



Universidad de Matanzas
Facultad de Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Industrial

Proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos.

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial.

Autor (a): Reynaldo García Flores.

Tutor (es): MSc. Tomás Espinosa Ashóng

Dr. C. Yoel Almeda Barrios

Cotutores: Adriana Rodríguez Gamba

Matanzas, 2022



Pensamiento

“La energía solar es limpia, renovable y rentable, pero también necesita tiempo para desarrollarse”

J. D. Hayworth.



Dedicatoria

A ese tesoro llamado FAMILIA, que en el más gris de los días aún irradia amor, fuerza, confianza, esperanza y apoyo, en fin, a ustedes: mamá, papá, abuelos, tíos, primos, a ustedes dedico yo con mucho amor y orgullo este trabajo.



Agradecimientos

- A mis padres, por la vida, la educación, los valores, la confianza, el apoyo y amor. A ustedes le debo lo que soy.
- A mi novia Vanesa por el cariño, amor, confianza, apoyo y por esa compañía tan necesaria e inigualable durante esta larga travesía.
- A mis abuelos y tíos por la alegría, apoyo, preocupación, consejos y amor.
- A mis tutores Tomás y Yoel por la incansable dedicación, atención, apoyo y amistad, por hacer de mis sueños su trabajo y no negarme nunca su tiempo, comprensión y conocimientos. Gracias por ser los mejores y ayudarme a convertir un tema de tesis en un título de Ingeniero Industrial.
- A mis compañeros de aula y beca, por los momentos, la alegría, el apoyo, ayuda y el placer de compartir estos años con ustedes.
- A todos mis profesores, sin excepción de alguno, por cada clase, consejo, por su obra y conocimientos que garantizaron proporcionalmente el logro de este propósito.
- A la UEB Suchel Jovel y en especial a esos trabajadores como Alina, Marvelis, Adriana, Raúl, Made, entre otros que me brindaron sus conocimientos y experiencia.
- A todos los que desde el primer día confiaron y apostaron por mí, los que creían que llegaría, los que no creyeron y a los que en tan solo un segundo formaron parte de este sueño y me apoyaron para sí.
- Por último y no menos importante, sino todo lo contrario, le doy un agradecimiento más que especial a la mejor amiga del mundo, mi compañera inseparable desde el primer día, esa que me supo ayudar en los momentos difíciles y nunca me dijo que no cuando la necesité y se quitaba parte de su tiempo para dedicármelo a mí, a ti Ana Laura, mi Ani, te dedico este agradecimiento con todo mi corazón y con los más sinceros y profundos sentimientos, te quiero AMIGA.

A todos: Mil Gracias.



Declaración de autoridad

Declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma titulado proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos, realizado en la Universidad de Matanzas como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Industrial, presentado en opción del título de Ingeniera Industrial y autorizo que el mismo sea utilizado por la institución como material de consulta para todo aquel que lo necesite.

Reynaldo García Flores.



Nota de aceptación

Presidente

Tribunal

Tribunal

Tribunal

Evaluación: _____



Resumen

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. Los mayores progresos se observan en las energías eólica, solar fotovoltaica y térmica. Para muchos países, las redescubiertas fuentes de energía renovable se ven favorecidas porque tienen una naturaleza ilimitada, sin una única distribución territorial. Tampoco generan residuos peligrosos ni dañan el medioambiente. El sol puede satisfacer todas las necesidades si se aprende a explotar racionalmente la energía que irradia continuamente hacia la tierra. Basta pensar que durante este año irradiará hacia la tierra cuatro mil veces más de energía de la que toda la población mundial logrará consumir, sería insensato no aprovecharla. Esta energía puede ser explotada directamente o transformada en electricidad. Cuba ha apostado por las fuentes renovables de energía. La resiliencia del sistema energético es fundamental. Al mismo tiempo la empresa UEB Suchel Jovel ha apostado por el manejo y utilización de las fuentes renovables de energía, específicamente la solar. Con la aplicación del proyecto además de dejarse de consumir 520 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 442 464 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 1 507 toneladas de dióxido de carbono anuales, contribuyendo ostensiblemente al mejoramiento del medio ambiente.

Palabras claves: Paneles solares, energía renovable.



Abstract

The participation of renewable energy technologies grows worldwide by 20% per year, if all its manifestations are taken into account. The greatest progress is observed in wind, solar photovoltaic and thermal energy. For many countries, the rediscovered renewable energy sources are favored because they are unlimited in nature, without a single territorial distribution. They also do not generate hazardous waste or harm the environment. The sun can satisfy all needs if one learns to rationally exploit the energy that it continuously radiates towards the earth. It is enough to think that during this year it will radiate towards the earth four thousand times more energy than the entire world population will be able to consume, it would be foolish not to take advantage of it. This energy can be exploited directly or transformed into electricity. Cuba has opted for renewable energy sources. The resilience of the energy system is essential. At the same time, the company UEB Suchel Jovel has opted for the management and use of renewable energy sources, specifically solar energy. With the application of the project, in addition to not consuming 520 tons of fossil fuels per year, that is, approximately 442,464 liters of hydrocarbons per year, 1,507 tons of carbon dioxide are no longer emitted into the atmosphere per year, ostensibly contributing to the improvement of the environment.

Keywords: Solar panels, renewable energy.



Indice:

Introducción:.....	1
Capítulo I. Marco teórico referencial	7
1.1 Evolución Histórica de las energías renovables	8
1.2 Tipos de energía.....	8
1.2.1 Energías Alternativas (EA).....	8
1.2.2 Energía Renovable	9
1.3 Energía solar. La energía solar como fuente de energía renovable.	11
1.3.1 Radiación solar	13
1.3.2 Factores que inciden en la radiación solar.....	15
1.3.3 Modelos Matemáticos para la determinación de la potencia solar disponible	16
1.4 Tendencias actuales de aprovechamiento de las Energías Renovables en zonas urbanas (Microgeneración)	18
1.5 Potencial de la energía solar en Cuba.....	19
1.6 Medio Ambiente.....	21
1.7 Paneles solares fotovoltaicos. Componentes de los paneles fotovoltaicos	22
1.7.1 Energía en la celda solar	24
1.8 Estructura física de los módulos fotovoltaicos	24
1.8.1 Equipos componentes de una instalación fotovoltaica	24
Capítulo II. Materiales y métodos	27
2.1 Caracterización de la empresa	27
2.2 Fuentes de energía actuales. Caracterización por fuentes de suministro	29
2.3 Revisión energética de la empresa.....	30
2.4 Orientación e inclinación del generador	32
2.5 Servicio Actual.....	33
2.6 Descripción del proyecto	33
2.6.1 Sistema Fotovoltaico	34
2.6.2 Cableado Fotovoltaico	37
2.6.3 Protecciones	37
2.6.4 Estructura	38
2.6.5 Inversores.....	38
2.6.6 Panel solar serie DSM– 380M-72	39



2.6.7 Transformador Seco	40
2.6.8 Sistema Eléctrico	40
2.6.9 Puesta a Tierra	43
2.7 Metodología para el dimensionamiento de la instalación	45
2.7.1 Las áreas de techo utilizables	45
2.7.2 Análisis de la inversión	45
2.7.3 Cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles.	45
2.7.4 Cálculo medioambiental	46
2.7.5 Eficiencia energética	46
Capítulo III. Aplicación del procedimiento para el proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos	47
3.1 Las áreas de techo utilizables se desglosan de la forma siguiente:	47
3.2 Análisis Económico	47
3.2.1 Análisis de la inversión	47
3.2.2 Cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles.	50
3.2.3 Cálculo medioambiental	51
3.2.4 Eficiencia energética	53
Conclusiones	55
Recomendaciones	56
Bibliografía	1
Anexos:	4



Introducción:

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por ser limpias y sobre todo sostenibles. Los mayores progresos se observan en las energías eólica, solar fotovoltaica y térmica. Avances importantes se aprecian en los biocombustibles y en el empleo de los desechos. Se puede afirmar, por tanto, que en no menos de diez años las fuentes renovables de energía serán las de mayor participación en el balance energético mundial (Sánchez Acevedo 2019).

Para muchos países, las redescubiertas fuentes de energía renovable se ven favorecidas porque tienen una naturaleza ilimitada, sin una única distribución territorial. Tampoco generan residuos peligrosos ni dañan el medioambiente. Un suministro continuo y de calidad de energía permite realizar actividades domésticas, industriales y de todo tipo. Es un insumo crítico en los sectores económicos. En consecuencia, lograr el acceso universal a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015).

Cuba no está de espaldas a esta realidad, es rica en recursos energéticos renovables y pobre en los no renovables; el sol, el viento, la biomasa (fundamentalmente la procedente de la caña de azúcar) y la hidroenergía son las fuentes a las cuales se les puede apostar con mayor certeza para la diversificación de la matriz energética. Lograr 100% de autoabastecimiento energético con fuentes renovables de energía es un reto para esta generación (Sánchez Acevedo, Leonardo, 2019).

Hace poco más de un año, Raúl alertó sobre el riesgo de enfrentar retos y amenazas ante el escenario adverso conformado por la política de los Estados Unidos, “Se estrecha el cerco y nuestro pueblo debe estar preparado. Ha ocurrido todo lo que él alertó” (Díaz Canel, 2019).

“...la energía solar fotovoltaica es la de mayores avances: hay 65 parques construidos a lo largo del país y están en proceso otros 15 que incrementarán a 42 megavatios (MW) la potencia instalada”, afirmó recientemente a la televisión nacional (Amarán 2022).

Cuba ha estado en constante proceso de transformación durante las presidencias de Raúl Castro Ruz (2008-18) y Miguel Díaz Canel Bermúdez (desde 2018). Cuba se está modernizando y adaptando a una variedad de desafíos de desarrollo, mientras mantiene su



sistema político y los logros de la Revolución, como la atención médica y la educación, universales y gratuitas. El sector energético es fundamental para la modernización y reestructuración de la producción económica de la sociedad. El sistema energético cubano es altamente dependiente de los combustibles fósiles, gran parte de los cuales son importados, aumentando la carga económica para la sociedad.

El gobierno cubano ha respondido a este problema desarrollando políticas para, por un lado, aumentar el uso de fuentes renovables de energía domésticas y, por otro lado, mejorar la eficiencia energética a lo largo de la cadena, desde la producción hasta el consumo.

El plan nacional de desarrollo ha priorizado la energía, el desarrollo socioeconómico y el medioambiente. Cuba cuenta con significativos recursos renovables de energía a nivel nacional (solar, eólica y biomasa), que pueden utilizarse para reducir la dependencia de las importaciones, los costos de producción y las emisiones ambientales, y mejorar el acceso a los servicios energéticos. El desarrollo y uso a gran escala de las fuentes renovables de energía requerirá la modernización del sistema energético, e inversiones significativas. El papel de las inversiones extranjeras será crucial en el proceso de transformación hacia un sistema con un alto por ciento de generación con fuentes renovables de energía, y la nueva ley de inversiones en Cuba es una respuesta a este problema.

La generación distribuida con fuentes renovables de energía puede tener varios impactos positivos en la sociedad. Puede crear nuevas oportunidades de empleo, especialmente en las áreas rurales, que generalmente se quedan atrás en las inversiones. También mejora la autosuficiencia y aumenta las posibilidades de acceso equitativo a las fuentes de energía. La producción de energía distribuida, en paralelo con la mayor autonomía del sistema de gobierno municipal, de acuerdo con la nueva constitución, puede tener impactos positivos en el desarrollo de las sociedades locales. La producción de energía descentralizada es menos vulnerable a los impactos del cambio climático, como la creciente ocurrencia de huracanes, sequías, inundaciones, aumento del nivel del mar, etc. Sin embargo, se debe enfatizar en la gobernanza sostenible de la extracción de recursos naturales y el uso de la tierra.

La participación en la planificación del desarrollo energético, especialmente a nivel local, de diversas personas que representan diferentes esferas sociales, es esencial para integrar diferentes puntos de vista y valores en el proceso. El empoderamiento de la comunidad y la autonomía local potenciará la inclusión de aspectos relacionados con los impactos sociales, el



papel de la mujer, la seguridad alimentaria, la vulnerabilidad social, la inequidad, la distribución justa y equitativa de los recursos, y el desarrollo del potencial humano en el proceso de planificación. Además, el proceso de planificación debe basarse en investigaciones interdisciplinarias y transdisciplinarias para brindar información sobre los diversos aspectos que las comunidades ven como relevantes. Esto puede constituir la base para un desarrollo tecnológico democrático, soberano y liberador.

