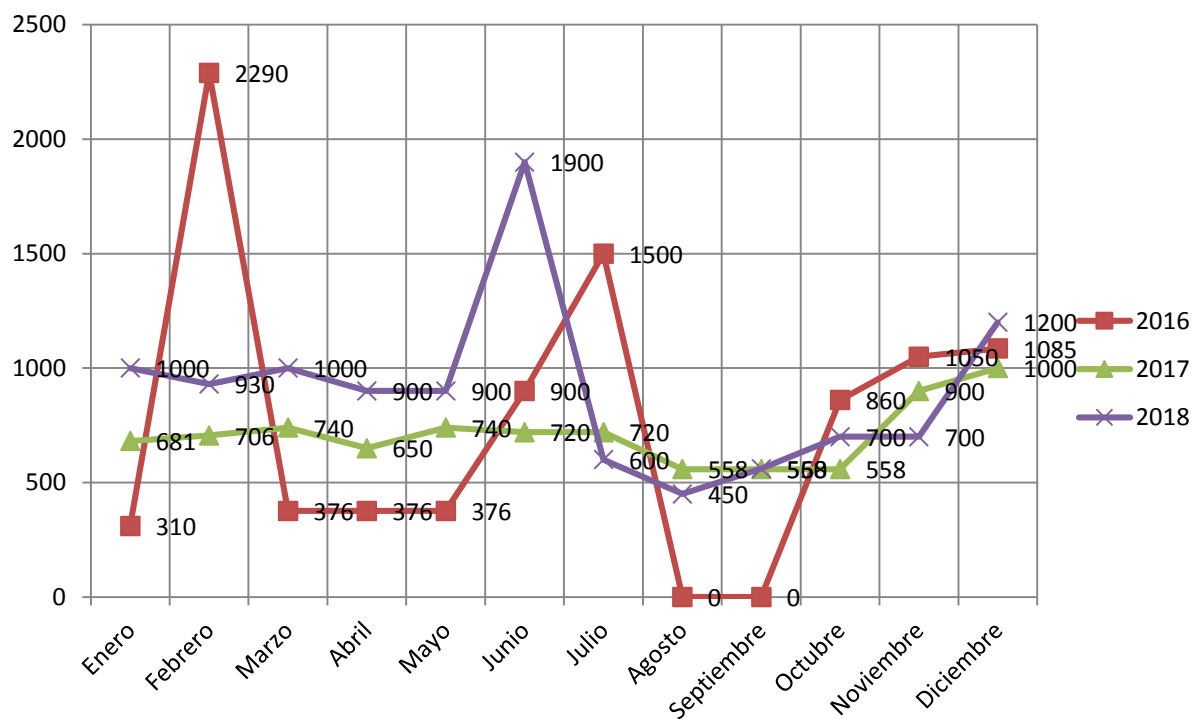
MWh



Anexo 5: Consumo energía eléctrica del Laboratorio por meses, kWh (desde 2016 al 2018).

Años	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	310	2290	376	376	376	900	1500	0	0	860	1050	1085	9123
2017	681	706	740	650	740	720	720	558	558	558	900	1000	8531
2018	1000	930	1000	900	900	1900	600	450	560	700	700	1200	10840

kWh

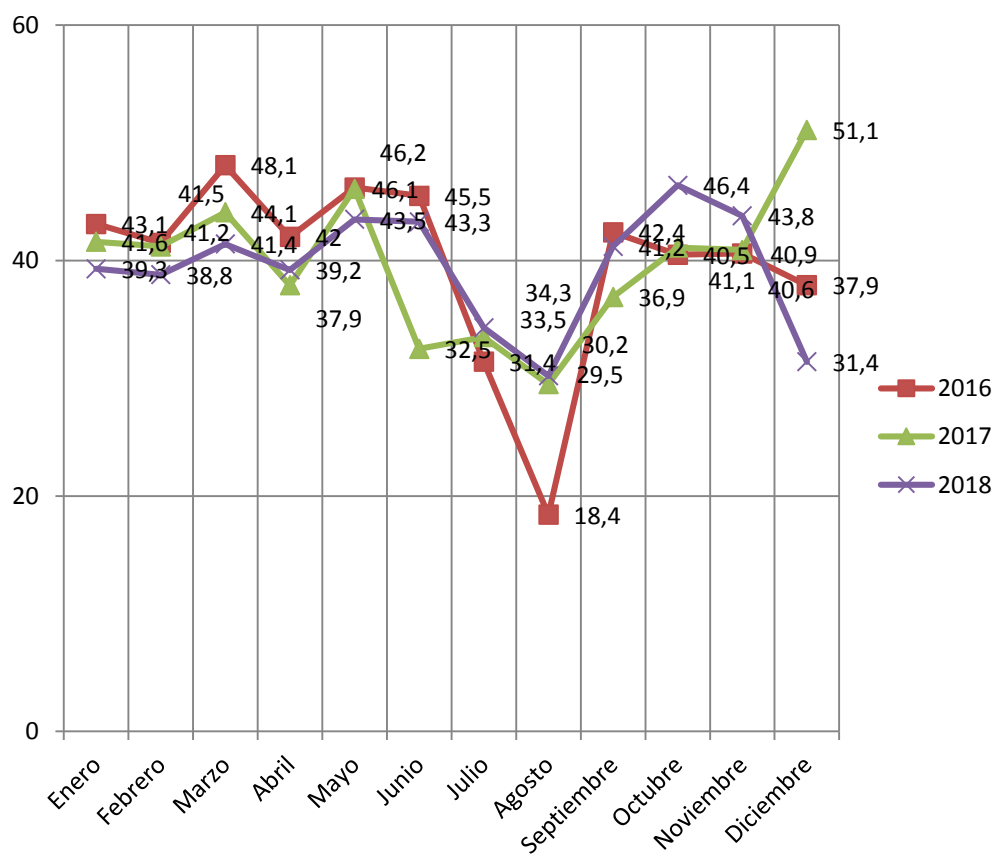


Nota: En el caso del laboratorio se compra la electricidad de forma de prepago.

Anexo 6: Consumo energía eléctrica del Residencial por meses, MWh (desde 2016 al 2018).

Años	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	43.1	41.5	48.1	42	46.2	45.5	31.4	18.4	42.4	40.5	40.6	37.9	477
2017	41.6	41.2	44.1	37.9	46.1	32.5	33.5	29.5	36.9	41.1	40.9	51.1	476
2018	39.3	38.8	41.4	39.2	43.5	43.3	34.3	30.2	41.2	46.4	43.8	31.4	473

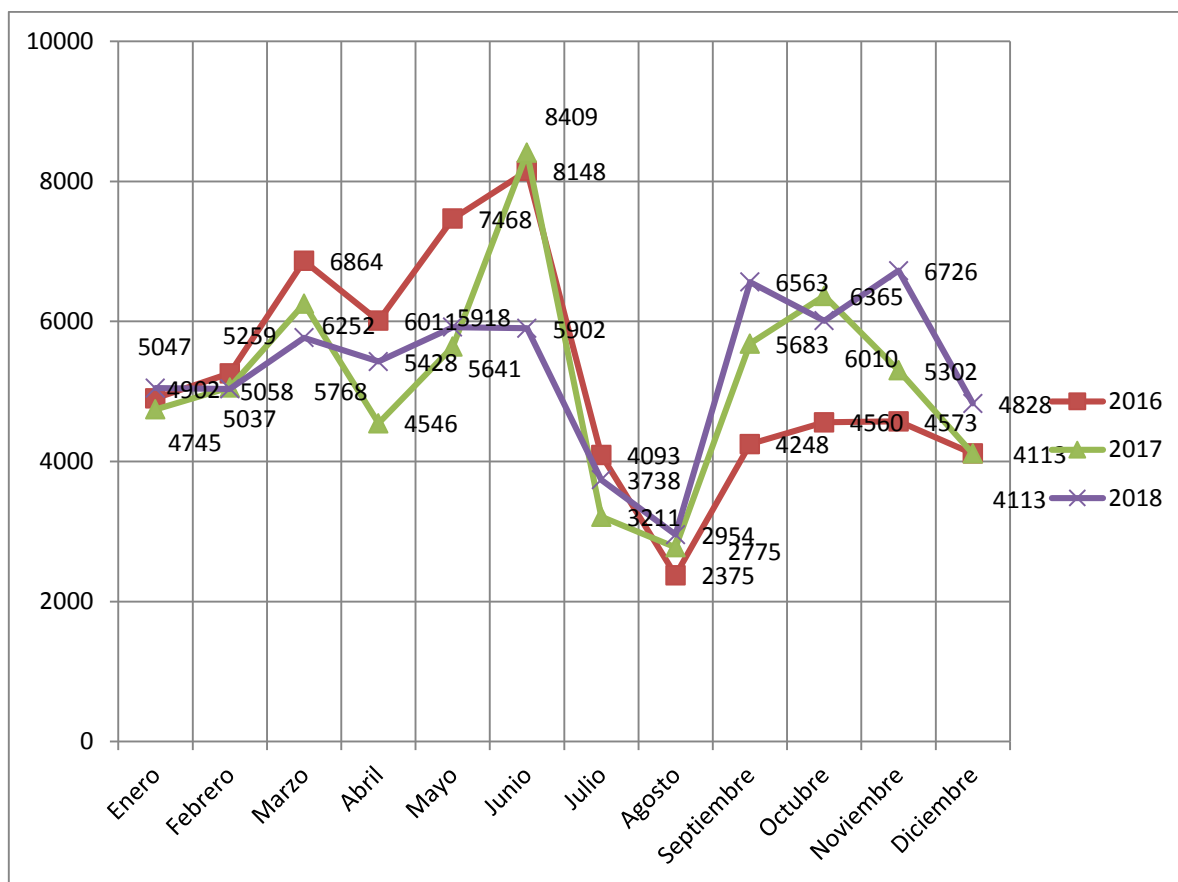
MWh



Anexo 7: Consumo energía eléctrica del Docente por meses, kWh (desde 2016 al 2018).

Años	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	4902	5259	6864	6011	7468	8148	4093	2375	4248	4560	4573	4113	62614
2017	4745	5058	6252	4546	5641	8409	3211	2775	5683	6365	5302	4113	62100
2018	5047	5037	5768	5428	5918	5902	3738	2954	6563	6010	6726	4828	63919

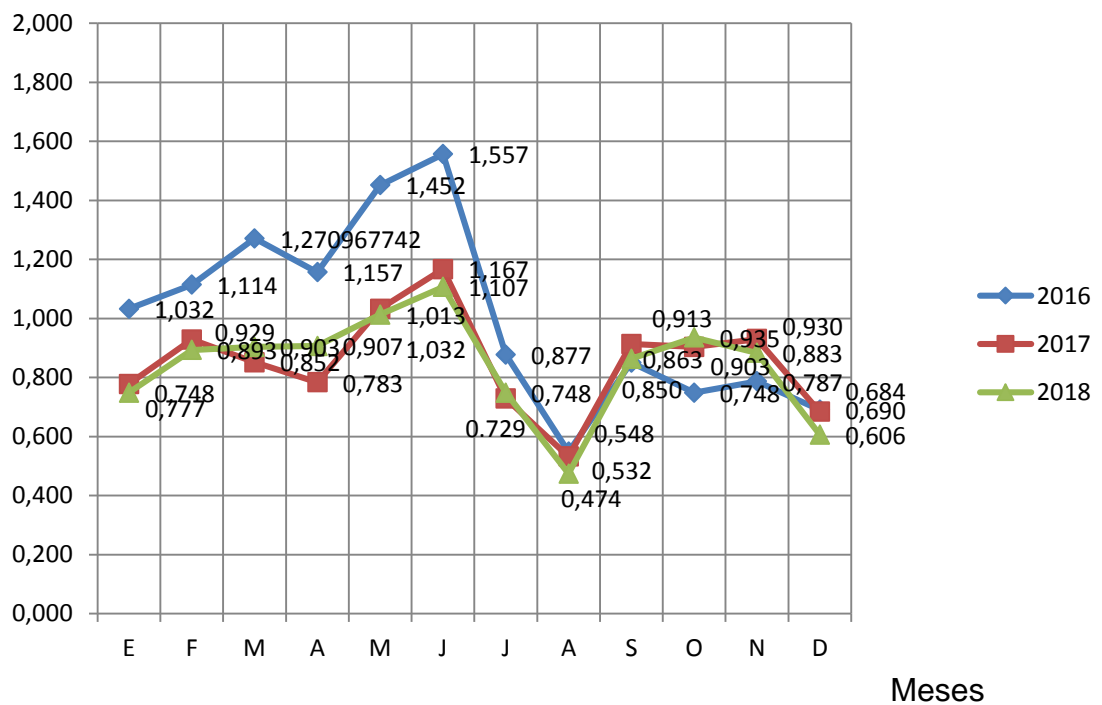
kWh



Anexo 8: Consumo de energía eléctrica Centro Cálculo por promedio diario, MWh

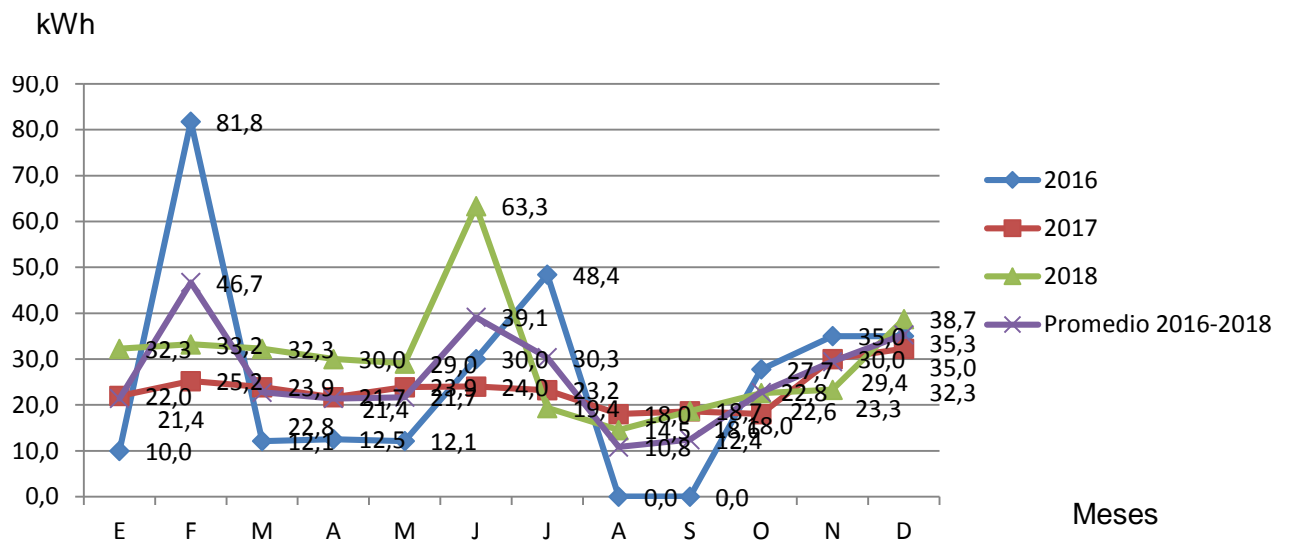
Años	Meses												Promedio Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	1.032	1.114	1.271	1.157	1.452	1.557	0.877	0.548	0.850	0.748	0.787	0.690	1.005
2017	0.777	0.929	0.852	0.783	1.032	1.167	0.729	0.532	0.913	0.903	0.930	0.684	0.851
2018	0.748	0.893	0.903	0.907	1.013	1.107	0.748	0.474	0.863	0.935	0.883	0.606	0.839
Promedio 2016-2018	0.853	0.979	1.009	0.949	1.166	1.277	0.785	0.518	0.876	0.862	0.867	0.660	0.898

MWh



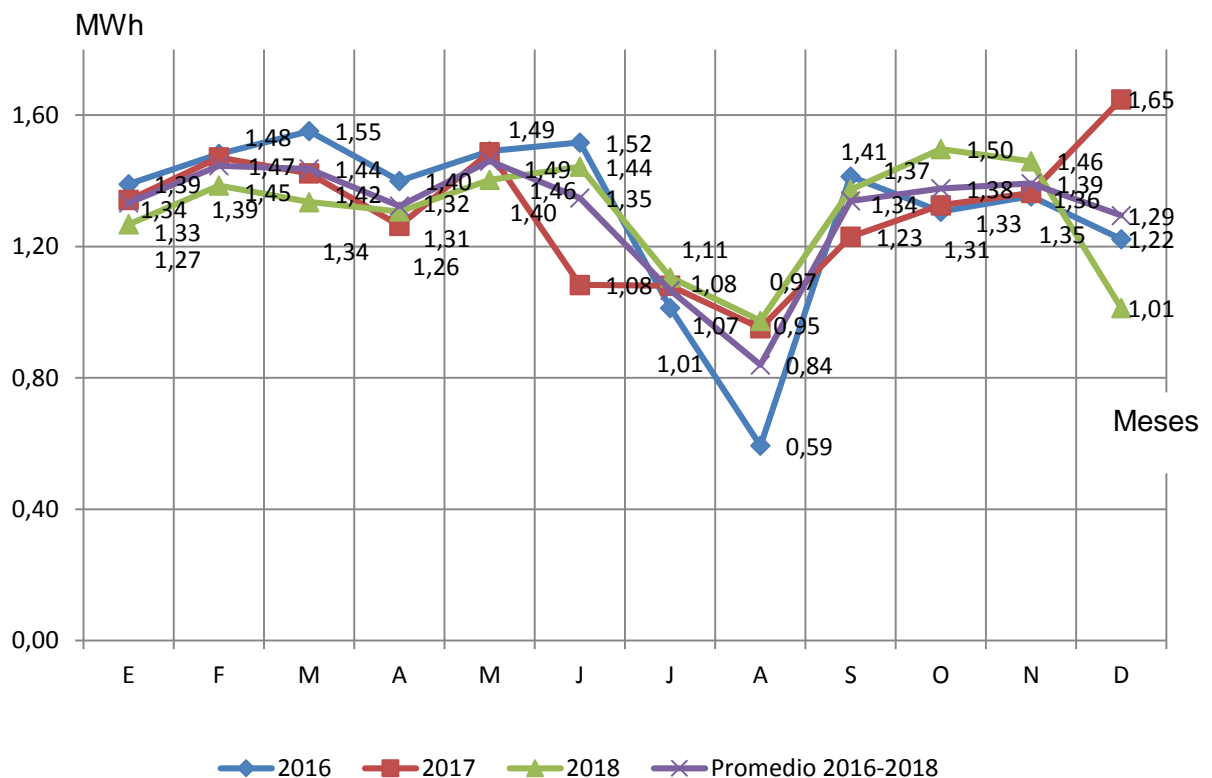
Anexo 9: Consumo de energía eléctrica Laboratorio por promedio diario, kWh

Años	Meses												Promedio Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	10.0	81.8	12.1	12.5	12.1	30.0	48.4	0.0	0.0	27.7	35.0	35.0	25.0
2017	22.0	25.2	23.9	21.7	23.9	24.0	23.2	18.0	18.6	18.0	30.0	32.3	23.4
2018	32.3	33.2	32.3	30.0	29.0	63.3	19.4	14.5	18.7	22.6	23.3	38.7	29.7
Promedio 2016-2018	21.4	46.7	22.8	21.4	21.7	39.1	30.3	10.8	12.4	22.8	29.4	35.3	26.0



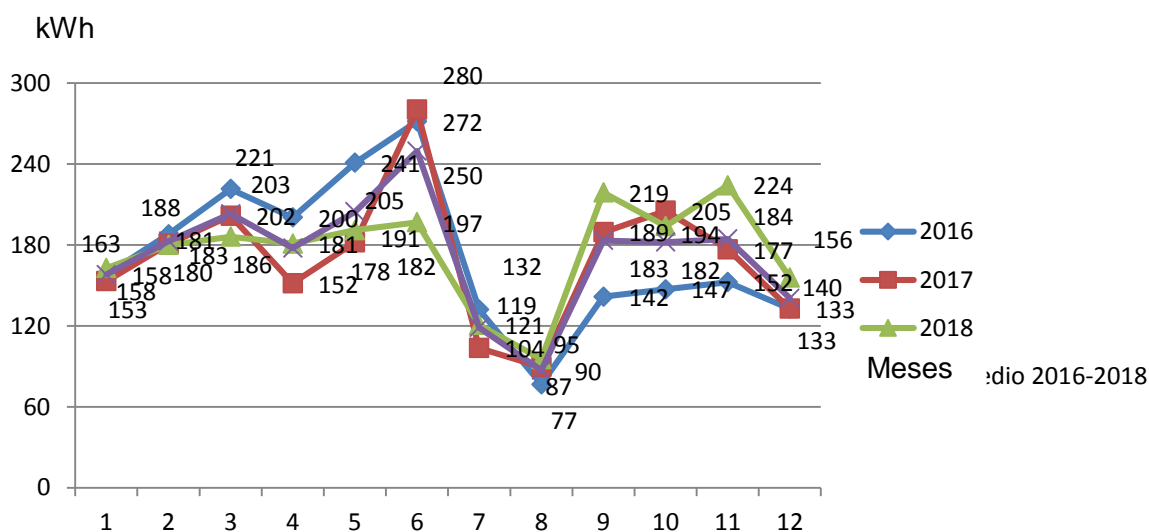
Anexo 10: Consumo de energía eléctrica Residencial por promedio diario, MWh

Años	Meses												Promedio Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	1.39	1.48	1.55	1.40	1.49	1.52	1.01	0.59	1.41	1.31	1.35	1.22	1.31
2017	1.34	1.47	1.42	1.26	1.49	1.08	1.08	0.95	1.23	1.33	1.36	1.65	1.31
2018	1.27	1.39	1.34	1.31	1.40	1.44	1.11	0.97	1.37	1.50	1.46	1.01	1.30
Promedio 2016-2018	1.33	1.45	1.44	1.32	1.46	1.35	1.07	0.84	1.34	1.38	1.39	1.29	1.30



Anexo 11: Consumo de energía eléctrica del Docente por promedio diario, kWh

Años	Meses												Promedio Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2016	158	188	221	200	241	272	132	77	142	147	152	133	172
2017	153	181	202	152	182	280	104	90	189	205	177	133	170
2018	163	180	186	181	191	197	121	95	219	194	224	156	175
Promedio 2016-2018	158	183	203	178	205	250	119	87	183	182	184	140	172



Anexo 12: Información del Proyecto tomado del RETSCREEN - hoja1

Información del proyecto [Ver la base de datos del proyecto](#)