Las universidades y los centros de investigación tienen un papel fundamental en el futuro del desarrollo energético cubano, al mejorar/generar capacidades para el uso de recursos renovables a través de la innovación, el conocimiento, el aprendizaje y la creatividad de los ingenieros e investigadores del país. Por ello, se está desarrollando el Proyecto Internacional IRIS “Transformación energética cubana. Integración de fuentes renovables intermitentes en el sistema eléctrico”, que se realiza con el apoyo del gobierno de Finlandia a través de la Academia de Finlandia para construir y mejorar capacidades en este campo.

El sol puede satisfacer todas las necesidades si se aprende a explotar racionalmente la energía que irradia continuamente hacia la tierra. Brilla en el cielo desde hace poco menos de 5 billones de años y, sin embargo, se calcula que aún no ha llegado a la mitad de su existencia. Basta pensar que durante este año el sol irradiará hacia la tierra cuatro mil veces más de energía de la que toda la población mundial logrará consumir. Sería insensato no aprovecharla, gracias a los medios tecnológicos disponibles, considerando que dicha fuente de energía es gratuita, limpia e inagotable y que podría liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo y de otras fuentes alternativas poco seguras y contaminantes. Esta energía puede ser explotada directamente o transformada en electricidad. Oportunamente tratada y controlada, se puede vender al gestor eléctrico según normas y reglas internacionales. La elección de una solución fotovoltaica representa, por lo tanto, una inversión de retornos ciertos y fácilmente calculables, gracias a los esquemas de financiación previstos por las distintas leyes y distintas modificaciones ajenas como la temperatura e irradiación (E.N. De la Torre, 2021).

En la actualidad la demanda de energía eléctrica ha tenido un crecimiento vertiginoso, lo cual conlleva a encontrar más fuentes de energía para poder abastecer esta. Siendo así, los combustibles fósiles las principales fuentes para su generación, dejando en evidencia la gran dependencia que se tiene hacia ellos. Esto sumado a la sobre explotación de los recursos



naturales conlleva a una contaminación global la cual cada vez se vuelve más irreversible (Mesones Abanto, Pedro F.,2019).

Debido a la problemática anterior es donde nace la idea de buscar fuentes de energía alternativa que sean amigables con el medio ambiente, estas son las llamadas energías renovables, las cuales han sido utilizadas por el hombre desde tiempos remotos, como son la energía solar, la eólica y la hidráulica. Actualmente también se utiliza la energía geotérmica marítima y biomasa como fuentes renovables (Mesones Abanto, Pedro F.,2019).

Los problemas de recalentamiento global y de agotamiento han hecho pensar en el uso y aplicación de las energías renovables no convencionales, entre ellas la energía solar fotovoltaica. La generación fotovoltaica es un recurso que además de ser limpio es inagotable; podría ser utilizado en las viviendas rurales, en el funcionamiento de equipos y de instalaciones industriales remotas como puede ser el caso de los sistemas de instrumentación y medición meteorológicos (Acevedo Garcés, Fabio De Jesús,2016).

Hace mucho tiempo que se sueña con usar la luz del sol para generar energía y el hecho de que los países cálidos suelen ser pobres y necesiten energía barata es un aliciente adicional. Desgraciadamente, la energía solar ha tenido muchos problemas para llegar a buen término, debido a que la luz del Sol es de baja intensidad a lo largo de la superficie del planeta y porque los métodos para obtener la energía son caros.

Por ejemplo, resulta caro proporcionar los medios para que un dispositivo siga al Sol durante el día. Esto sin contar con el problema de que de noche no hay rendimiento. Las células solares convierten la luz del Sol en electricidad. Al principio se pensaba que las células debían estar fabricadas de manera muy precisa y formal, hasta que se descubrió por accidente que unas células distorsionadas producían mucha más energía. Los rayos del Sol rebotaban varias veces antes de que se reflejaran.

Se plantea como **situación problemática** de la investigación que, Cuba ha apostado por las fuentes renovables de energía. La dependencia de los combustibles importados ha dirigido el interés del gobierno hacia un mejor uso de los recursos internos para mejorar la seguridad e independencia energética del país, haciéndola menos vulnerable a los cambios externos. Al mismo tiempo, el archipiélago cubano enfrenta problemas relacionados con la insularidad, mientras que las condiciones geográficas y climáticas permiten aprovechar el importante potencial que tiene para generar energía a través de fuentes renovables de energía,



principalmente la solar fotovoltaica. La resiliencia del sistema energético es fundamental. Al mismo tiempo la empresa UEB Suchel Jovel ha apostado por el manejo y utilización de las fuentes renovables de energía, específicamente la solar.

La UEB Suchel Jovel se alimenta actualmente del SEN y tiene un consumo anual de 771604 kWh. La empresa tiene contratado a la unión eléctrica la tarifa M1-A: Media tensión consumidores con metro de triple registro. (Rodríguez Gambar 2020).

Tabla 1: Ejemplo de ahorro para contratar 1kW por 2 años (Tarifa contratada por la empresa).

Tarifa	Especificaciones	CUP/kWh Día (05:00-17:00h)	Ahorro CUP 1 año	Ahorro CUP 2 año	Recuperación de la inversión en años
M1 – A	Media tensión consumidores con metro de triple registros	2.446.00	3669.00	7338.00	1.0

Fuente: (Minas 2021).

Debido a la gran crisis energética que atraviesa el país, la cual no es un secreto para nadie y la situación económica, la empresa se dio a la tarea de buscar una vía para solucionar estos inconvenientes los cuales ya traían consigo pequeños incumplimientos en los planes de producción que apuntaban a un incremento a lo largo del tiempo; la vía que se encontró fue la de las energías renovables, muy de moda en la actualidad con un gran crecimiento en los últimos años. Se realizó el estudio y se determinó que existen áreas propicias para la instalación de paneles solares y para el aprovechamiento de su máximo rendimiento. Obteniéndose que estos paneles solares pueden llegar a tener un rendimiento anual de 940,99 MWh lo cual es equivalente a 940990 kWh. Además de contribuir al cuidado y protección del medio ambiente (CEDAI 2022).

En este sentido el problema científico que se define en esta investigación es:

¿Cómo mejorar la seguridad energética de la UEB Suchel Jovel de Jovellanos con el uso de paneles solares?



El objetivo general que se propone es:

Diseñar un proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos.

Los objetivos específicos que definen el cumplimiento del objetivo general son:

1. Construir el marco teórico referencial de la investigación, relacionado con un proyecto de instalación de paneles solares.
2. Diseñar la metodología del proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos.
3. Aplicación del proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos.

Para una mejor comprensión de la investigación la misma se estructura de la siguiente manera:

Capítulo 1. Marco teórico referencial. En este capítulo se exponen las principales herramientas empleadas en la investigación...

Capítulo 2. Materiales y métodos. En este capítulo se describe la empresa, su estructura organizativa, misión, visión y objeto social.

Se describe el procedimiento empleado en la investigación, con todos sus pasos y herramientas.

Capítulo 3. Resultados obtenidos en la investigación. En el capítulo final se muestran los resultados de la aplicación del procedimiento y los análisis realizados que fundamentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Finalmente se exponen las conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos que sustentan la investigación



Capítulo I. Marco teórico referencial

En el presente capítulo se exponen los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo de la investigación, fruto de una revisión bibliográfica de los clásicos de la literatura en los temas relacionados a la Ingeniería Industrial, así como los autores más abordados en los últimos años.

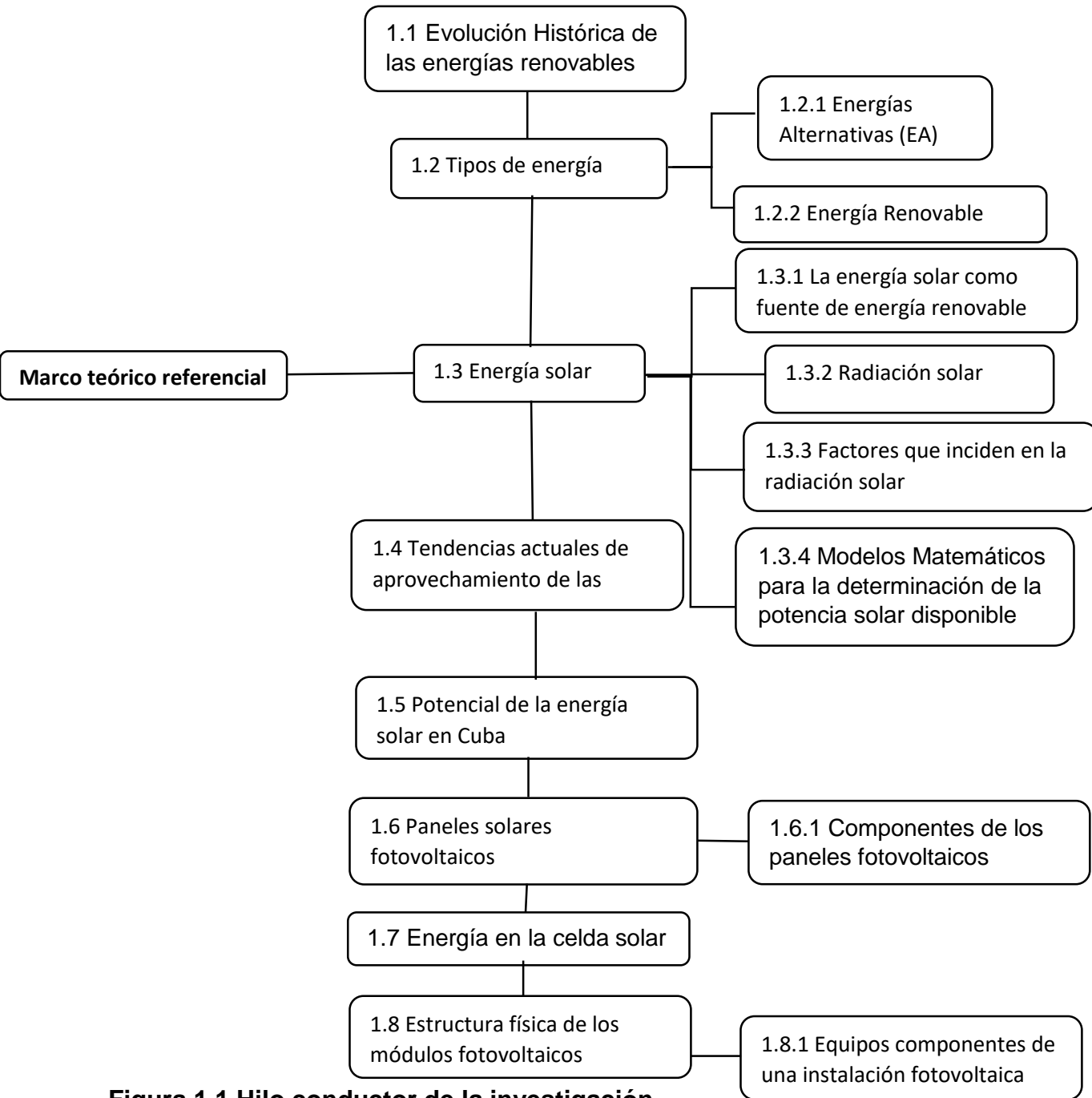


Figura 1.1 Hilo conductor de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.



1.1 Evolución Histórica de las energías renovables

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello. Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse (Ruiz Gallo, Pedro, 2019).

1.2 Tipos de energía

Si bien la fuente de energía puede clasificarse de variadas formas según el criterio usado, la clasificación más amplia de la misma es en no renovables y renovables. Las primeras son aquellas que se consumen a una mayor velocidad de lo que la naturaleza puede reemplazarlas; tal que la cantidad total disponible es cada vez menor y su posibilidad de reposición remota, en esta categoría se ubican las fuentes fósiles. Las segundas, son fuentes que o pueden reponerse al generarse por procesos cíclicos de periodicidad variable (desde horas hasta años) o son inagotables. Se conocen genéricamente como energías alternativas (EA).

1.2.1 Energías Alternativas (EA)

Comprenden todas aquellas energías de origen no fósil y que no han participado significativamente en el mercado mundial de la energía. Se tiende a usar indiscriminadamente los términos renovables, nuevas y no convencionales como sinónimos, no siendo totalmente correcto. Así, el término no convencional no significa necesariamente nuevo, como es el caso de la energía solar, conocida desde hace mucho tiempo. Tampoco se debe confundir el



concepto de energía renovable con el de energía no-convencional, pues entre las fuentes energéticas convencionales se encuentran algunas con característica de renovables, como la hidráulica o la bioenergía. Existen además fuentes no renovables y no convencionales como la energía geotérmica o la fusión nuclear. Las energías no agotables, como la eólica, comúnmente se incluyen entre las renovables. De manera que el término alternativo es, quizás, el más adecuado para englobar todas estas opciones energéticas (GEOENSEÑANZA. Vol.7-2002 (1-2). p.54-73).

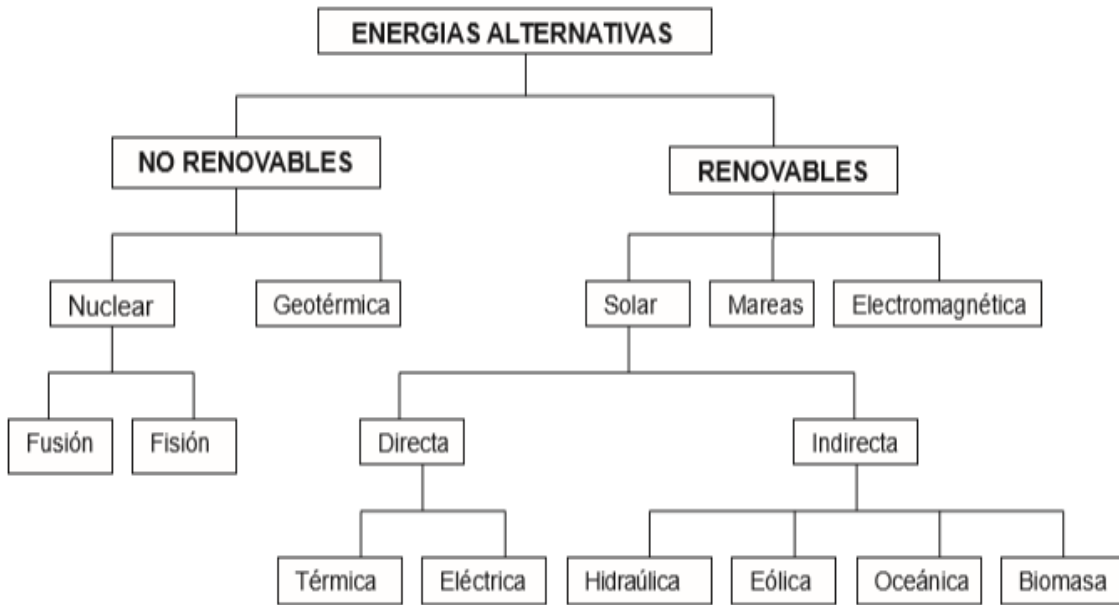


Figura 1.2: Clasificación de los EA.

Fuente: GEOENSEÑANZA. Vol.7-2002 (1-2). p.54-73

1.2.2 Energía Renovable

Este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales inagotables y generan electricidad sin contribuir al calentamiento global y al deterioro generalizado del medio ambiente. Existen diferentes tipos de energía renovable, entre ellas se encuentra la energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía hidráulica o hidroeléctrica, entre otras.

La energía solar es considerada como una energía renovable, ya que esta es toda energía en la que la fuente primaria es producida por la naturaleza sin ningún tratamiento previo realizado por el hombre y la solar fotovoltaica es producida por el sol, resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones



luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre (Ramírez Botero, Mario H., 2021).

Tipos de energía renovables:

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es entendida como un tipo de energía renovable, que se caracteriza por generar energía eléctrica a través de la conversión de la radiación del sol:

(...) este proceso se realiza mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión de luz en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, estos poseen diferentes energías, que corresponden a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula solar, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a través de ella. Sólo los fotones absorbidos generan electricidad, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula (Ramírez Botero, Mario H., 2021).

En teoría, la radiación media incidente por m² fuera de la atmósfera es de 1.4 kW/m². Los métodos de aprovechamiento pueden englobarse en dos grandes grupos: térmicos y fotovoltaicos. Los primeros transforman la energía solar en energía térmica (calentando aire, agua u otras sustancias). Los segundos transforman la energía solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotovoltaico, en las denominadas «células solares» o «fotovoltaicas» La energía total que llega a la Tierra procedente del Sol es de 1.559.280 TWh en un año, de los cuales alrededor de un 1% podrían ser utilizables. La potencia solar aprovechable en la Tierra supera los 1.000 TW. Aun cuando la energía solar se distribuye por todo el planeta, es superior en las zonas ecuatoriales y tropicales (35° alrededor del ecuador) e inferior en las zonas polares. Además, depende mucho de las condiciones climatológicas (nubes). El suroeste de Estados Unidos, el Sahara y Arabia Saudita, Atacama en Chile y el centro de Australia son las zonas de mayor potencial. (energía renovable, generación eléctrica). Por las características de esta energía, la producción y el consumo son idénticos, tanto en el tiempo como en el espacio (no se transporta de una zona a otra). En todo el mundo hay instalados más de 300 MWe (en centrales solares fotovoltaicas), destacando 110 MWe en Japón, 60.5 MWe en Estados Unidos y 38.6 MWe en la Unión Europea (Reyes Bello, Danny, 2020).

La energía fotovoltaica, o sea la transformación directa de la luz solar en energía eléctrica, es una de las formas amigables con el ambiente de generar energía eléctrica. La transformación de la luz solar en corriente eléctrica tiene lugar en la unidad transformadora más pequeña: la



celda solar. El modo de operación de la celda solar se basa en el “efecto fotovoltaico”, donde en el interior de la celda solar, por influencia de la luz solar sobre los portadores de carga, éstos se separan poniendo a disposición un flujo de corriente eléctrica. La unidad instalada más pequeña capaz de transformar la energía de la luz en energía eléctrica, se compone en general de muchas celdas solares y se denomina modulo fotovoltaico (módulo FV). Dependiendo del material de las celdas solares se distinguen entre los módulos en monocristalinos, multicristalinos y amorfos. Esta denominación hace también una distinción en la capacidad de potencia y en el proceso productivo de los paneles FV: los primeros son los de mayor capacidad en potencia y también los más fabricados por los productores. Un aumento de la potencia a los requerimientos necesarios se logra conectando módulos FV. Dentro de un sistema FV, al total de módulos conectados se le denomina generador FV (Reyes Bello, Danny,2020).

1.3 Energía solar. La energía solar como fuente de energía renovable.

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la electromagnética procedente del Sol.

Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solar térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural (Reyes Bello, Danny,2020).

El desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costos de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costos para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas (Reyes Bello, Danny,2020).



Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su costo medio de generación eléctrica ya es competitivo con las energías no renovables en un creciente número de regiones geográficas (Reyes Bello, Danny,2020).

El impresionante crecimiento del sector de la energía solar demuestra su potencial de llegar a ser un contribuyente global de energía. Para 2030, estima que se habrán instalado más de 1800 GW de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo, lo que representa más de 2600 TWh de electricidad producida al año, un 14% de la demanda eléctrica mundial. Esta energía es suficiente para suministrar a 1.300 millones de personas en zonas desarrolladas o a más de 3 mil millones de personas en zonas rurales remotas que actualmente no tienen acceso a la electricidad de red (Reyes Bello, Danny,2020).

La electricidad solar podría ayudar a reducir hasta 1.600 millones de toneladas de emisiones de CO₂ para 2030, equivalente a las emisiones de 450 centrales térmicas de carbón (Reyes Bello, Danny,2020).

La electricidad solar contribuirá a crear empleos verdes. Actualmente, casi 120.000 personas están empleadas en este sector; la mayoría de los puestos de trabajo, que incluyen la instalación, mantenimiento y venta de sistemas fotovoltaicos, se crean localmente e impulsan las economías locales. En 2020, se espera que unos dos millones de personas estén trabajando en el sector y para 2030, se podría llegar a casi diez millones de personas en todo el mundo (Reyes Bello, Danny,2020).

Anualmente el astro rey derrama sobre el planeta cuatro mil veces más energías de la que hoy se consume. El sol es la fuente de vida del planeta y el origen de las fuentes de energías que la humanidad ha empleado en las distintas etapas de su historia, (Sánchez Acevedo, Leonardo, 2019)

La utilización de la energía solar, el viento, las corrientes de los ríos, entre otras, más que una alternativa, son la única solución posible a las exigencias energéticas del país y del mundo de cara al desarrollo sostenible. Cada metro cuadrado del territorio recibe diariamente, como promedio anual, 5 kWh de energía solar, equivalente a la energía química acumulada en un litro de petróleo. Con el aprovechamiento tanto directo como indirecto de la energía solar se



pueden satisfacer todas nuestras necesidades energéticas, (Sánchez Acevedo, Leonardo, 2019).

A escala universal, en la última década la inversión en energía solar ha crecido en un 905 por ciento, lo que ha tenido su impacto en el mercado petrolero, reduciendo los precios y los montos de transacción. Ello ha provocado que, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Energía, mientras que la generación de electricidad mediante carbón y petróleo ha caído en más de un 30 y un 75 por ciento, respectivamente, la solar ha aumentado a más de un cuatro mil por ciento (Sánchez Acevedo, Leonardo, 2019).

1.3.1 Radiación solar

El sol es un reactor de fusión nuclear gigantesco, con temperaturas del orden de 107 grados (K) en su centro, que consume 20 millones de millones de toneladas de hidrógeno, cantidad 100 mil millones de veces menor que el contenido total de H₂ que posee. La potencia de radiación que emite es gigantesco e inimaginable 3,8.10¹¹ millones de GW, de los cuales, en forma ininterrumpida, llega a la parte exterior de la atmósfera terrestre alrededor de: 1.366 kW/m² (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

A la superficie de la tierra llega mucho menos ya que por un lado solo se ilumina la mitad del planeta y por el otro, al penetrar en la atmósfera parte de la radiación solar se: refleja de nuevo al espacio.