Nombre del Proyecto: Residencial Universidad

Ubicación del Proyecto: _____

Preparado para: _____

Preparado por: _____

Tipo de proyecto: Generación de electricidad

Tecnología: Fotovoltaico

Tipo de red: Red-Central

Tipo de análisis: Método 2

Poder calorífico de referencia: Poder Calorífico Superior (PCS)


Mostrar parámetros:

Idioma: Spanish - Español

Manual de usuario: English - Anglais

Moneda: \$

Unidades: Unidades métricas







Condiciones de referencia del sitio [Seleccionar ubicación de datos meteorológicos](#)

Ubicación de datos meteorológicos: Holguín

Mostrar datos:

Unidad	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación del Proyecto
	Latitud 'N	20,9
Longitud 'E	-76,3	-76,2
Elevación m	171	
Temperatura de diseño de la calefacción °C	19,2	
Temperatura de diseño del aire acondicionado °C	30,4	
Amplitud de la temperatura del suelo °C	8,8	

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Días-grado de calentamiento	Días-grado de enfriamiento
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	29,2	74,8%	4,18	100,9	5,5	23,6	0	408
Febrero	29,8	69,9%	5,00	100,9	5,4	25,0	0	392
Marzo	29,8	66,5%	5,41	100,8	5,3	26,9	0	467
Abril	30,8	67,0%	6,32	100,7	4,6	28,1	0	473
Mayo	31,3	75,6%	6,26	100,7	4,7	27,6	0	494
Junio	32,0	80,8%	6,17	100,8	4,6	27,4	0	487
Julio	32,7	81,0%	6,47	100,9	5,3	27,1	0	500
Agosto	33,0	81,3%	6,56	100,8	4,8	27,2	0	503
Setiembre	32,3	82,1%	5,69	100,6	4,5	26,9	0	481
Octubre	31,1	81,7%	5,18	100,6	4,4	26,0	0	479
Noviembre	29,5	80,6%	4,50	100,7	5,5	24,8	0	437
Diciembre	28,3	78,5%	3,86	100,9	5,9	23,7	0	419
Anual	30,8	76,7%	5,47	100,8	5,0	26,2	0	5.540
Medido a	m				10,0	0,0		

[Complete la hoja del Modelo de Energía](#)

Anexo 13: Información del Proyecto tomado del RETSCREEN- hoja 2

Tipo de análisis

Método 1

Método 2

Evaluación de recursos

Modo de rastreo solar

Fijado

Inclinación

°

15,0

Azimut

°

Mostrar datos

Mes	Radiación solar diaria -		Tarifa de exportación de electricidad \$/MWh	Electricidad exportada a la red MWh
	horizontal kWh/m²/d	inclinado kWh/m²/d		
Enero	4,18	4,81		0,701
Febrero	5,00	5,56		0,725
Marzo	5,41	5,68		0,819
Abril	6,32	6,30		0,872
Mayo	6,26	6,02		0,863
Junio	6,17	5,82		0,807
Julio	6,47	6,14		0,874
Agosto	6,56	6,43		0,910
Setiembre	5,69	5,85		0,807
Octubre	5,18	5,66		0,811
Noviembre	4,50	5,14		0,722
Diciembre	3,86	4,53		0,666
Anual	5,47	5,66	0,00	9,575

Radiación solar anual - horizontal

MWh/m²

2,00

Radiación solar anual - inclinado

MWh/m²

2,07

Fotovoltaico

Tipo

mono-Si

Capacidad de generación eléctrica

kW

6,00

Fabricante

Modelo

Eficiencia

%

15,0%

Temperatura normal de operación de las celdas

°C

45

Coefficiente de temperatura

% / °C

0,40%

Área del colector solar

m²

40

Pérdidas varias

%

12,0%

Inversor

Eficiencia

%

98,5%

Capacidad

kW

Pérdidas varias

%

Resumen

Factor de utilización

%

18,2%

Electricidad exportada a la red

MWh

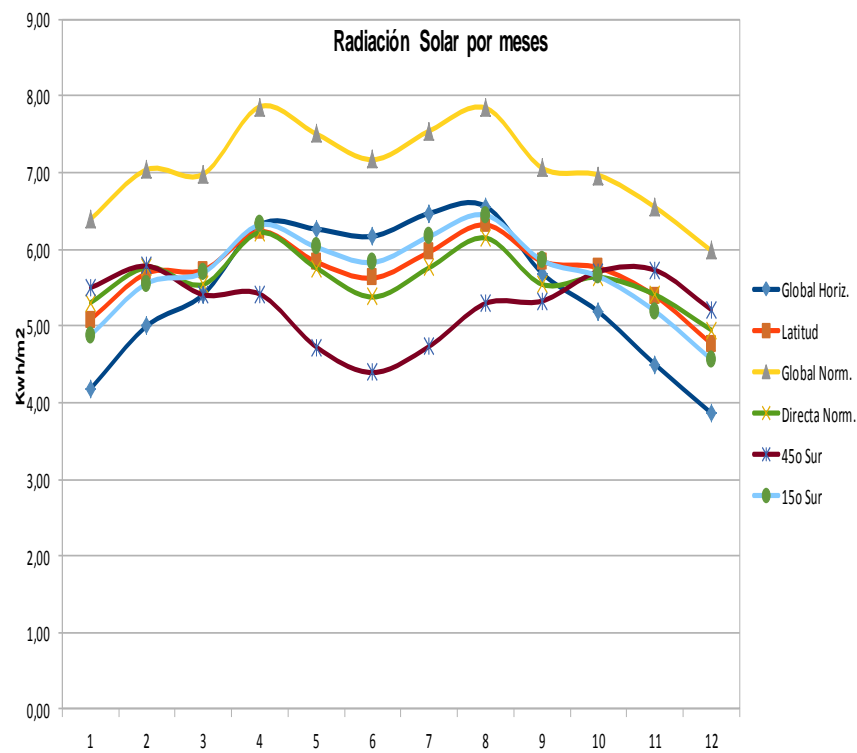
9,575

Anexo 14: Información del proyecto programa INSMET Interp

Latitud:	20,89
Longitud:	-76,23

Valores de Radiación Solar sobre Superficies con varias inclinaciones (Kwh/m2)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
Global Horiz.	4,18	5,00	5,41	6,32	6,26	6,17	6,47	6,56	5,69	5,18	4,50	3,86	5,47
Latitud	5,08	5,69	5,73	6,23	5,84	5,62	5,96	6,32	5,84	5,76	5,39	4,77	5,67
Global Norm.	6,39	7,04	6,98	7,86	7,51	7,17	7,54	7,84	7,06	6,97	6,55	5,98	7,04
Directa Norm.	5,30	5,76	5,54	6,22	5,76	5,38	5,76	6,15	5,54	5,64	5,41	4,95	5,58
45° Sur	5,50	5,78	5,41	5,42	4,73	4,39	4,73	5,29	5,32	5,71	5,73	5,21	5,22
15° Sur	4,87	5,56	5,69	6,32	6,03	5,83	6,17	6,45	5,85	5,65	5,19	4,56	5,67
Temperatura	29,2	29,8	29,8	30,8	31,3	32,0	32,7	33,0	32,3	31,1	29,5	28,3	30,9



Anexo 15. Carta de aprobación del software para evaluación EFTE



MINISTERIO DE ENERGÍAS Y MINAS
UNIÓN ELÉCTRICA
DIRECCIÓN DE INVERSIONES

La Habana, 14 de noviembre de 2017.
"Año 59 de la Revolución"

A: Director General FRE

Asunto: Utilización de software para evaluación de EFTEs de los diferentes Programas de instalación de PSFV.

Estimado compañero:

Una vez realizada la revisión del software propuesto por la Empresa Hidroenergía para evaluar técnico-económica y financieramente los diferentes Programas de instalación de PSFV, y los Proyectos concretos que los constituyen; habiendo constatado el completamiento del alcance de sus "Premisas iniciales", entendemos que en ambos aspectos se cumple con las pautas trazadas en el Decreto 327 del 2014 "Reglamento del Proceso Inversionista", para generar la información de gastos, ingresos y ahorros en la que se sustenta el cálculo de los indicadores de eficiencia, recuperación y rentabilidad de los Estudios de Factibilidad de parques solares que reúnan las siguientes características:

- a) Presenten un Cronograma directivo, que abarque dentro del mismo la fase de ejecución de la obra, circunscrita a un año fiscal;
- b) Los términos de financiamiento, tanto externo como interno, sean similares a los descritos en el Programa al que se encuentren vinculados;
- c) Hayan previsto las pérdidas de distribución específicas de su localidad, avaladas por el OBE territorial;
- d) Consideren el efecto medioambiental traducido a las condiciones particulares de cada Proyecto (tasa local de sustitución de tonelada de CO₂ emitido por MWh producido con otras tecnologías).

Nota: En caso que el financiamiento obtenido, o el otorgado por el País, no permita que la inversión comience a generar ingresos antes de que se haga efectivo el plazo de pago del principal, en el estudio presentado se deberá modelar la versión de la evaluación económico financiera con las condiciones del financiamiento otorgado y además la evaluación económico financiera con términos de financiamiento que posibiliten recuperar la divisa (MLC) invertida en el proyecto sin sustraer liquidez al País.

Fraternalmente,

UNIÓN ELÉCTRICA

Dirección de Inversiones

Anexo 16: Resultado de la evaluación de las cubiertas de las áreas

Edificaciones	Ubicación geográfica		Área total		Resultado
	Latitud	Longitud	Total	Útil	
Edificio Residencial No.1 (Motelito)	20°53' 45,00" N	76°14' 18,84" O.	423,2	98,02	Cumple. Requiere análisis de sombras
Edificio Residencial No.2	20°53' 47,11" N	76°14'17 .43" O.	423,2	98,02	Cumple. Requiere análisis de sombras
Edificio Residencial No.3	20°53' 48,13" N	76°14'16 ,59" O.	423,2	98,02	Cumple. Requiere análisis de sombras
Edificio Residencial No.4	20°53' 46,02" N	76°14'20 .45" O.	423,2	98,02	Cumple. Requiere análisis de sombras
Edificio Residencial No.5	20°53' 47,02" N	76°14'19 ,89" O.	423,2	98,02	Cumple. Requiere análisis de sombras
Edificio Residencial No.6	20°53' 48,03" N	76°14'19 ,20" O.	423,2	113,85	Cumple. Requiere análisis de sombras
ATM	20°53' 50,47" N	76°14'12 ,48" O.	1932,5	1080	Cumple. Requiere análisis de sombras
Taller	20°53' 50,47" N	76°14'12 ,48" O.	-	-	No cumple. Sombreado
Casa Estudiantil	20°53' 46,45" N	76°14'15 ,94" O.	452,8	98,00	Cumple. Requiere análisis de sombras
Cocina Comedor	20°53' 45,17" N	76°14'16 ,66" O.	-	-	No cumple. Sombreado
Laboratorio	20°53' 43,27" N	76°14'21 ,00" O.	311,3	59,16	Cumple. Requiere análisis de sombras

Edificio Docente Decanato	20°53' 41,40" N	76°14'22 ,69" O.	6880,3	540,00	Cumple. Requiere análisis de sombras
Biblioteca	20°53' 40,93" N	76°14'23 ,66" O.	-	-	No cumple. Sombreado
Edificio Docente	20°53' 39,01" N	76°14'24 ,07" O.	1592,5	370,86	Cumple. Requiere análisis de sombras
Total	-	-	13708,6	2751,97	