La radiación directa (en color azul) que llega en forma perpendicular a la superficie cambia de acuerdo con la latitud, que influye en la instalación del ángulo (tilt) de inclinación de los módulos solares FV (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

Pero debido a la dispersión de la radiación electromagnética solar a cualquier punto de la superficie llega además de la radiación solar directa la difusa, en algo de mayor proporción en la longitud de onda del azul del espectro, lo que le da el color que percibimos del cielo (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

La radiación difusa es mucho menor en zonas desérticas (sin nubes) aproximadamente de un 15 % de la radiación total, en zonas con mayores nubosidades puede llegar a un 40 %, como es el caso de Cuba (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

De todo lo anterior se desprende que la radiación solar promedio sobre la superficie de la Tierra cambia en función del lugar (que analizaremos en próximas Señales FV), para Cuba. Por tener

una configuración este oeste con menos cambio de latitud la fluctuación de radiación solar total (directa más difusa) es relativamente pequeña por lo que todo el territorio fluctúa alrededor de un promedio de 1825kWh / m²/año (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

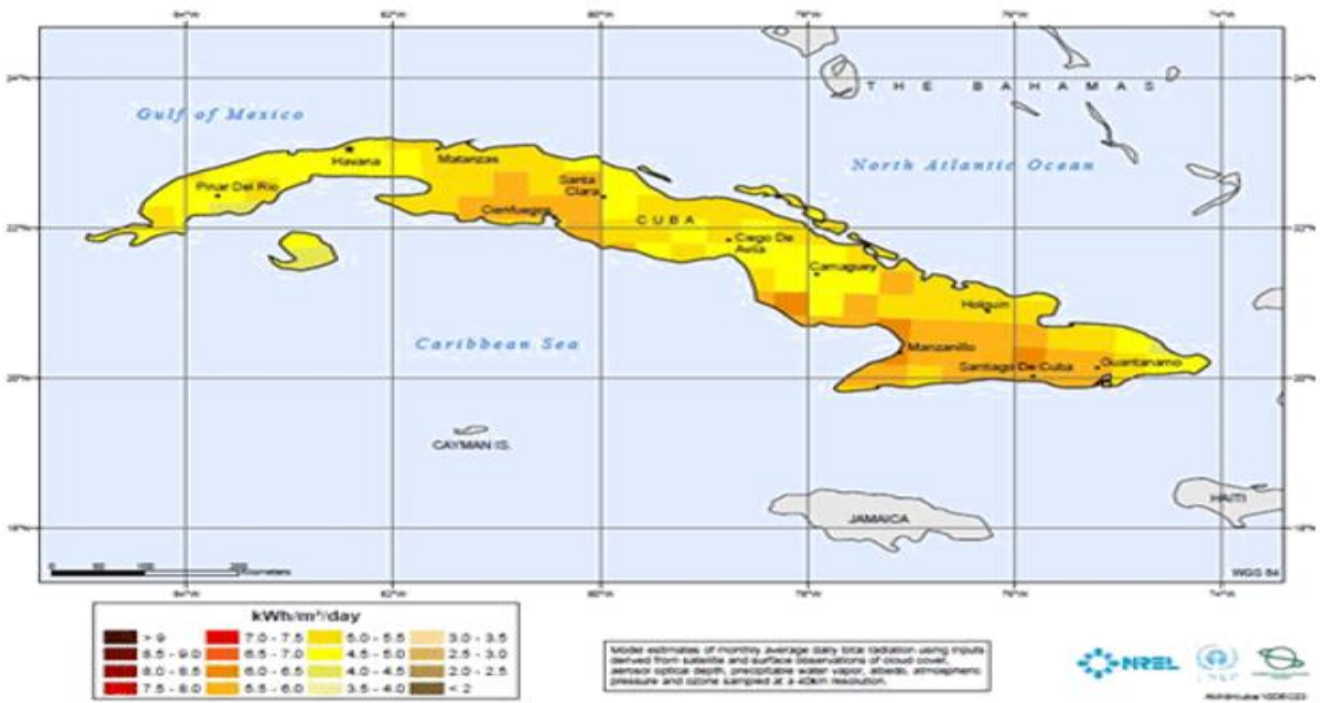


Figura 1.3 Niveles de radiación en Cuba en kWh/m²/día.

Fuente: (Stolik, 2018)

El valor de la radiación solar varía considerablemente en función del horario, haciéndose cero durante la noche y alcanzando su valor máximo durante el día. En Cuba se alcanzan potencias máximas aproximada de 800 kW/m² al mediodía para una radiación promedio de energía de 1825kWh / m²/año.

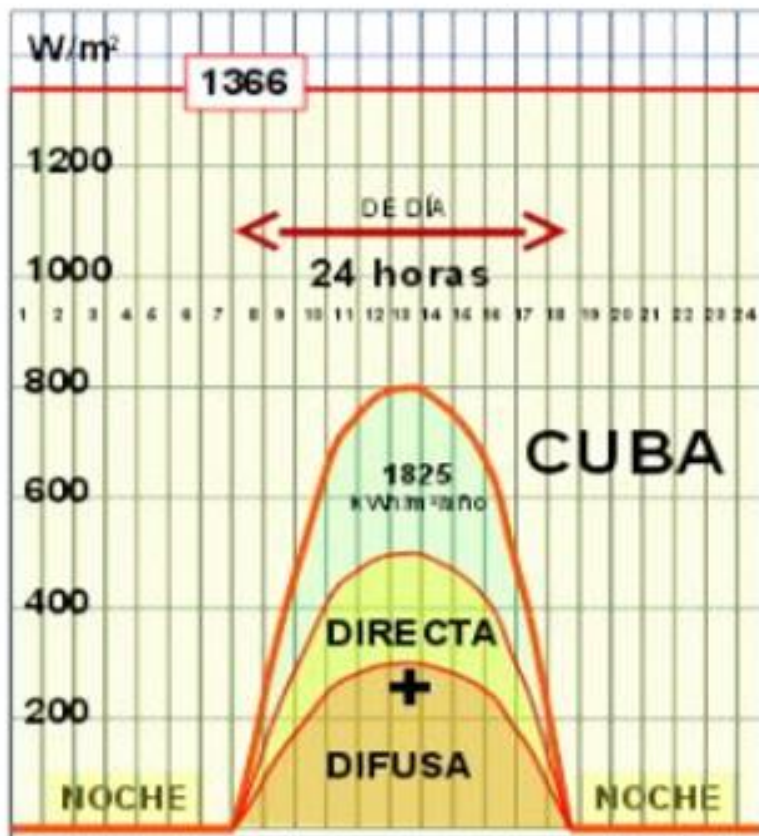


Figura 1.4: Radiación solar en función del horario.

Fuente: (Stolik, 2018).

1.3.2 Factores que inciden en la radiación solar

De acuerdo con González, Ulloa e Iglesias (2013) Los valores de radiación solar que caracterizan una región determinada son el resultado de la interacción de un conjunto de factores que pueden clasificarse en dos grupos:

- a) meteorológicos.
- b) astronómicos y geométricos.

Una vez que la radiación solar se adentra en la atmósfera, todos sus componentes atenúan esta radiación en mayor o menor medida. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre está menguada por diversos procesos que se producen a lo largo de su recorrido a través de la atmósfera terrestre, como son los siguientes (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).



1. Absorción selectiva por los gases y el vapor de agua de la atmósfera.
2. Dispersión molecular (de Rayleigh).
3. Dispersión y absorción por aerosoles o turbidez.

La absorción de la radiación solar por los gases presentes en la atmósfera ocurre cuando la energía proveniente del Sol se transforma en movimiento molecular interno, que produce un aumento en la temperatura de estos gases; en este sentido, los gases que más absorben la radiación solar son importantes en el calentamiento de la atmósfera (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

La dispersión es un proceso físicamente distinto de la absorción, puesto que no se transforma la energía, sino que se cambia la dirección de una parte del haz incidente y resulta en una disminución de la intensidad de la radiación en la dirección original (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

La disminución de la radiación en la atmósfera mediante la absorción y la dispersión depende de varios factores: la longitud de onda de la luz, la longitud del recorrido de la radiación en la atmósfera y la densidad de átomos, moléculas o partículas que encuentra en su camino.

La constante solar se define como la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol y a la distancia media entre el Sol y la Tierra (R_0). Como la Tierra se mueve por una elipse de excentricidad muy pequeña, la distancia real entre el Sol y la Tierra (R) varía en un rango de $\pm 1.7\%$ con respecto a la distancia media entre el Sol y la Tierra provocando con ello una variación en la intensidad de la radiación solar fuera de la atmósfera de aproximadamente $\pm 3.3\%$ (Rodríguez Chávez, Héctor, 2018).

1.3.3 Modelos Matemáticos para la determinación de la potencia solar disponible

Para calcular las dimensiones necesarias de un colector solar, si queremos obtener una potencia determinada, necesitamos saber, entre otras cosas, la cantidad de calor que se recibe en el punto de la tierra en el que queremos realizar la instalación. Así, ese calor, Q , se puede obtener a partir de la expresión:

$$Q = K \cdot S \cdot t \tag{1.1}$$



Donde:

Q= cantidad de calor (calorías)

K = constante solar (cal/min · cm²)

S = Superficie sobre la que incide la radiación (cm²)

t = Tiempo durante el cual está recibiendo radiación.

Otra expresión útil para calcular la cantidad de calor, es en función de la masa de material que almacena ese calor:

$$Q = m C_e \Delta t \quad (1.2)$$

Donde:

Q= cantidad de calor (k calorías)

m = masa (kg)

ΔT = variación de temperatura (0C)

C_e = calor específico Kcal/Kg⁰C (en el caso del agua toma el valor 1 Kcal/Kg⁰C)

La eficiencia de un colector solar puede definirse como la relación entre la energía de entrada y salida.

$$\eta = \frac{E_{sal}}{E_{ent}} = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad (1.3)$$

Ventajas de la Energía Solar.

- Es una tecnología madura y aceptada internacionalmente.
- Altamente confiable.
- El sol es una fuente limpia, inagotable y de acceso libre.
- Bajos costos de operación y de mantenimiento
- Representa la mejor opción en fuentes de energía renovable para introducir en el ámbito urbano.
- Aplicable en los más diversos sitios y para diferentes usos
- Fácil de producir a escala masiva y de instalar
- Tecnología que permite generar empleos y un desarrollo industrial sustentable.



Representa el modo más accesible de proveer de energía a los 2.000 millones de personas sin electricidad en el mundo.

Desventajas de la Energía Solar

- Sus precios continúan siendo elevados, impidiendo su utilización en forma masiva.
- El mercado o la demanda sigue siendo pequeña y por lo tanto, la escala de producción continúa siendo baja.

1.4 Tendencias actuales de aprovechamiento de las Energías Renovables en zonas urbanas (Microgeneración)

En los últimos 20 años, las zonas urbanas han experimentado un crecimiento espectacular. En la actualidad, el número de personas que viven en zonas urbanas asciende a más de 3.500 millones (aproximadamente la mitad de la población mundial). Aunque el grado de urbanización de los países en desarrollo difiere en magnitud y velocidad, sus retos son estabilizar el aumento progresivo de la demanda de un biogás rico en metano apto para la producción de energía, podría proporcionar unos suministros energéticos seguros, construir puentes de acceso, equidad y empoderamiento, minimizar la degradación del medio ambiente, mejorar la salud humana y los medios de subsistencia y elaborar nuevas orientaciones para el desarrollo (Droege 2008).

La población mundial se ha duplicado desde 1960, y se espera que sobrepase los 9.000 millones de personas en 2050. Según las previsiones, el 99% de este crecimiento demográfico, así como el 50% del crecimiento urbano, se dará en países en desarrollo Chu (2012); Curry (2012). De acuerdo con los datos facilitados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente(PNUMA), la región de América Latina y el Caribe presenta un alto grado de urbanización: en 2007, el 78% de su población vivía en ciudades. Así mismo, se espera que dicha cifra se haya incrementado hasta el 89% en 2050. Pese a que Asia y África son continentes menos urbanizados, en los que aproximadamente el 40% de la población actual vive en ciudades, también están experimentando altas tasas de crecimiento, y se espera que su población urbana aumente hasta el 62% en 2050 ONU-Habitat; (2009). Según las previsiones elaboradas por las Naciones Unidas, en 2050, el número de personas que vivirán en las ciudades ascenderá a 6.000 millones (Phillips 2015).



La implantación de las energías en entornos urbanos a veces se ve dificultadas por las diferencias existentes entre oferta y demanda y su integración dentro del sistema energético. Las redes eléctricas inteligentes proporcionan las interconexiones necesarias para gestionar el suministro de energía de forma efectiva. La aplicación de dichas medidas en el entorno urbano aporta diversas ventajas, entre ellas, un aumento de la seguridad y la fiabilidad energética, una reducción de los costos de distribución mediante la adecuación del suministro de energía local a la demanda, el aprovechamiento de la infraestructura existente y minimización de la superficie de terreno requerida (Rodríguez Chávez 2018).

1.5 Potencial de la energía solar en Cuba

Las estimaciones más recientes de los potenciales de las energías renovables en Cuba muestran que el recurso energético con el mayor potencial lo tiene la energía solar fotovoltaica, la energía oceánica de las corrientes, y el viento. En total las fuentes renovables tienen un potencial de algo más de 8000 MW.

El país no cuenta con una legislación directamente relacionada con la promoción de las fuentes renovables de energía, pero en varias leyes, decretos, y resoluciones ministeriales hay aspectos que de una forma u otra permiten el uso de las fuentes nacionales y el aprovechamiento de sus capacidades. Entre ellas se encuentra la constitución de la República, la ley de inversión extranjera, la de medio ambiente, ley forestal, aguas terrestres, áreas protegidas, etc.

El sector energético cubano está actualmente integrado por varios ministerios que trabajan coordinados, con responsabilidad en la ejecución de los aspectos contenidos en el programa llamado “Revolución Energética”.

Por otra parte, existe el marco legal e institucional para la implementación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en el país, existiendo actualmente 4 proyectos MDL, 2 en fase de expedición de Certificados de Emisiones Reducidas, uno en fase de validación y otro en fase de revisión

El Parque Eólico Gibara 1 en la provincia de Holguín, perteneciente a la zona oriental de Cuba, es el segundo desarrollo en el país de una granja eólica interconectada a una red eléctrica de transmisión. Este aprovecha un recurso local abundante y los beneficios económicos generados por la implementación del parque eólico aporta cerca de 25% de la demanda anual



del Municipio Gibara y casi la totalidad de la demanda de la ciudad de Gibara, su cabecera (Hugo altamonte 2003).

El otro caso seleccionado es la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) “Nuevo Mundo” en el Municipio Moa perteneciente a la provincia de Holguín y que aprovecha el embalse que se encontraba ya construido, lo que representó la disminución en un porcentaje importante en el costo de la inversión. La PCH, aprovecha un recurso local abundante y en el cual los beneficios económicos generados son por un lado el ahorro en la factura eléctrica del Municipio, y por otro, el aporte de los excedentes de electricidad al Sistema Eléctrico Nacional.

En el año 2019 se crearon en Cuba nuevos parques fotovoltaicos enlazándolos con la red eléctrica nacional. El municipio matancero de Cárdenas fue uno de los beneficiados. Con un total de once mil 700 paneles, “Cárdenas I” constituye una de las cuatro plantas solares instaladas y sincronizadas al sistema electro energético nacional con el crédito del Fondo de Abu Dhabi para el Desarrollo, en alianza con la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, por sus siglas en inglés).

Este parque de energía renovable, unido al de Mayajigua y Venegas, en Sancti Spiritus, de 2.5 y 1.25 MWp de potencia, respectivamente, y al parque fotovoltaico de Planta Mecánica, en Camagüey, con 2.5 MWp instalados, suman una potencia total de 10 MWp.

Con estos primeros 10MWp se producen 15mil MW hora al año, equivalente al consumo eléctrico anual de 6mil 944 viviendas cubanas. Se reportará un ahorro anual de 4 mil 700 toneladas de petróleo y se dejarán de emitir a la atmósfera 12 mil 700 toneladas de dióxido de carbono en ese mismo período (Minrex 2019).

Otras investigaciones que se han realizado en la provincia son la del uso de la energía solar térmica en el circuito primario de agua caliente del Hotel Arenas Blancas por Sánchez Acevedo (2019) en el cual se realiza una propuesta en el sistema de agua caliente sanitaria en una instalación hotelera consistente en el cambio del sistema de tubería de acero negro por tuberías polipropileno de alta densidad en el circuito primario del sistema. Se dimensiona un campo de colectores solares de tubos al vacío para que funcione en sustitución del sistema de recuperación de calor de la enfriadora de agua.

También se ha realizado un trabajo investigativo de propuesta para el uso de energía solar fotovoltaica en el alumbrado del estadio de béisbol Victoria de Girón por Ramos Mena (2020) en el cual se trabajó en el software HOMER. Para el dimensionamiento del campo solar se



parte de la cantidad de luminarias que serán instaladas, su potencia y consumo de cada una de ellas. Esto trae consigo una disminución del consumo eléctrico en la provincia y de emisiones de gases de efecto invernadero al dejar de quemar combustibles fósiles en las unidades de generación primaria.

Rodríguez Chávez (2018) realizó un estudio para el aprovechamiento de energías renovables en el Hotel Sol Palmeras, en este trabajo se realiza un estudio para determinar el potencial energético disponible en el hotel Sol Palmeras a partir de fuentes renovables de energía. Para lograr dicho objetivo se establecen 35 puntos para el estudio eólico, donde se realizan mediciones de velocidad y dirección del viento, así como 21 secciones para el estudio de disponibilidad de energía solar, donde se prevé la instalación de paneles fotovoltaicos.

Por Milián León (2018) se realizó un trabajo de diploma en el cual investigó sobre el uso de la energía solar en sistemas de aire acondicionado central por absorción, se realiza la propuesta del uso de frío solar en el sistema centralizado de aire acondicionado del edificio administrativo y áreas sociales del hotel Arenas Doradas en Varadero, mediante el empleo de un sistema de absorción bromuro de litio-agua como sustancia par de trabajo, que usa la energía solar térmica como fuente de alimentación para generar agua caliente a 90 grados centígrados mediante la instalación de colectores solares de tubos al vacío, introduciendo así la energía renovable en el sistema más consumidor en este tipo de instalación, esto contribuirá a la disminución del calentamiento global, el daño al medioambiente y la reducción de los gastos del hotel por concepto de energía eléctrica.

Autores cubanos expresan que en Cuba se recibe un promedio diario de 5 kWh/m² y que el ángulo óptimo para la orientación de los equipos colectores solares es 30°

Otras publicaciones resaltan que los captadores solares deben estar orientados hacia el Sur con un ángulo que se calcula sumando 10 al valor de la latitud del lugar (en el caso de Cuba la latitud es de 20° Norte) donde se realicen las instalaciones, lo que se puede tomar como referencia para cualquier parte del mundo (Cubasolar, 2010).

1.6 Medio Ambiente

El medio ambiente es un sistema complejo y dinámico de interrelaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales, que evolucionan a través del proceso histórico de la sociedad, abarca la naturaleza, la sociedad y el patrimonio histórico-cultural. Esta interpretación de su



contenido explica su estudio, tratamiento y manejo, debe caracterizarse por la integridad y el vínculo con los procesos de desarrollo.

Uso racional de los recursos naturales:

El estado actual de la población humana en crecimiento explosivo y con necesidades en constante incremento, demanda con urgencia la conservación de los ecosistemas naturales lo que implica un uso sostenible de los mismos. Para ello es menester que este uso se corresponda con las verdaderas necesidades humanas de las presentes generaciones, como condición para salvaguardar la satisfacción de las futuras. Para materializar este uso sostenible se requiere cambiar los patrones de consumo de los países desarrollados.

1.7 Paneles solares fotovoltaicos. Componentes de los paneles fotovoltaicos

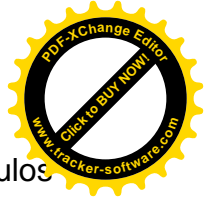
Un panel fotovoltaico consiste en una asociación de células, encapsulada en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico. Este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte (Reyes Bello 2020).

La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células FV no puedan capturar la radiación solar. Los paneles FV proporcionan voltajes de salida de 12 V, 20 V, 24 V, y 30 V, dependiendo del número de células FV. Se necesita conectar 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V. La mayoría de paneles FV comerciales contienen alrededor de 36 células fotovoltaicas (Gasquet 2004).

La confección de los paneles fotovoltaicos está compuesta por:

- Módulos fotovoltaicos
- Batería de acumulación
- Regulador de carga
- Inversor
- Carga

Actualmente la mayoría de las células solares utilizadas en instalaciones fotovoltaicas para generación de energía eléctrica se basan en la tecnología del silicio (monocristalino, policristalino, y amorfo). Las células solares se unen eléctricamente unas con otras y tras un



encapsulado sobre el conjunto de células unidas, se obtienen los conocidos paneles o módulos fotovoltaicos. El rendimiento de un módulo fotovoltaico depende de algunas variables externas como la radiación solar, la temperatura de funcionamiento, la orientación del panel frente al sol, suciedad, el envejecimiento, etc. Características eléctricas, la potencia máxima de salida de un panel fotovoltaico es una de las características más importantes, estos comercialmente se ofertan con potencias que varían entre 50Wp y los 250Wp, dependiendo del tipo y tamaño de las células que lo componen.

El generador fotovoltaico es el encargado de transformar la energía del sol en energía eléctrica. Este se halla conformado por uno o un conjunto de módulos solares fotovoltaicos que se interconectan convenientemente en serie y/o paralelo con el objetivo de incrementar la corriente o el voltaje, ya que en muchas aplicaciones los módulos solares independientes no pueden suministrar la energía necesaria para un consumo determinado.

La energía producida por el generador FV se acumula en caso de ser necesario (sistemas autónomos) en un sistema de batería la cual transforma la energía eléctrica en energía química, y luego realiza el proceso inverso para que esta energía pueda ser usada por los equipos consumidores. La causa fundamental del uso de la batería de acumulación está determinada por el desfasaje que existe entre la generación diurna y el consumo que generalmente se realiza en horas nocturnas.

Por esto para controlar los procesos de carga y sobrecarga se utiliza un regulador de carga el cual es un equipo electrónico o electromecánico que tiene como función evitar las sobrecargas o descargas excesivas en las baterías de acumulación, impidiendo entregar corriente desde el modulo fotovoltaico a la misma cuando ya está cargada con el objetivo de prolongar su vida útil, puesto que los daños podrían ser irreversibles. Además, debe asegurarse que el sistema siempre trabaje en el punto de máxima potencia, o lo más cerca posible (Garcell 2014).

El inversor o convertidor (CD/CA) es un dispositivo que convierte la corriente eléctrica directa en corriente alterna almacenada en las baterías para dar servicio a determinados consumos q pueden ser en CA con el máximo rendimiento posible. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos domésticos no constan de un inversor, porque los pequeños aparatos a los cuales suministran electricidad se pueden conseguir funcionando con CC. Además, el inversor es un componente que induce pérdidas de eficiencia, los más eficientes ofrecen un rendimiento de 90%; por tanto, en general no se puede considerar utilizar un inversor en sistemas con paneles de potencia



pico 50 o 60 Wp. Sin embargo, para sistemas de potencia más elevada, alrededor de 100 Wp, es factible, pero no siempre recomendable, incluir un pequeño inversor; este permitirá facilitar la compra de cargas, porque a veces resulta difícil encontrar aparatos que funcionan en CC (radio, TV). Para potencias más grandes (2000 Wp) se vuelve ventajoso añadir un inversor (Reyes Bello 2020).

Los consumos o cargas que el sistema FV ha de satisfacer (luminarias, radio, TV, motores, etc.) pueden ser DC o AC y estos se considera como una parte substancial del sistema FV ya que determinan el tamaño del sistema.

1.7.1 Energía en la celda solar

Al ser expuesta a la luz, una celda solar produce electricidad. Dependiendo de la intensidad de la luz (la radiación en W/m^2), una celda solar produce mayor o menor cantidad de electricidad. Para determinar y comparar la potencia nominal de los paneles solares, se mide su salida bajo condiciones estándar de prueba (STC). Estas son:

- Una radiación de $1000 W/m^2$.
- Un espectro solar de referencia.
- Una temperatura de celda de $25^{\circ}C$ (la eficiencia de un panel solar disminuye significativamente cuando la temperatura de la celda aumenta).

1.8 Estructura física de los módulos fotovoltaicos

Para una adecuada selección de los módulos estos deben poseer rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por esto, las celdas conectadas en serie, son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol, y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior. En algunos casos el vidrio es reemplazado por una lámina de material plástico transparente. El módulo tiene un marco que se compone de aluminio o de poliuretano, y cajas de conexiones a las cuales llegan los terminales positivo y negativo de la serie de celdas. En las borneras de las cajas se conectan los cables que vinculan el módulo al sistema

1.8.1 Equipos componentes de una instalación fotovoltaica

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:



1. Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
2. Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
3. Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
4. Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada (Society 2008).

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

1. El módulo o panel fotovoltaico
2. La batería
3. El regulador de carga
4. El inversor
5. Las cargas de aplicación (el consumo) (Biomass Users Network (BUN-CA) 2012).

Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).

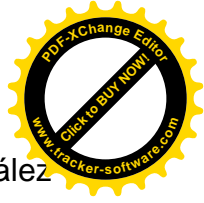
Baterías: almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla, por ejemplo, en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos o bien de noche.

Reguladores de carga: controlan el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas y alargando así la vida útil de las baterías.

Inversores: transforman la corriente continua (CC) en alterna (CA), que es la que se utiliza de forma habitual en nuestros hogares. Si los consumos fuesen en CC, se podría prescindir del inversor. En algunos países en vías de desarrollo las instalaciones en CC tienen una gran importancia, llegando a miles de sistemas instalados (Schallenberg Rodríguez 2010).