Anexo 17: Períodos de retorno de los fuertes vientos para las zonas climáticas determinadas en la provincia Holguín

Período de Retorno	Zona Costera	Zona Interior	Zona Montañosa
1/10	165 km/h	120-130 km/h	125 km/h
1/25	205 km/h	130-140 km/h	160 km/h
1/50	230 km/h	145-155 km/h	190 km/h

Anexo 18. Especificaciones y características eléctricas del módulo

Especificaciones		Características eléctricas	
Celda	Celda solar de silicio multicristalino de 156 mm x 156 mm	Modelo	DSM-250
No. De celdas y conexiones	60 (6x10)	Voltaje a circuito abierto (Voc) (V)	37,7
Dimensiones del módulo	1650 mm x 990 mm x 40 mm	Voltaje en el punto de máxima Potencia (Vmp) (V)	30,5
Cubierta Frontal	Vidrio templado con capa antireflexiva	Corriente de cortocircuito (Isc) (A)	8,55
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) (A)	8,19
Peso	20 kg	Potencia máxima a STC* (PM) (Wp)	250
* STC del inglés Standard Test Conditions, considerando la radiación solar igual a 1000 W/m ² ; la temperatura de 25 °C y la masa de aire A.M igual 1,5.	Tolerancia (W)	± 3	

Anexo 19 Cálculo de la distancia entre paneles y obstáculos para evitar pérdidas por sombreado (m)

Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura (m)

Largo panel (L)	Ancho panel (B)	$\text{sen } 15^\circ$	$\text{Cos } 15^\circ$	$h=L \text{ sen}15^\circ$	$L \text{ cos}15^\circ$	$d(\text{mínima})$	$d(\text{mínima})=2h$	d	$S=d+L\text{cos}15^\circ$
1,65	0,99	0,259	0,966	0,43	1,59	0,49	0,86	1,30	2,89

Apoyando con la arista más grande del panel solar sobre la estructura (m)

Largo panel (L)	Ancho panel (B)	$\text{sen } 15^\circ$	$\text{Cos } 15^\circ$	$h=B \text{ sen}15^\circ$	$B \text{ cos}15^\circ$	$d(\text{mínima})$	$d(\text{mínima})=2h$	d	$S=d+B\text{cos}15^\circ$
1,65	0,99	0,259	0,966	0,26	0,96	0,30	0,52	1,30	2,26

Nota: A la distancia entre filas (d) calculada lo incremente a 1,3 m con el propósito de dejar espacio o pasillo para el personal que va a realizar el montaje o desmontaje así como el mantenimiento

Anexo 20 Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura en el ancho de la superficie útil

Área	Largo panel (L)	Ancho panel (B)	Largo superficie útil (m)	Ancho superficie útil (m)	Distancia entre filas	$S= d+L\cos15^\circ$	Número de paneles por filas	Número de filas	Número de paneles máximos	Potencia (kW)	Total Potencia (kW)
Edificio Residencial 1	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	6,50
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	5	2	10	2,50	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	
Edificio Residencial 2	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	6,50
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	5	2	10	2,50	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	
Edificio Residencial 3	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	6,50
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	5	2	10	2,50	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	
Edificio Residencial 4	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	6,50
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	5	2	10	2,50	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	
Edificio Residencial 5	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	6,50
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	5	2	10	2,50	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	2	4	8	2,00	
Edificio Residencial 6	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,89	2	5	10	2,50	8,00
	1,65	0,99	8,00	6,80	1,30	2,89	6	2	12	3,00	
	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,89	2	5	10	2,50	
ATM	1,65	0,99	42,00	12,00	1,30	2,89	12	14	168	42,00	90,00
	1,65	0,99	48,00	12,00	1,30	2,89	12	16	192	48,00	
Casa Estudiantil	1,65	0,99	14,00	7,00	1,30	2,89	7	4	28	7,00	7,00
Laboratorio	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,89	3	3	9	2,25	4,50
	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,89	3	3	9	2,25	
Edificio Docente- Decanato	1,65	0,99	26	6,00	1,30	2,89	6	8	48	12,00	42,00
	1,65	0,99	26	6,00	1,30	2,89	6	8	48	12,00	
	1,65	0,99	19	6,00	1,30	2,89	6	6	36	9,00	
	1,65	0,99	19	6,00	1,30	2,89	6	6	36	9,00	
Terraza Docente 3.	1,65	0,99	32,70	8,30	1,30	2,89	8	11	88	22,00	29,50
Azotea del docente	1,65	0,99	15,30	6,50	1,30	2,89	6	5	30	7,50	

Anexo 21 Apoyando con la arista más grande del panel solar sobre la estructura en el ancho de la superficie útil

Área	Largo panel	Ancho panel	Largo superficie útil (m)	Ancho superficie útil (m)	Distancia entre filas, d (m)	$S= d+L\cos 15^\circ$	Número de paneles por filas	Número de filas	Número de paneles máximos	Potencia (kW)	Total Potencia (kW)
Edificio Residencial 1	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	5,25
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	3	3	9	2,25	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
Edificio Residencial 2	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	5,25
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	3	3	9	2,25	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
Edificio Residencial 3	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	5,25
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	3	3	9	2,25	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
Edificio Residencial 4	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	5,25
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	3	3	9	2,25	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
Edificio Residencial 5	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	5,25
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	3	3	9	2,25	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
Edificio Residencial 6	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	6,00
	1,65	0,99	8,00	6,80	1,30	2,26	4	3	12	3,00	
	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,26	1	6	6	1,50	
ATM	1,65	0,99	42,00	12,00	1,30	2,26	7	18	126	31,50	68,25
	1,65	0,99	48,00	12,00	1,30	2,26	7	21	147	36,75	
Casa Estudiantil	1,65	0,99	14,00	7,00	1,30	2,26	4	6	24	6,00	6,00
Laboratorio	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,26	2	3	6	1,50	3,00
	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,26	2	3	6	1,50	
Edificio Docente- Decanato	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,26	3	11	33	8,25	28,50
	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,26	3	11	33	8,25	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,26	3	8	24	6,00	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,26	3	8	24	6,00	
Terraza Docente	1,65	0,99	32,70	8,30	1,30	2,26	5	14	70	17,50	22,00
Azotea del docente	1,65	0,99	15,30	6,50	1,30	2,26	3	6	18	4,50	

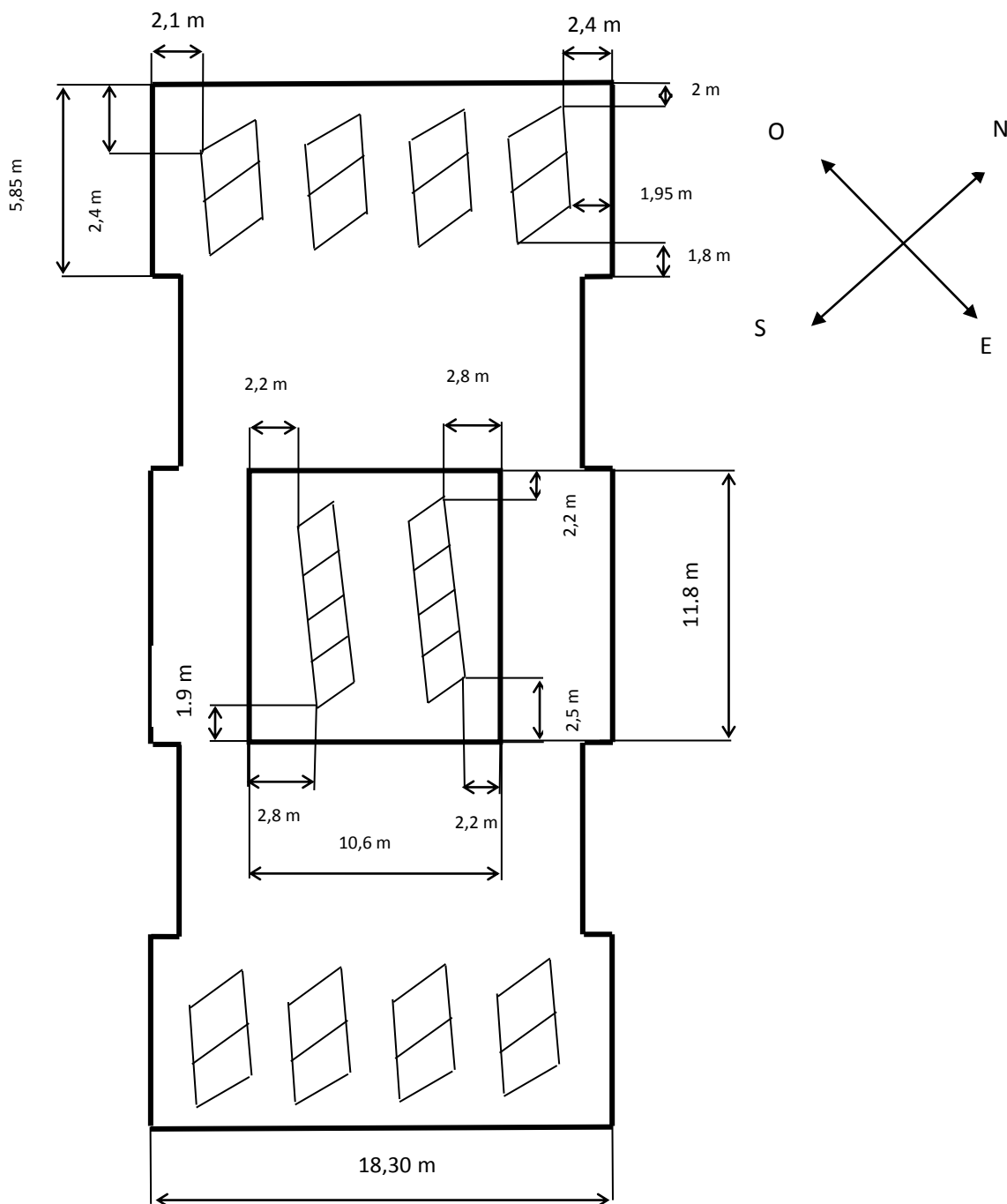
Anexo 22 Apoyando con la arista más pequeña del panel solar sobre la estructura en el largo de la superficie útil

Área	Largo panel (L)	Ancho panel (B)	Largo superficie útil (m)	Ancho superficie útil (m)	Distancia entre filas	$S= d+L\cos 15^\circ$	Número de paneles por filas	Número de filas	Número de paneles máximos	Potencia (kW)	Total Potencia (kW)
Edificio Residencial 1	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	1,75
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	7	1	7	1,75	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	
Edificio Residencial 2	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	1,75
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	7	1	7	1,75	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	
Edificio Residencial 3	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	1,75
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	7	1	7	1,75	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	
Edificio Residencial 4	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	1,75
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	7	1	7	1,75	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	
Edificio Residencial 5	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	1,75
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,89	7	1	7	1,75	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,89	13	0	0	0,00	
Edificio Residencial 6	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,89	14	0	0	0,00	4,00
	1,65	0,99	8,00	6,80	1,30	2,89	8	2	16	4,00	
	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,89	14	0	0	0,00	
ATM	1,65	0,99	42,00	12,00	1,30	2,89	42	4	168	42,00	90,00
	1,65	0,99	48,00	12,00	1,30	2,89	48	4	192	48,00	
Casa Estudiantil	1,65	0,99	14,00	7,00	1,30	2,89	14	2	28	7,00	7,00
Laboratorio	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,89	8	1	8	2,00	4,00
	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,89	8	1	8	2,00	
Edificio Docente- Decanato	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,89	26	2	52	13,00	45,00
	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,89	26	2	52	13,00	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,89	19	2	38	9,50	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,89	19	2	38	9,50	
Terraza Docente	1,65	0,99	32,70	8,30	1,30	2,89	33	2	66	16,50	24,00
Azotea del docente	1,65	0,99	15,30	6,50	1,30	2,89	15	2	30	7,50	

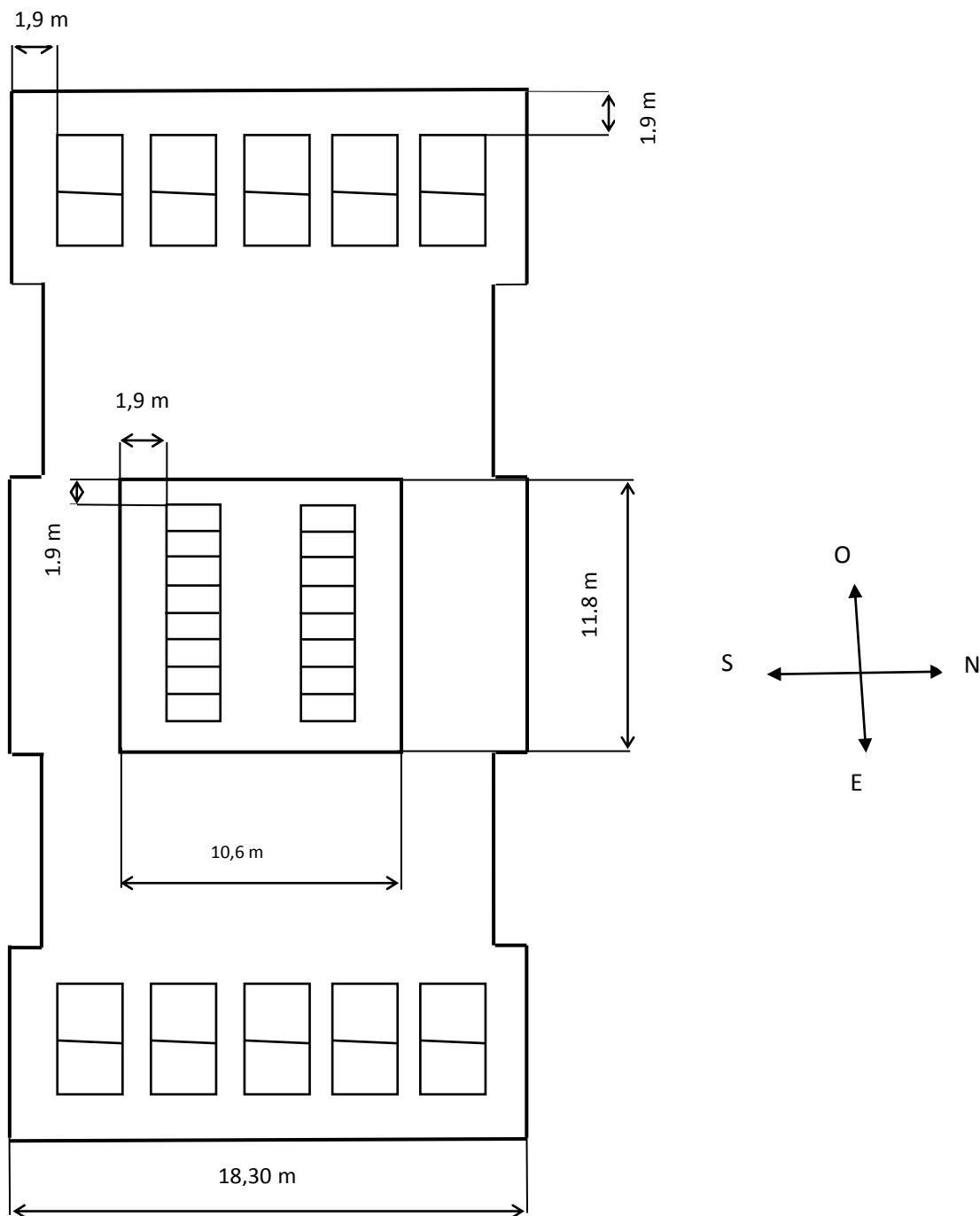
Anexo 23 Apoyando con la arista más grande del panel solar sobre la estructura en el largo de la superficie útil.

Área	Largo panel (L)	Ancho panel (B)	Largo superficie útil (m)	Ancho superficie útil (m)	Distancia entre filas, d (m)	$S= d+L\cos 15^\circ$	Número de paneles por filas	Número de filas	Número de paneles máximos	Potencia (kW)	Total Potencia (kW)
Edificio Residencial 1	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	2,00
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	4	2	8	2,00	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
Edificio Residencial 2	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	2,00
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	4	2	8	2,00	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
Edificio Residencial 3	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	2,00
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	4	2	8	2,00	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
Edificio Residencial 4	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	2,00
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	4	2	8	2,00	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
Edificio Residencial 5	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	2,00
	1,65	0,99	7,40	5,60	1,30	2,26	4	2	8	2,00	
	1,65	0,99	13,80	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
Edificio Residencial 6	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	3,00
	1,65	0,99	8,00	6,80	1,30	2,26	4	3	12	3,00	
	1,65	0,99	14,50	2,05	1,30	2,26	8	0	0	0,00	
ATM	1,65	0,99	42,00	12,00	1,30	2,26	25	5	125	31,25	67,50
	1,65	0,99	48,00	12,00	1,30	2,26	29	5	145	36,25	
Casa Estudiantil	1,65	0,99	14,00	7,00	1,30	2,26	8	3	24	6,00	6,00
Laboratorio	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,26	5	1	5	1,25	2,50
	1,65	0,99	8,70	3,40	1,30	2,26	5	1	5	1,25	
Edificio Docente- Decanato	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,26	15	2	30	7,50	26,00
	1,65	0,99	26,00	6,00	1,30	2,26	15	2	30	7,50	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,26	11	2	22	5,50	
	1,65	0,99	19,00	6,00	1,30	2,26	11	2	22	5,50	
Terraza Docente	1,65	0,99	32,70	8,30	1,30	2,26	19	3	57	14,25	18,75
Azotea del docente	1,65	0,99	15,30	6,50	1,30	2,26	9	2	18	4,50	

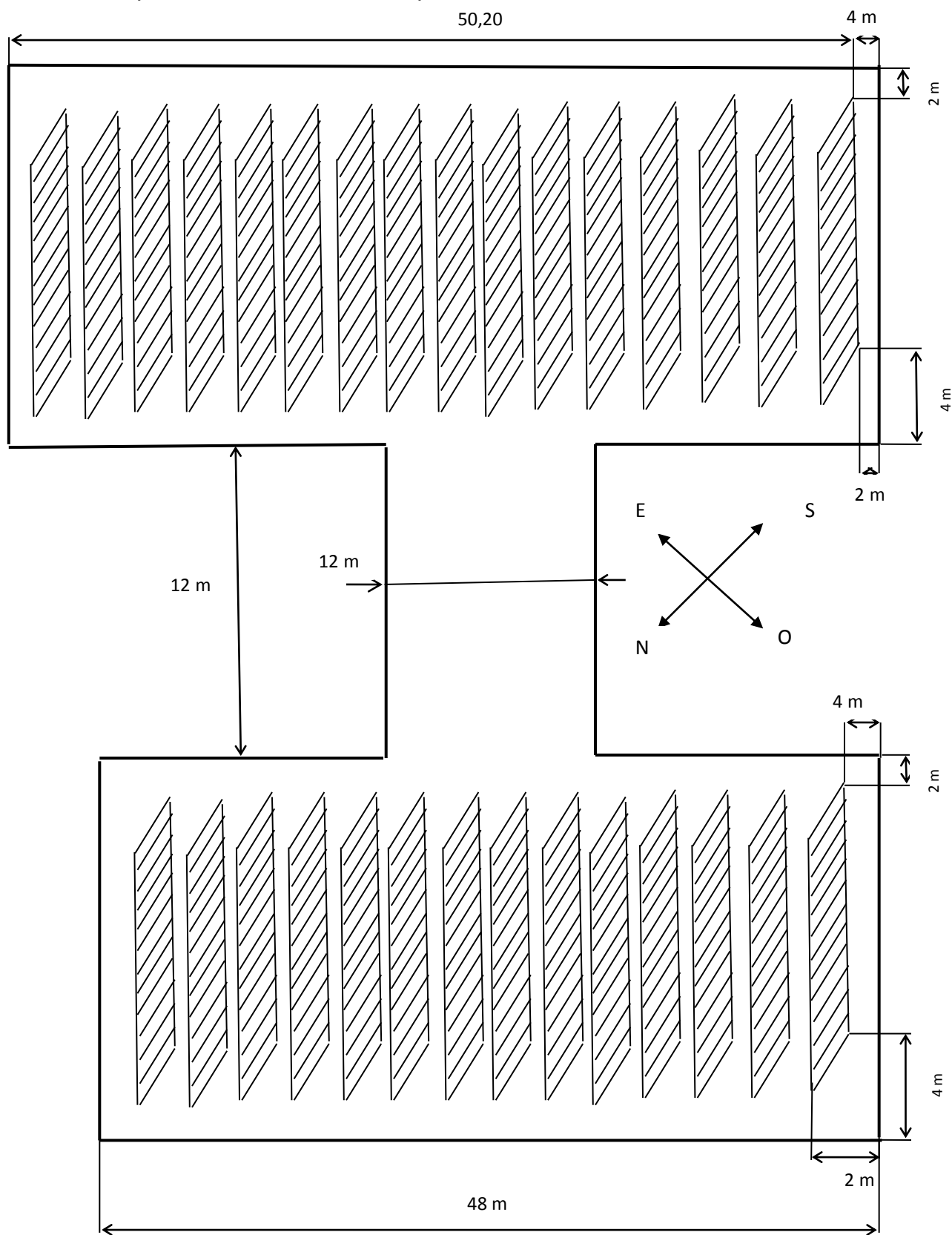
Anexo 24 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea de los edificios residenciales No. 1 a la 5.