Tipos de módulos fotovoltaicos: Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. (González Rodríguez, José Miguel, 2019). Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos. (Biomass Users Network (BUN-CA), 2012). Utiliza lingotes puros de silicio (los mismos que utiliza la industria de chips



electrónicos). Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12% (González Rodríguez, José Miguel, 2019).

Módulos de silicio policristalino: Se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino, son ligeramente más baratos que estos módulos. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso.

Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además, son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared. (Biomass Users Network (BUNCA), 2012) Se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio, su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc. (González Rodríguez, José Miguel, 2019).



Capítulo II. Materiales y métodos

En el presente capítulo se muestran una caracterización de la empresa UEB Suchel Jovel, la cual representa el objeto de estudio de la investigación, así como las técnicas que se utilizan con el fin de darle solución al problema científico planteado.

2.1 Caracterización de la empresa

La Empresa “Suchel Jovel” fue creada el 1ero de enero de 1977 con el nombre de Empresa de Jabones “Luis Ávila Rosales” con domicilio en la avenida 12 entre 7 y 9b, 19 años después el 1 de septiembre de 1996 cambia su nombre por segunda vez a Empresa Jovel “Luis Ávila Rosales” y ya en su dirección actual, por Resolución No. 70 del 11 de febrero de 2009 cambia su nombre por tercera vez por “Suchel Jovel”, con el objetivo primordial de producir, distribuir y comercializar artículos de aseo personal, higiene doméstica y usos industriales, además de artículos de plásticos en moneda nacional y divisas para la red nacional.

Por Resolución No. 356 de 16 de mayo de 2014 del Ministerio de Economía y Planificación y por Resolución No. 170 de 15 de agosto de 2014 del Presidente del Grupo Empresarial de la Industria Ligera se autorizó, en correspondencia con el proceso de reordenamiento institucional que se desarrolla en la industria, la fusión de las Empresas Suchel Debón, Suchel Cetro, Suchel Regalo, Suchel Fragancia y Suchel Jovel en la Empresa Suchel Import Export, integradas todas a la Unión Suchel y la extinción de dicha Unión. Asimismo, autorizó el traspaso de la Empresa resultante, para la integración al Grupo Empresarial de la Industria Ligera y cambió su denominación de Empresa Suchel Import Export por EMPRESA SUCHEL a todos los efectos legales.

Por cambios en la estructura organizativa de la empresa Suchel se crea y cambiando de nombre por cuarta vez por “UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE SUCHEL JOVEL”, con sede en la Carretera Central Km 156, Jovellanos, Matanzas.

UEB SUCHEL JOVEL

MISIÓN

Satisfacer las necesidades, deseos y expectativas del Mercado Cubano con la presencia estable de marcas notables de productos de higiene y belleza mediante la mejora continua del Sistema de Gestión Empresarial.



VISIÓN



Ser y ser reconocidos como proveedor Líder en el Mercado Cubano de marcas de productos de higiene y belleza de alto desempeño internacional que generen lealtad en los consumidores.

Objetivo social empresa Suchel

1. Producir y comercializar jabones, pasta dental, detergentes, perfumería y cosméticos, así como productos para la higiene personal y de uso industrial.
2. Comercializar productos importados.

Actividad secundaria al objeto social:

3. Importar y exportar estos servicios a terceros, al amparo de las correspondientes nomenclaturas autorizadas por el Ministerio de Comercio Exterior y la Inversión Extranjera.

Instalaciones Productivas

- Planta de Detergente Líquido.
- Planta de Jabón

Instalaciones de Servicios

- Edificio Socio-Administrativo
- Cocina-Comedor
- Almacén de Materias Primas
- Almacén de Productos Terminados
- Taller de Mantenimiento
- Planta de tratamiento de Residuales Líquidos

Principales Producciones

- Jabón Tocador Lis 115g
- Detergente Líquido LIMTEL 1000 ml.

El 97 % de la producción se comercializa a través del MINCIN con destino población. El 3% restante tiene como destino organismos priorizados (MINED y MININT)

Está en proceso la implementación de la certificación del SGC por la NC ISO 9001:2015 y está según el programa la certificación para septiembre del 2018.



Se certificó en el mes de junio como " UEB con Cultura Industrial al Detalle"

Certificados por la EPI, Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería de Matanzas que se cumplen según NC 27:2012 que nuestras aguas residuales no contienen desechos contaminantes.

Las producciones no contaminan el medio ambiente, en la UEB existe un Plan de Manejo de desechos aprobado por el CITMA y una licencia Ambiental para el mismo fin, también se cuenta con el Reconocimiento emitido por el CITMA por nuestro desempeño y responsabilidad ante el medio ambiente.

Tabla 2.1: Capital humano.

Plantilla Aprobada	317
Plantilla Cubierta	294
Categoría Ocupacional	
Obreros	213
Servicios	25
Técnicos	55
Cuadros	1
Distribución por Sexo	
Masculino	198
Femenino	96

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Fuentes de energía actuales. Caracterización por fuentes de suministro

Electricidad

Se utilizan 4 fuentes de energía principales para garantizar la producción de Jabón, detergente líquido y frascos PET ya que, en la producción de colonias, aguas tensoactivas, aromatizantes, etc., todo se hace de manera manual (Llenado, tapado, etiquetado, etc.). En el anexo 1 se muestra cada una de las fuentes empleadas y los procesos y áreas donde se consumen.

Se alimenta del SEN por simple alimentación, por alta 34,5 kV y por baja 480 volt la cual suministra energía al Banco de Transformador compuesto por 2 transformadores trifásicos de 630 kVA, en estos momentos solo está conectado el transformador que corresponde al servicio No.2. La PGD está compuesta por un interruptor general que alimenta a transformadores internos ubicados en diferentes áreas del centro:



- 1 transformador de 440-220-110 v ubicado en el taller de transporte.
- 1 transformador de 440-220-110 v ubicado en el almacén de productos terminados.
- 1 transformador de 440-380 v ubicado en la PGD de detergente líquido.
- 3 transformadores de 440-220 v ubicado en la planta de fabricación plásticos.
- 1 transformador de 440-220 v ubicado en el comedor.
- 1 transformador de 440-380 v ubicado en la PGD principal para alumbrado.
- 1 transformador de 440-220-110 v ubicado en el taller de mantenimiento.
- 1 transformador de 440-380 v ubicado en casa de bomba.
- 3 transformadores de 440-380 v ubicados en la planta de productos personales.
- 1 transformador de 440-220-110 v ubicado en la planta de tratamiento de agua.
- 1 transformador de 440 – 220 v ubicado en la planta de Lux.

2.3 Revisión energética de la empresa

Uso y consumo pasados y presentes de la energía.

electricidad

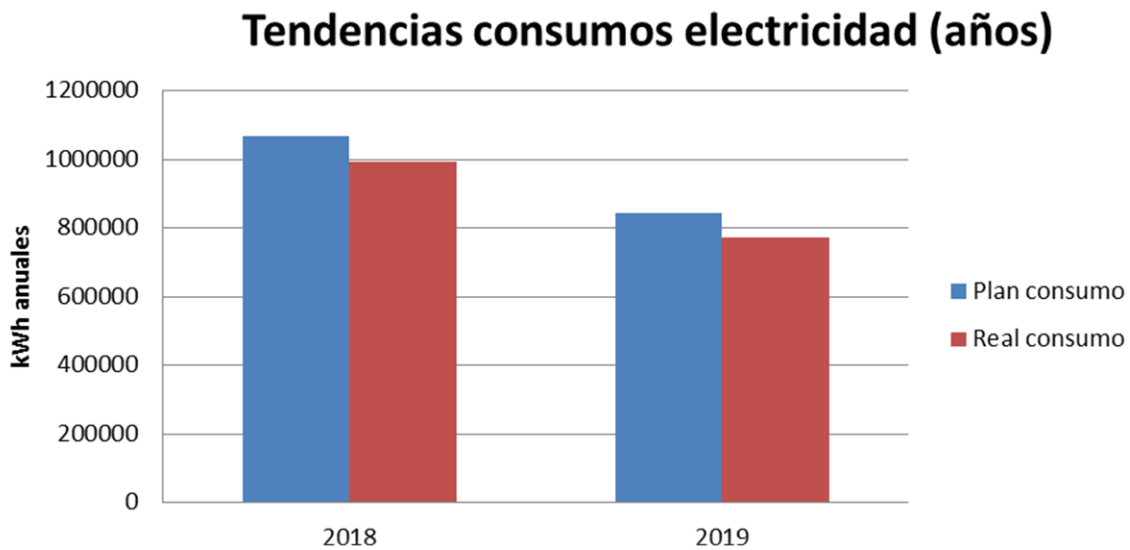


Figura 2.2 Tendencias consumos electricidad (años).

Fuente: (CEDAI 2021).

En los dos años analizados se cumple con el Plan de Consumo de Energía Eléctrica asignado.

Tendencias consumos electricidad (meses)

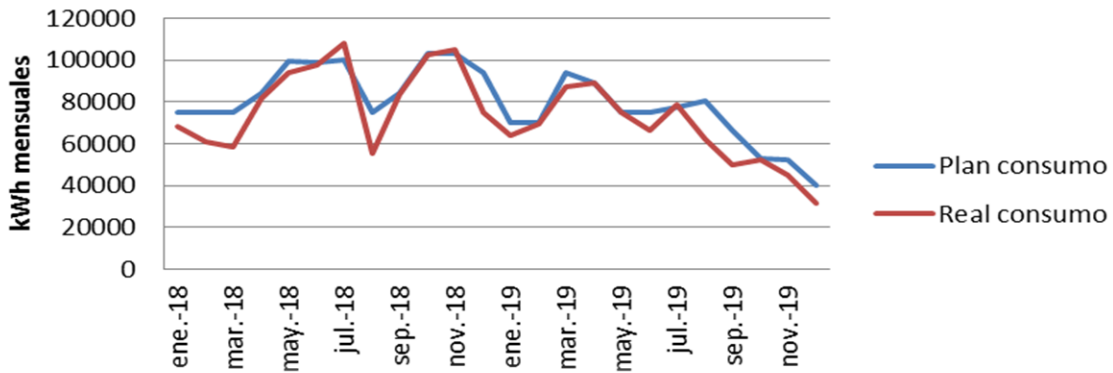


Figura 2.3 Tendencias consumo electrico (meses).

Fuente: (CEDAI 2021).

El plan de consumo de energía eléctrica solo se incumple en julio de 2018 a un 106,5 %.

Energía eléctrica

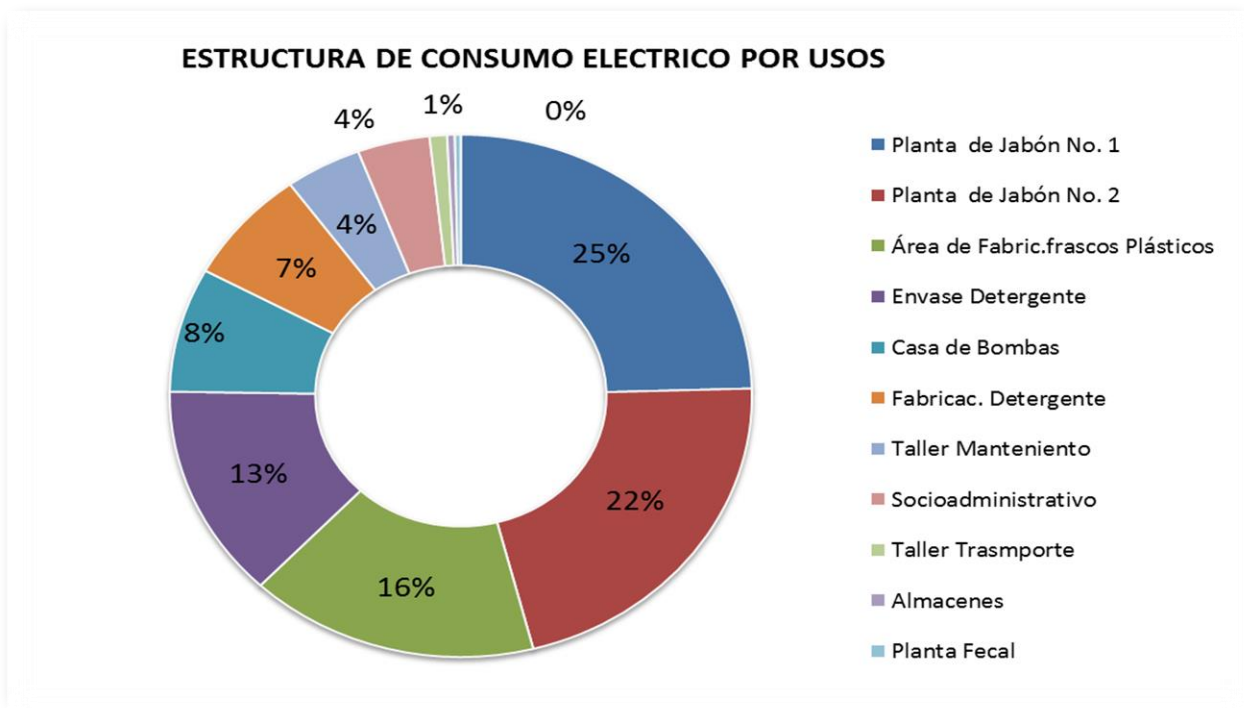


Figura 2.4 Estructura de consumo electrico por usos.