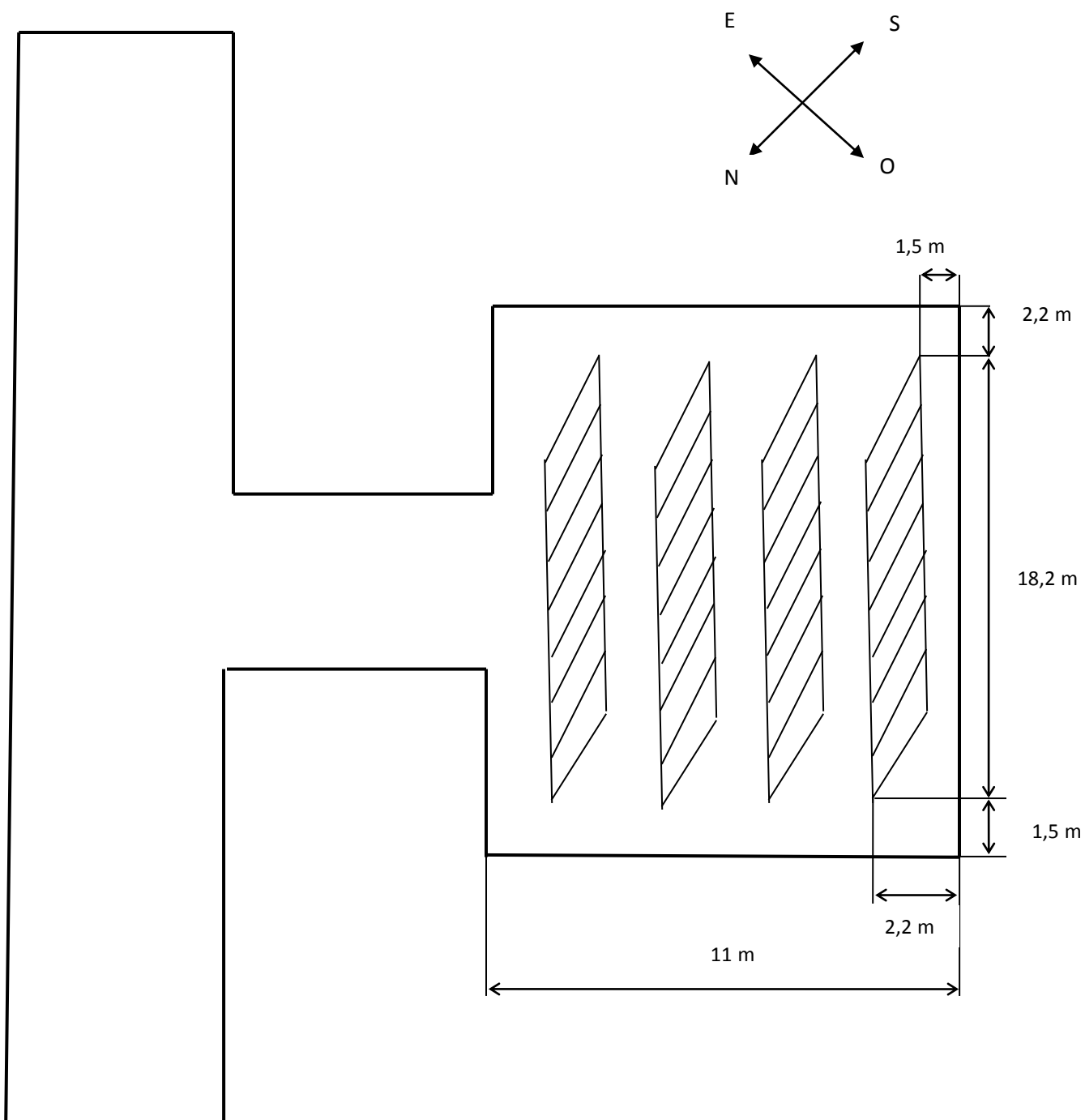
Anexo 25 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio residencial No. 6



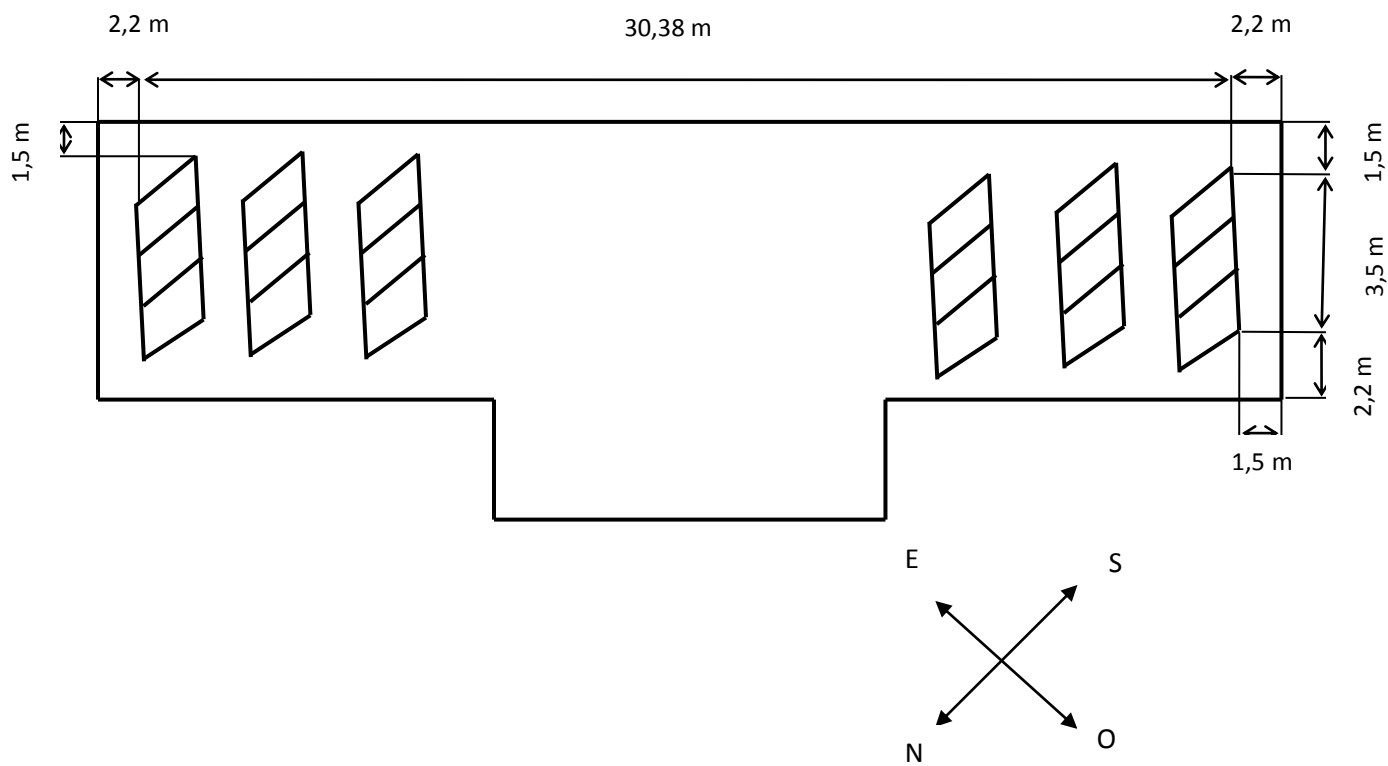
Anexo 26 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio ATM



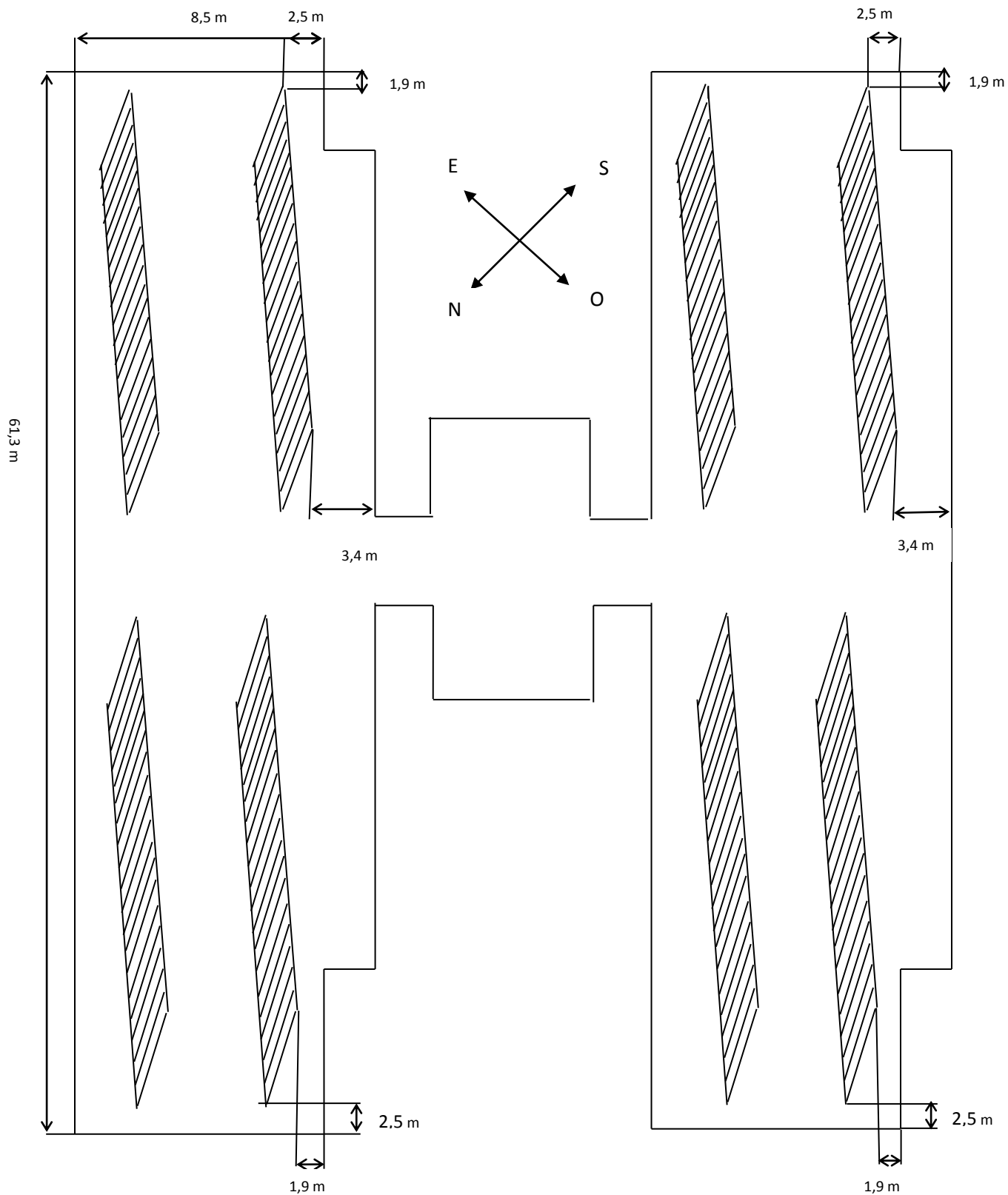
Anexo 27 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio Casa Estudiantil.



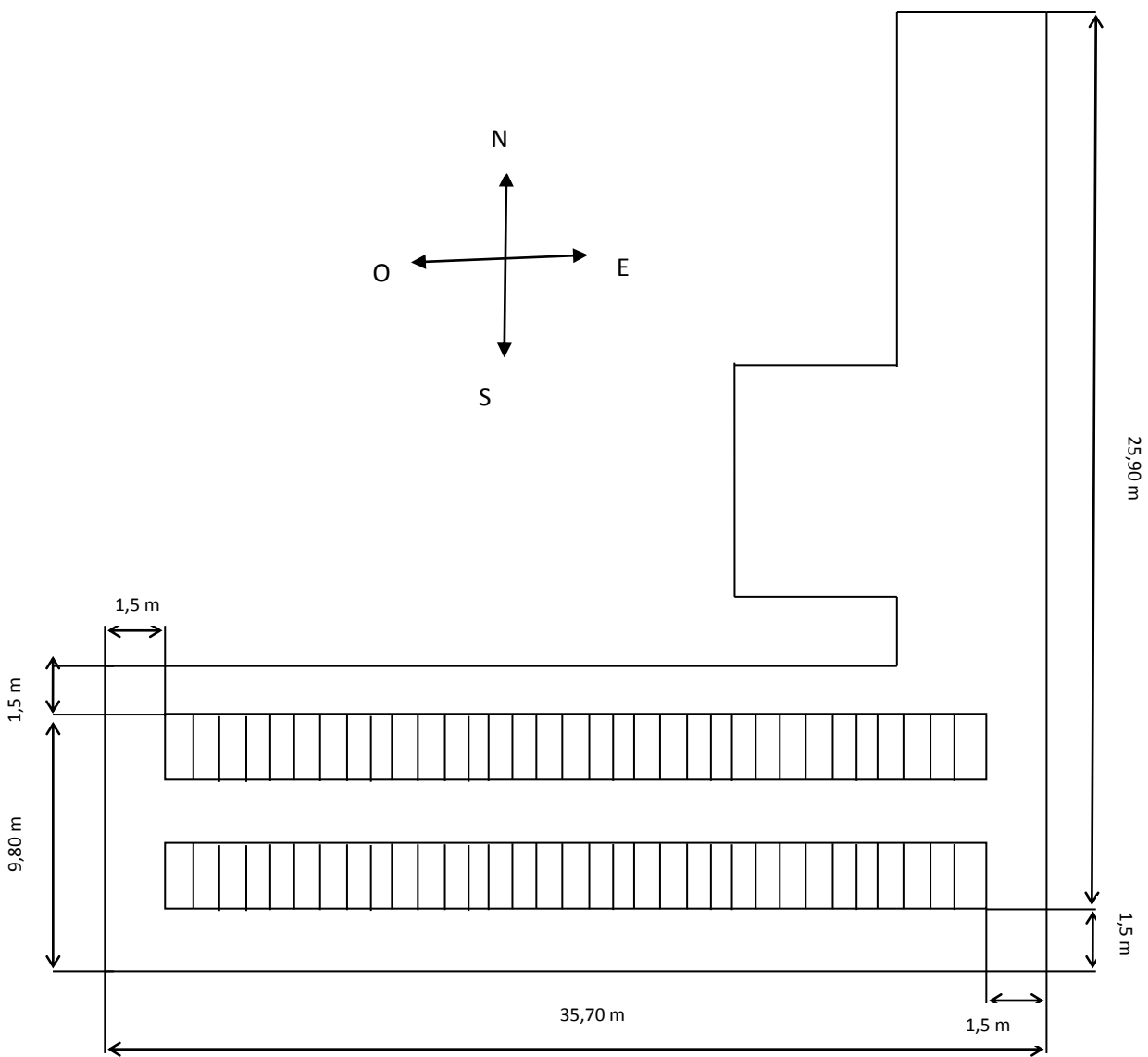
Anexo 28 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio Laboratorio



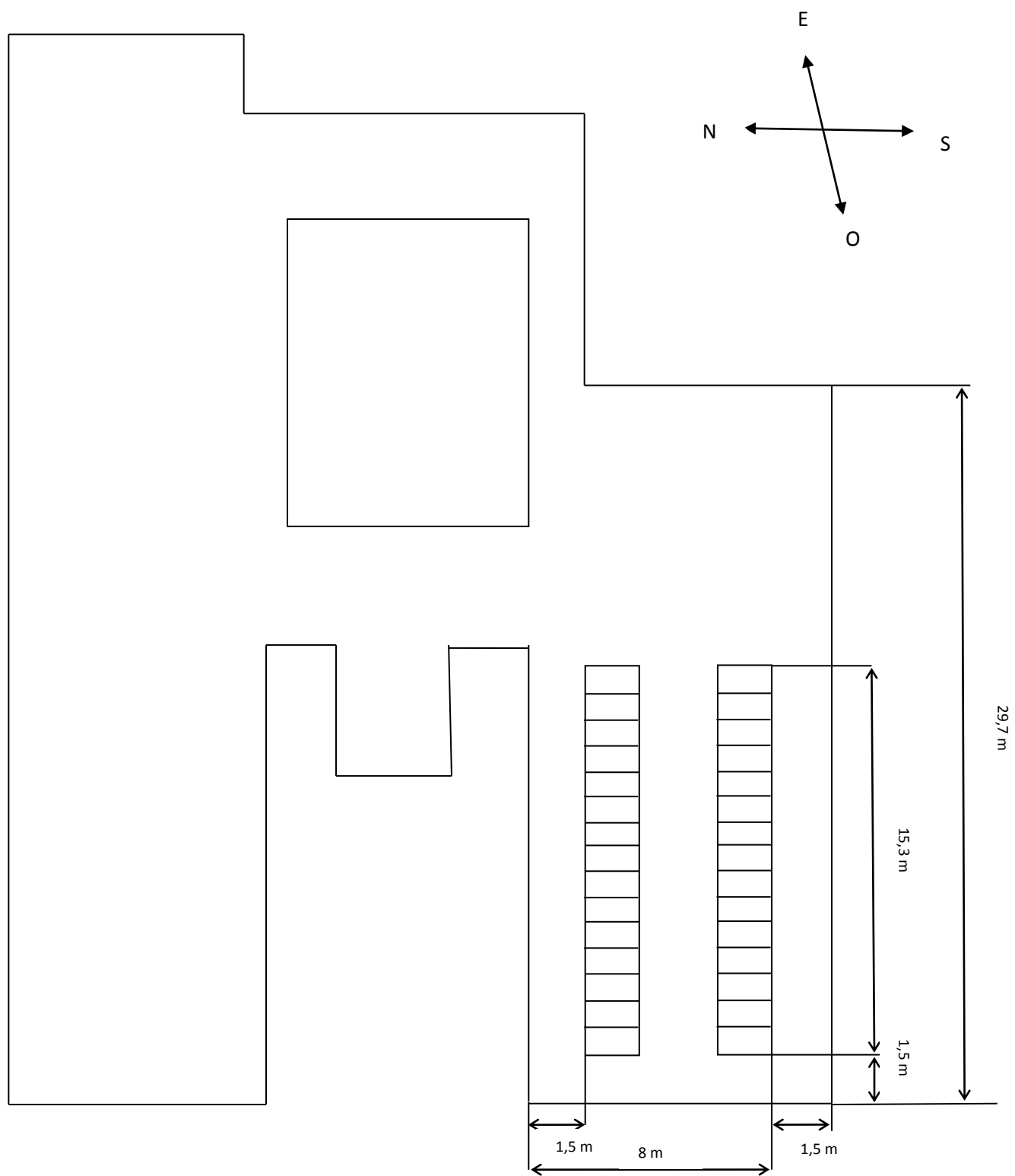
Anexo 29 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio Docente-Decanato (edificio H)



Anexo 30 Esquema de ubicación de los paneles solares en la terraza del edificio docente.



Anexo 31 Esquema de ubicación de los paneles solares en la azotea del edificio docente.



Anexo 32: Inversores a utilizar

Área	Potencia a instalar (kW)	Inversor a utilizar
Edificio Residencial 1	6	Inversor de red 6 kW trifásico - STP6000TL-20-SMA
Edificio Residencial 2	6	Inversor de red 6 kW trifásico - STP6000TL-20-SMA
Edificio Residencial 3	6	Inversor de red 6 kW trifásico - STP6000TL-20-SMA
Edificio Residencial 4	6	Inversor de red 6 kW trifásico - STP6000TL-20-SMA
Edificio Residencial 5	6	Inversor de red 6 kW trifásico - STP6000TL-20-SMA
Edificio Residencial 6	9	Inversor de red 9 kW trifásico Growatt 9000UE - GROWATT
ATM	42	Inversor de red 42 kW trifásico
	48	GRI0065 Inversor de red 50 kW trifásico - RPI M50A_12s - DELTA
Casa Estudiantil	7	Inversor de red 7 kW trifásico Growatt 7000UE- GROWATT
Laboratorio	4,5	Inversor de red 4,5 kW trifásico SYMO 4,5-3-S - FRONIUS
Edificio Docente-Decanato	13	Inversor de red 15 kW trifásico 3PMP - PIKO 15 - KOSTAL
	13	Inversor de red 15 kW trifásico 3PMP - PIKO 15 - KOSTAL
	9,5	Inversor de red 10 kW trifásico 2PMP - PIKO 10 - KOSTAL 2.259,18
	9,5	Inversor de red 10 kW trifásico 2PMP - PIKO 10 - KOSTAL 2.259,18
Terraza docente	16,5	Inversor de red 17 kW trifásico 3PMP - PIKO 17 - KOSTAL
Azotea del docente	7.5	Inversor de red 8 kW trifásico Growatt 8000UE - GROWATT

Anexo 33: Cantidad de conductor por área

Áreas	Conductor cobre número 15	Conductor cobre de 4 vías,
Edificio Motelito	40 m	40 m
Edificio Residencial 2	40 m	40 m
Edificio Residencial 3	40 m	40 m
Edificio Residencial 4	40 m	40 m
Edificio Residencial 5	40 m	40 m
Edificio Residencial 6	40 m	40 m
ATM	546 m	182 m
Casa Estudiantil	50.5 m	30 m
Laboratorio	15 m	15 m
Edificio Docente-Decanato	284 m	95 m
Terraza docente 3. piso	111 m	55 m
Azotea del docente	38 m	30 m

Anexo 34 Flujo de Caja del Proyecto Edificio Residencial (1 al 5)

Costo promedio de la energía	0,2							
Costo del generador fotovoltaico	3540							
Costo inversores	3720							
Costos instalación	1896							
Costo inversión Total	9156							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energía Generada (MWh) por año	9,575	9,575	9,575	9,575	9,575	9,575	9,575	9,575
Ingreso por energía generada (\$) por año	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0
INGRESO TOTAL	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0	1915,0
Depreciación	915,6	915,6	915,6	915,6	915,6	915,6	915,6	915,6
Ahorro sin impuestos (\$)	999,40	999,40	999,40	999,40	999,40	999,40	999,40	999,40
Impuesto (%)	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Ahorro con impuestos (\$)	998,4	998,4	998,4	998,4	998,4	998,4	998,4	999,4
Flujo efectivo no descontado (\$)	1914,0	1914,0	1914,0	1914,0	1914,0	1914,0	1914,0	1915,0
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	1805,7	1703,5	1607,0	1516,1	1430,3	1349,3	1272,9	1201,5
Flujo de caja	-7350	-5647	-4040	-2524	-1093,5	255,8	1528,68	2730,2
Valor Actual Neto	2730,2							

Nota. Este flujo de caja es el mismo para los primeros 5 edificios residenciales.