Fuente: (CEDAI 2021).



Se puede observar como el mayor consumo de energía eléctrica corresponde a la planta de jabón tocador No. 1 por la cantidad de equipos altos consumidores de electricidad que intervienen en el proceso de fabricación y envase de este producto.

Implementación de Tecnologías de Gestión Energética

La organización no tiene implementado un Sistema de Gestión de la Energía basado en la NC ISO 50001.

Fuentes Renovables de energía.

No se utilizan Fuentes Renovables de Energía. Existen 5400 m² de áreas techadas aptas para la instalación de Sistemas fotovoltaicos.

Local Área m²

Planta de Productos Personales -----	1296
Planta de Detergente Líquido -----	3456
Edificio Socio administrativo -----	648
Total -----	5400

Tecnologías de Producción.

El equipamiento tecnológico de las líneas de producción se considera obsoleto.

2.4 Orientación e inclinación del generador

El generador fotovoltaico deberá contar con una orientación e inclinación particularmente adaptadas al lugar y a la aplicación. Nuevamente, la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y, hacia el Norte en el hemisferio Sur.

La inclinación depende no sólo de la latitud sino también del perfil del consumo, la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación, el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, entre otros.

Se tienen en cuenta, además, las características de la instalación: si es única o híbrida, autónoma o acoplada a la red y el objetivo de la instalación, lo que define el régimen de uso y de consumo. El efecto de la selección de un ángulo de inclinación óptimo es equivalente a una modificación del ángulo de incidencia de la radiación solar para lograr la máxima captación (Reyes Bello 2020)



A pesar que los sistemas fotovoltaicos presentan un bajo rendimiento, mediante la correcta selección del ángulo de inclinación se puede obtener una mayor eficiencia, debido a que se alcanza una mayor captación del recurso y un mínimo de pérdidas, alcanzando mejores resultados desde el punto de vista energético y económico (Fuentefría 2018).

Así, para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, el objetivo es maximizar la radiación en los meses de menor insolación y por tanto la inclinación debe ser $\beta = |\phi| + 10^\circ$. Para instalaciones con consumo menor en los meses de baja radiación se busca maximizar la radiación en los equinoccios y de ahí que $\beta = |\phi|$ (igual a la latitud). Finalmente, para instalaciones con uso predominante en verano conviene emplear un ángulo inferior a la latitud, $\beta = |\phi| - 10^\circ$. En general, la inclinación debe superar los 15° para conseguir que la lluvia pueda desplazar la suciedad acumulada en los paneles Lamigueiro (2015). La eficiencia de estos sistemas depende directamente de la radiación existente en el lugar donde se encuentra la instalación. Asimismo, la cantidad de radiación será mayor cuando el plano del panel esté completamente perpendicular a la fuente de luz (Santos 2018).

Ángulo de inclinación β .

Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales. (Ver Anexo 2) (Red 2009).

Ángulo de azimut α .

Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste. (Ver Anexo 3) (Red 2009).

2.5 Servicio Actual

La instalación cuenta actualmente con un servicio trifásico a 4 hilos en una configuración estrella-estrella, con dos bancos de 630kVA conectado por el primario a la red de media tensión de 13.8 kV y con una salida por el secundario de 400-230 V que alimenta la PGD Principal, de donde parten ramificaciones hacia toda la industria.

2.6 Descripción del proyecto

Este proyecto se divide en dos partes:

- Sistema Fotovoltaico
- Sistema Eléctrico

2.6.1 Sistema Fotovoltaico

El sistema está constituido por generadores solares con una potencia pico instalada de 610.28 kWp (1606 módulos de 380Wp). Estos módulos solares son fabricados en la fábrica Ernesto Che Guevara de la provincia de Pinar del Río.

Se utilizó 5 inversores de 100kW de potencia de la marca SMA y 4 de 20 kW de la misma marca. A continuación, se muestran figuras con dichos resultados y ubicación del SFV.





Vista general del sistema

- 528 x DSM DSM-380MP (Edificio 1: Superficie 1 (Suroeste)-Norte)
Acimut: 142 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 200,64 kWp
- 528 x DSM DSM-380MP (Edificio 1: Superficie 1 (Suroeste)-Sur)
Acimut: -38 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 200,64 kWp
- 110 x DSM DSM-380MP (Edificio 2: Superficie 2 (Suroeste)-Norte)
Acimut: 143 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 41,80 kWp
- 110 x DSM DSM-380MP (Edificio 2: Superficie 2 (Suroeste)-Sur)
Acimut: -37 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 41,80 kWp
- 165 x DSM DSM-380MP (Edificio 3: Superficie 3 (Suroeste)-Norte)
Acimut: 142 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 62,70 kWp
- 165 x DSM DSM-380MP (Edificio 3: Superficie 3 (Suroeste)-Sur)
Acimut: -38 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Techo, Potencia pico: 62,70 kWp






- | | |
|---|--|
|  2 x SMA STP110-60 (CORE2) |  2 x SMA STP110-60 (CORE2) |
|  2 x SMA STP 20000TL-30 |  2 x SMA STP 20000TL-30 |
|  1 x SMA STP110-60 (CORE2) | |

Figura 2.7: Datos del sistema y distribución.

Fuente: (CEDAI 2022)

Los paneles solares están conectados en serie(string) donde la tensión aumenta y la corriente es la misma. Esta serie de paneles se conectan a una caja de protección de DC. La caja de protección de DC garantiza la vida útil del panel solar, lo protege de fenómenos climáticos y además protege a las personas. A la salida se conectarán los inversores solares, encargados de convertir la energía solar en energía eléctrica. La salida de los inversores también está conectados a una caja de protección, que en este caso es de corriente alterna (AC), la cual está constituida por todos los elementos necesarios para proteger a los inversores y todo el sistema en general, y a las personas de contacto directo con el sistema. La producción de energía anual media estimada es de 950 MWh/año. Esta generación supe el consumo de la empresa.

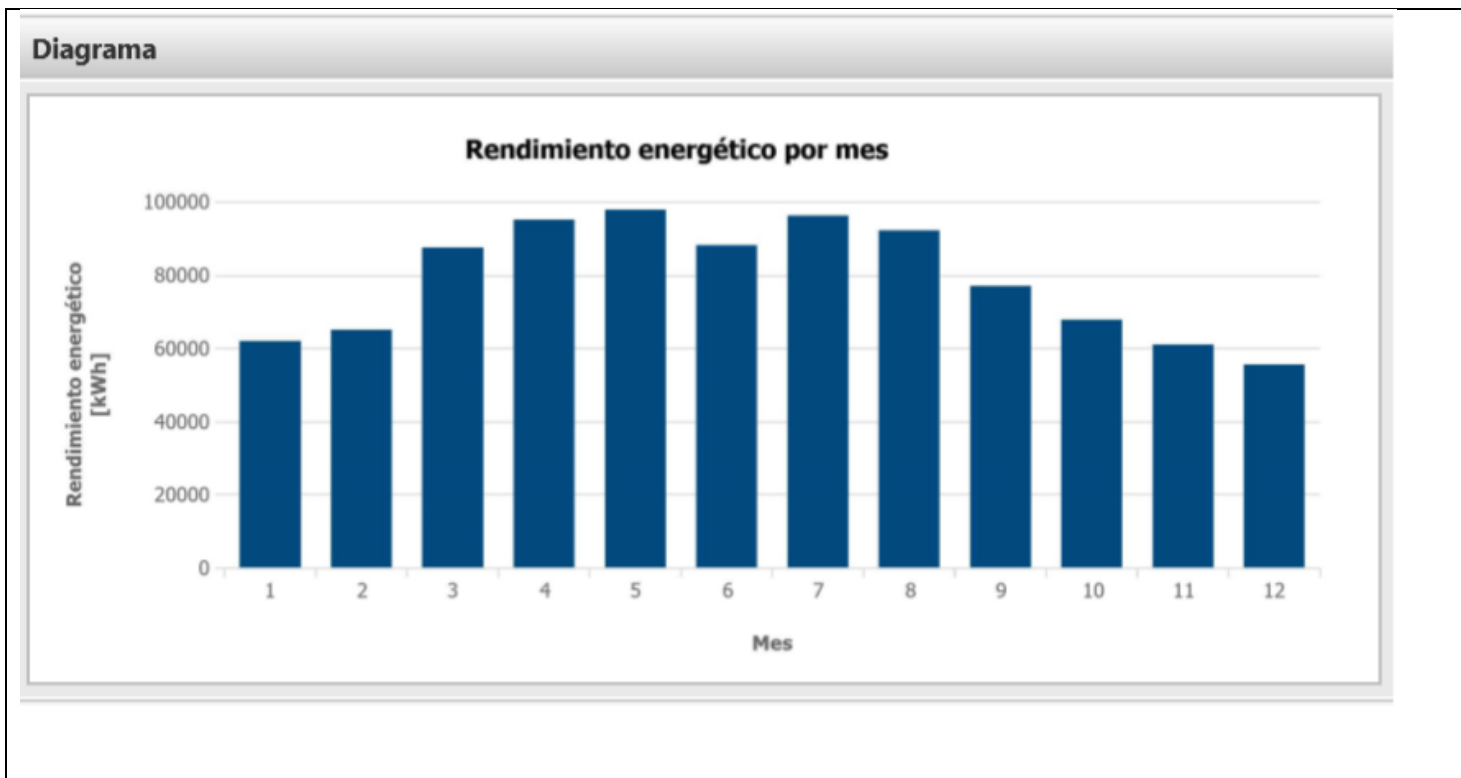


Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	1606	Rendimiento energético específico*:	1542 kWh/kWp
Potencia pico:	610,28 kWp	Pérdidas de línea (% de la energía):	---
Número de inversores fotovoltaicos:	9	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	630,00 kW	Consumo de energía anual:	1.250 MWh
Potencia activa de CA:	630,00 kW	Autoconsumo:	690 MWh
Relación de la potencia activa:	103,2 %	Cuota de autoconsumo:	73,3 %
Rendimiento energético anual*:	940,99 MWh	Cuota autárquica:	55,2 %
Factor de aprovecham. de energía:	99,8 %	Reducción de CO ₂ al cabo de 20 año(s):	6.319 t
Coefficiente de rendimiento*:	84 %		

Figura 2.8: Información general del proyecto.

Fuente: (CEDAI 2022).





Tabla

Mes	Rendimiento energético [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Inyección a la red [kWh]	Toma de red [kWh]
1	61630 (6,5 %)	50792	10838	55372
2	64795 (6,9 %)	51490	13305	44400
3	87121 (9,3 %)	62253	24869	43912
4	94624 (10,1 %)	63729	30895	39011
5	97376 (10,4 %)	66028	31348	40137
6	87765 (9,3 %)	61328	26437	41411
7	95889 (10,2 %)	64386	31503	41779
8	91764 (9,8 %)	62802	28961	43362
9	76652 (8,1 %)	56741	19912	45999
10	67499 (7,2 %)	53028	14471	53136
11	60670 (6,4 %)	50093	10578	52647
12	55210 (5,8 %)	47523	7687	58642

Figura 2.9: Valores mensuales.