Anexo 35 Flujo de Caja del Proyecto Edificio Residencial 6

Costo promedio de la energía	0,2							
Costo del generador fotovoltaico	5310							
Costo inversores	5580							
Costos instalación	2844							
Costo inversión Total	13734							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energía Generada (MWh) por año	14,363	14,363	14,363	14,363	14,363	14,363	14,363	14,363
Ingreso por energía generada (\$) por año	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6
INGRESO TOTAL	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6	2872,6
Depreciación	1373,4	1373,4	1373,4	1373,4	1373,4	1373,4	1373,4	1373,4
Ahorro sin impuestos (\$)	1499,20	1499,20	1499,20	1499,20	1499,20	1499,20	1499,20	1499,20
Impuesto (%)	149,9	149,9	149,9	149,9	149,9	149,9	149,9	149,9
Ahorro con impuestos (\$)	1497,7	1497,7	1497,7	1497,7	1497,7	1497,7	1497,7	1499,2
Flujo efectivo no descontado (\$)	2871,1	2871,1	2871,1	2871,1	2871,1	2871,1	2871,1	2872,6
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	2708,6	2555,3	2410,6	2274,2	2145,5	2024,0	1909,4	1802,3
Flujo de caja	-11025	-8470	-6060	-3785	-1639,9	384,1	2293,58	4095,9
Valor Actual Neto	4095,9							

Anexo 36: Flujo de Caja del Proyecto ATM

Costo promedio de la energía	0,2							
Costo del generador fotovoltaico	53100							
Costo inversores	56160							
Costos instalación	28440							
Costo inversión Total	137700							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energía Generada (MWh) por año	143,63	143,63	143,63	143,63	143,63	143,63	143,63	143,63
Ingreso por energía generada (\$) por año	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0
INGRESO TOTAL	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0	28726,0
Depreciación	13770,0	13770,0	13770,0	13770,0	13770,0	13770,0	13770,0	13770,0
Ahorro sin impuestos (\$)	14956,00	14956,00	14956,00	14956,00	14956,00	14956,00	14956,00	14956,00
Impuesto (%)	1495,6	1495,6	1495,6	1495,6	1495,6	1495,6	1495,6	1495,6
Ahorro con impuestos (\$)	14941,0	14941,0	14941,0	14941,0	14941,0	14941,0	14941,0	14956,0
Flujo efectivo no descontado (\$)	28711,0	28711,0	28711,0	28711,0	28711,0	28711,0	28711,0	28726,0
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	27085,9	25552,7	24106,3	22741,8	21454,6	20240,2	19094,5	18023,0
Flujo de caja	-110614	-85061	-60955	-38213	-16758,6	3481,5	22576,00	40599,0
Valor Actual Neto	40599,0							

Anexo 37: Flujo de Caja del Proyecto Casa Estudiantil

Costo promedio de la energía	0,2							
Costo del generador fotovoltaico	4130,0							
Costo inversores	4340							
Costos instalación	2212							
Costo inversión Total	10682							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energía Generada (MWh) por año	11,171	11,171	11,171	11,171	11,171	11,171	11,171	11,171
Ingreso por energía generada (\$) por año	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2
INGRESO TOTAL	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2	2234,2
Depreciación	1068,2	1068,2	1068,2	1068,2	1068,2	1068,2	1068,2	1068,2
Ahorro sin impuestos (\$)	1166,00	1166,00	1166,00	1166,00	1166,00	1166,00	1166,00	1166,00
Impuesto (%)	116,6	116,6	116,6	116,6	116,6	116,6	116,6	116,6
Ahorro con impuestos (\$)	1164,8	1164,8	1164,8	1164,8	1164,8	1164,8	1164,8	1166,0
Flujo efectivo no descontado (\$)	2233,0	2233,0	2233,0	2233,0	2233,0	2233,0	2233,0	2234,2
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	2106,6	1987,4	1874,9	1768,8	1668,7	1574,2	1485,1	1401,8
Flujo de caja	-8575	-6588	-4713	-2944	-1275,6	298,6	1783,65	3185,4
Valor Actual Neto	3185,4							

Anexo 38: Flujo de Caja del Proyecto Laboratorio

Costo promedio de la energía	0,21							
Costo del generador fotovoltaico	2655,0							
Costo inversores	2790							
Costos instalación	1422							
Costo inversión Total	6867							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Energía Generada (MWh) por año	7,181	7,181	7,181	7,181	7,181	7,181	7,181	7,181
Ingreso por energía generada (\$) por año	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0
INGRESO TOTAL	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0	1508,0
Depreciación	686,7	686,7	686,7	686,7	686,7	686,7	686,7	686,7
Ahorro sin impuestos (\$)	821,31	821,31	821,31	821,31	821,31	821,31	821,31	821,31
Impuesto (%)	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1
Ahorro con impuestos (\$)	820,5	820,5	820,5	820,5	820,5	820,5	820,5	821,3
Flujo efectivo no descontado (\$)	1507,2	1507,2	1507,2	1507,2	1507,2	1507,2	1507,2	1508,0
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	1421,9	1341,4	1265,5	1193,8	1126,3	1062,5	1002,4	946,1
Flujo de caja	-5445	-4104	-2838	-1644	-518,2	544,3	1546,70	2492,8
Valor Actual Neto	2492,8							

Anexo 39: Flujo de Caja del Proyecto Docente-Decanato

Costo promedio de la energía	0,21							
Costo del generador fotovoltaico	26550,0							
Costo inversores	28800							
Costos instalación	14220							
Costo inversión Total	69570							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Energía Generada (MWh) por año	71,816	71,816	71,816	71,816	71,816	71,816	71,816	71,816
Ingreso por energía generada (\$) por año	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4
INGRESO TOTAL	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4	15081,4
Depreciación	6957,0	6957,0	6957,0	6957,0	6957,0	6957,0	6957,0	6957,0
Ahorro sin impuestos (\$)	8124,36	8124,36	8124,36	8124,36	8124,36	8124,36	8124,36	8124,36
Impuesto (%)	812,4	812,4	812,4	812,4	812,4	812,4	812,4	812,4
Ahorro con impuestos (\$)	8116,2	8116,2	8116,2	8116,2	8116,2	8116,2	8116,2	8124,4
Flujo efectivo no descontado (\$)	15073,2	15073,2	15073,2	15073,2	15073,2	15073,2	15073,2	15081,4
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	14220,0	13415,1	12655,8	11939,4	11263,6	10626,0	10024,6	9462,2
Flujo de caja	-55350	-41935	-29279	-17340	-6076,0	4550,0	14574,55	24036,8
Valor Actual Neto	24036,8							

Anexo 40: Flujo de Caja del Proyecto Docente

Costo promedio de la energía	0,26							
Costo del generador fotovoltaico	14160,0							
Costo inversores	15060							
Costos instalación	7584							
Costo inversión Total	36804							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de interés (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kWh)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Energía Generada (MWh) por año	38,301	38,301	38,301	38,301	38,301	38,301	38,301	38,301
Ingreso por energía generada (\$) por año	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3
INGRESO TOTAL	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3	9958,3
Depreciación	3680,4	3680,4	3680,4	3680,4	3680,4	3680,4	3680,4	3680,4
Ahorro sin impuestos (\$)	6277,86	6277,86	6277,86	6277,86	6277,86	6277,86	6277,86	6277,86
Impuesto (%)	627,8	627,8	627,8	627,8	627,8	627,8	627,8	627,8
Ahorro con impuestos (\$)	6271,6	6271,6	6271,6	6271,6	6271,6	6271,6	6271,6	6277,9
Flujo efectivo no descontado (\$)	9952,0	9952,0	9952,0	9952,0	9952,0	9952,0	9952,0	9958,3
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	9388,7	8857,2	8355,9	7882,9	7436,7	7015,8	6618,6	6247,9
Flujo de caja	-27415	-18558	-10202	-2319	5117,4	12133,1	18751,76	24999,7
Valor Actual Neto	24999,7							

Anexo 41: Resultado de los Flujos de caja

Área	Superficie Útil	Cantidad de paneles solares	Cantidad de inversores	Potencial generación al año	Inversión total	Período de recuperación
	m ²	U	U	MWh	MT	años
Edificio Residencial No.1	98,02	24	1	9,575	9156	5
Edificio Residencial No.2	98,02	24	1	9,575	9156	5
Edificio Residencial No.3	98,02	24	1	9,575	9156	5
Edificio Residencial No.4	98,02	24	1	9,575	9156	5
Edificio Residencial No.5	98,02	24	1	9,575	9156	5
Edificio Residencial No.6	113,85	36	1	14,363	13734	5
ATM	1080	360	2	143,63	137700	5
Casa Estudiantil	98,00	28	1	11,171	10682	5
Laboratorio	59,16	18	1	7,181	6867	5
Edificio Docente Decanato	540,00	180	2	71,816	69570	5
Edificio Docente	370.86	96	2	38,301	36804	4
Total	2751,97	838	14	334,337	321137	5

Bibliografía

1. Boletín de FRE de la UNE. Semanal No. 97. No. 1 Año 2018. 5 de enero de 2018/ Señal FV No. 52 (Consideraciones). Autor: Dr. C. Daniel Stolik. (2.1.18). Costos fv y nuevo paradigma de la generación eléctrica.
2. SALA, Marco. "Examples of green buildings from the Mediterranean region and modern architecture. The real clean energy: energy efficiency in existing buildings". En: XIII Congreso Mundial de Energías Renovables. Londres: Universidad de Kingston, agosto del 2014.
3. LI, Baizhan. "Development of green building and eco-cities in china". En: XIII Congreso Mundial de Energías Renovables. Londres: Universidad de Kingston, agosto del 2014.
4. Bassilihanna, George. "Energy efficiency in buildings and green pyramid evaluation system". En: XIII Congreso Mundial de Energías Renovables. Londres: Universidad de Kingston, agosto del 2014.
5. Yeniley Allegue Losada. Facultad de Economía, Universidad de La Habana, Cuba. Fuentes renovables de energía: evaluación de opciones de mitigación en el sector energético cubano. ECONOMÍA Y DESARROLLO RNPS: 0009 • issN: 0252-8584 • año xlviii • vol. 158 • n.o 1 • enero-junio • 2017 • pp. 152-162
6. <https://www.energia16.com/los-combustibles-fosiles/>
7. <https://www.elboletin.com/noticia/160911/economia/los-combustibles-fosiles-acaparan-el-80-de-la-demanda-mundial-pese-al-tiron-renovable.html>
8. Fuente: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/>
9. <https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>
10. <https://ecofener.com/blog/instalaciones-fotovoltaicas-conectadas-a-la-red-electrica-autoconsumo-fotovoltaico/>
11. <http://www.energetica21.com/noticia/el-consumo-electrico-en-2017-sube-el-carbon-y-cae-la-energia-hidroelectrica>
12. Cruz Frank A. (2017) . Implementación de un sistema fotovoltaico con conmutación a la red para parte de las cargas del

- CEETAM en el ISMMM. Trabajo de Diploma , Moa, Cuba. Instituto Superior Mimero Metalurgico de Moa.
13. Parlá B. (2014). Instalaciones fotovoltaicas urbanas interconectadas a red. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Cuba. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
 14. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). España. 2011.
 15. Bandera G. Dimensionado de un sistema fotovoltaico en una cooperativa agropecuaria cubana. Revista Eco Solar No.58/2017
 16. Fernandez D. 2015. Estudio Preliminar de Alternativas de Empleo de Energía Fotovoltaica en la UCLV. Trabajo de Diploma. Santa Clara. Cuba. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas
 17. Stolik D. Los costos de la energía fotovoltaica (FV). Revista Eco Solar No. 60 /2017.
 18. Díaz R. Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. Energética. Vol. 39 no. 3 La Habana sept-Dic. 2018.
 19. Pallejá J. C. Estudio de la afectación de las sombras en un panel fotovoltaico. Universitat Rovira. 2012.
 20. Hidalgo L. A. Propuesta para la implementación de Medidas de Eficiencia Energética y Energía Renovable en el Centro de Capacitación W.K. Kellogg. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. 2014.
 21. Basterra Larrea, Instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red eléctrica. Un análisis técnico-económico.2017
 22. Dr. C. Daniel Stolik Novygrad. Informe sobre optimización de costos de construccion y montaje de sistemas fotovoltaicos. Instituto Ciencia y Tecnologia Materiales. Universidad La Habana.
 23. Junta Andalucía. España. Memoria Energia Solar Fotovoltaica.