Fuente: (CEDAI 2022).

2.6.2 Cableado Fotovoltaico

El cableado del generador solar en CC tendrá una distancia máxima desde el panel al inversor de 50m. Será un cable solar conectorizado mono-conductor de cobre de 1x4mm², 1000Vdc, certificado TUV, marca PRYSMIAN y fabricante TOP CABLE. El cable está tirado por tubo corrugado flexible desde los módulos solares hasta los inversores pasando por las cajas de protecciones en DC.

2.6.3 Protecciones

El sistema solar fotovoltaico está protegido teniendo en cuentas las normas vigentes tanto para la parte de AC como DC. El SFV cuenta con una caja de conexiones en DC donde estarán 2 fusibles de 16 A con tensión de 1000 V con sus porta-fusibles de 32 A y tensión de 1000 V para cada string. Además, se conectará un supresor de tensión de 2P, tipo II de 600 V para las sobretensiones inducidas. En la caja de conexión de CA estará ubicada a la salida de los inversores fotovoltaicos. Las mismas están compuestas por supresor de tensión de 4 polos (3P+N), tipo II, con tensión de empleo (230/400). También cuenta con diferencial para la protección de las personas de 4P asociado a cada breaker termo-magnético por inversor. Tanto los módulos solares como los inversores solares deben estar conectado a la misma

barra de tierra del sistema, para evitar choques eléctricos y descargas eléctricas que afecten los dispositivos.

2.6.4 Estructura

La estructura a usar es del fabricante alemán K2 Systems. Este tipo de sistema se llama D Dome R² 10° Son especialmente rápidos y fáciles de montar, y se pueden adaptar a cualquier condición del terreno.

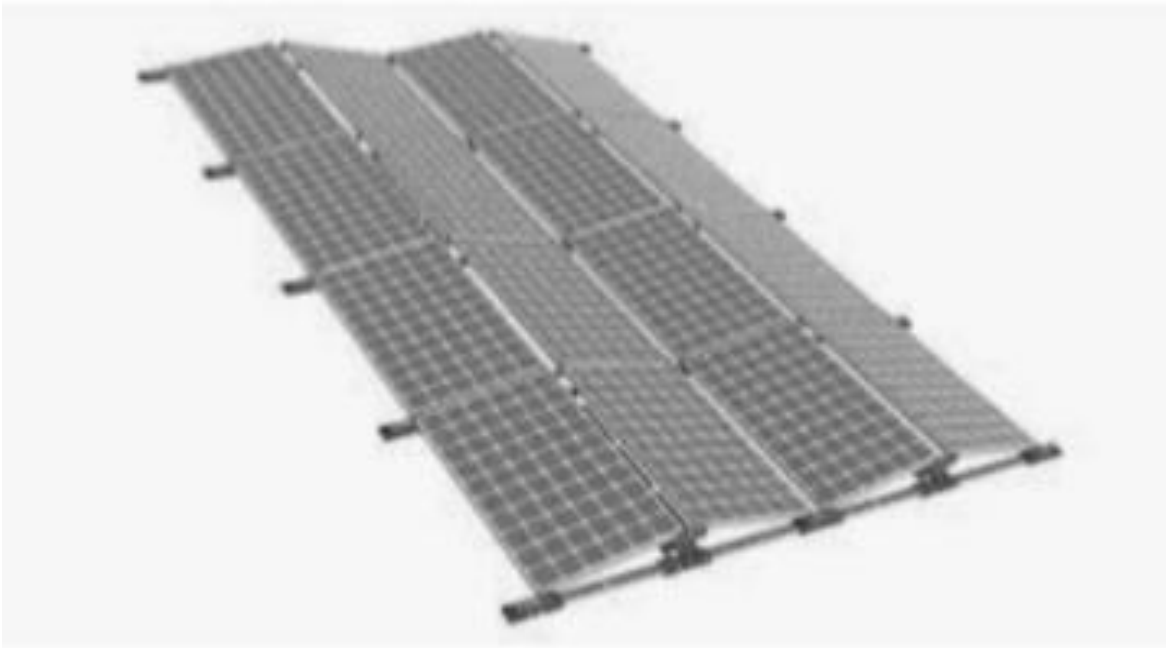


Figura 2.10: Estructura D Dome R² 10°

Fuente: (CEDAI 2022).

2.6.5 Inversores

El Sunny Tripower es el inversor ideal para plantas del sector comercial e industrial. Gracias a su rendimiento del 98,4 %, no solo garantiza ganancias excepcionalmente elevadas, sino que a través de su concepto de multistring combinado con un amplio rango de tensión de entrada también ofrece una alta flexibilidad de diseño y compatibilidad con muchos módulos fotovoltaicos disponibles. La integración de nuevas funciones de gestión de red como, por ejemplo, Integrated Plant Control, permite regular la potencia reactiva en el punto de conexión a la red tan solo por medio del inversor, es una firme apuesta de futuro. Esto permite prescindir de unidades de control de orden superior y reducir los costes del sistema. El suministro de potencia reactiva las 24 horas del día (QonDemand24/7) es otra de las novedades que ofrece.



Figura 2.11: Inversor SUNNY TRIPOWER SMA.

Fuente: (CEDAI 2022).

2.6.6 Panel solar serie DSM– 380M-72

El módulo fotovoltaico serie DSM–380MP-72 de fabricación nacional está compuesto por 72 celdas solares de formato 156.75mm x 156.75mm, conectadas en serie. El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de 3,2mm por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo y una adherencia perfecta con el EVA. La fábrica CCE de Pinar del Rio encargada de la fabricación de los paneles solares asegura que la potencia de la salida de los módulos solares se mantendrá en:

- 90% a los 10 años
- 80% a los 25 años
- 10 años de garantía contra defecto de fabricación.

Los módulos solares cumplen con todos los requerimientos establecidos en las normas internacionales:



- IEC 61215 – Edición 2,
- IEC 61730
- Clase de protección II



Figura 2.12: Módulo fotovoltaico serie DSM–380MP

Fuente: (CEDAI 2022).

2.6.7 Transformador Seco

Es un transformador que será instalado entre los inversores fotovoltaicos y la PGD, con tensión de 400 V por primario y secundario (relación 1 a 1), se comportará como una protección contra choques eléctricos y protegerá a los inversores. Tendrá una capacidad de 600KVA.

2.6.8 Sistema Eléctrico

El diseño proyectado, mantiene el servicio actual donde se crea una derivación en la línea de media tensión de 13.8 kV. El banco de transformadores se mantiene con la misma capacidad. Si se debe cambiar el sistema de metraje por un contador de 4 cuadrantes (bidireccional).

Este cambio debe ser solicitado por la empresa a la Organización Básica Eléctrica (OBE) del territorio.

Posterior al transformador estará el Panel General de Distribución (PGD), de donde salen las derivaciones hacia:



- Transformador Seco para conexión del Sistema Fotovoltaico
- Sub PGDs existentes en la Empresa(cargas)
 - Panel de Inversores Planta de Detergente
 - Panel de Inversores Socio-administrativo
 - Panel de Inversores Planta de Perfumería
 - Planta de Detergente
 - Edificio Socio-administrativo
 - Planta de Perfumería
 - Planta de Jabón
 - Planta de Plástico
 - Cisterna
 - Mantenimiento

Se conectará el sistema fotovoltaico el cual inyectará potencia con el objetivo de disminuir el consumo energético durante las horas del día y en algunos horarios donde el consumo de la empresa sea bajo dicho sistema será capaz de entregar energía al Sistema Eléctrico Nacional.

Media Tensión

La acometida de la instalación es una línea que comienza en un entronque aéreo que se caracteriza por estar a una tensión de suministro primario de 13.8 kV a una frecuencia de 60 Hz en conexión estrella y por el Secundario un nivel de tensión 400/230 V trifásicos en estrella y tiene una longitud de unos 20 m entrando al interruptor principal de la PGD.

Banco de Transformadores

El banco será reductor de tensión, siendo la tensión entre fases a la entrada de 13.8 kV y la tensión a la salida de 400/230 V conectado en estrella por el devanado secundario. El banco de transformadores instalado tendrá el neutro accesible en el lado de BT, posee una refrigeración natural, sumergido en aceite.

Medidas de energía Eléctrica

La Empresa Eléctrica instalará un contador eléctrico con el fin de realizar las mediciones del consumo de energía eléctrica para poder contabilizar el consumo.

El contador tiene unas características que se resumen en:



- Activa: Bidireccional
- Reactiva: Dos cuadrantes
- Registrador local de medidas con capacidad de lectura directa de la memoria del contador. Registro de curvas de carga horario y cuarto-horaria.
- Regleta de comprobación homologada
- Elementos de Conexión
- Equipos de protección necesarios

Red de distribución en baja Tensión

La tensión nominal de trabajo de la red de distribución en baja tensión es 400 V en trifásica y 230 V en monofásico. El Panel de contadores se situará en armario, y el grado de protección mínimo de acuerdo con norma para instalaciones de tipo interior es IP40 e IK 09. Los cables serán de una tensión asignada de 450/750 V, de conductores de Cobre de clase 2, con aislamiento seco, y se identificara por los colores establecidos.

La inversión debe tener en cuenta, que debido a la instalación del sistema fotovoltaico se deberá instalar un banco de capacitores automático para la regulación del factor de potencia, este proyecto no abarca dicha solución.

Líneas Principales

Estas líneas son las que enlazarán los bornes de BT del transformador con la PGD. Para la conexión transformador-panel general serán en cable de cobre con aislamiento en polietileno reticulado, no propagador del incendio, bajo en la emisión de humos, correspondiendo con la designación RZ1-0,6/1 kV-K(AS).

Las secciones de los conductores serán capaces de soportar sin sobrecalentamiento la potencia instalada, la potencia de cortocircuito sin superar los 250 °C en el tiempo de corte del interruptor automático que le protege, y no superar caídas de tensión que sobrepasen los permitidos por el Reglamento Vigente.

La instalación será al aire sobre bandeja ventilada o canalizados en tubos grapados. En el caso de utilizar bandeja, irán clasificados por ternas con el neutro al centro y separadas las ternas entre sí dos veces el diámetro del cable unipolar que lo forma. Las bandejas sólo llevarán una capa de cables y estos irán atados a ellas (abrazados por ternas) con bridas de



poliamida. Las bandejas tendrán continuidad eléctrica mediante el empleo de piezas de conexión del fabricante.

Las bandejas metálicas en caso de existir irán puestas a tierra con una sección mínima de conductor de 6 mm² con aislamiento de color amarillo-verde utilizándose piezas especiales del fabricante para esta unión. Para la conexión de los cables a los bornes de interruptores, se utilizarán terminales metálicos, que se unirán a los cables por presión mediante útil hexagonal que garantice una perfecta conexión sin reducción aparente de la sección.

Líneas Secundaria

Líneas secundarias estarán destinadas a enlazar los interruptores caja moldeada de salida de la PGD con los sub-paneles secundarios existente en el centro. Los cables previstos serán de cobre. El cálculo de las secciones de los conductores se realizará para soportar sin sobrecalentamientos:

- La máxima intensidad solicitada por la carga instalada.
- La intensidad de cortocircuito calculada en el punto de partida del circuito.

Su realización será en conductor de cobre con aislamiento en polietileno reticulado, auto-extinguible, bajo en la emisión de humos, correspondiendo con la designación R Z1- 0,6/1 kV-K (AS).

2.6.9 Puesta a Tierra

Tierra de protección

Se conectarán a ella todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados, como envolventes de los Paneles de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc.,

Tierra de servicio

Con el fin de evitar tensiones peligrosas den BT, debido a faltas en la red de MT, el neutro del sistema de BT se conecta a una toma de tierra independiente del sistema de MT, de tal forma que no exista influencia en la red general de tierra, para lo cual se emplea un cable de cobre aislado.



Tomas de Tierra

Pueden estar formadas por conductores de cobre desnudos de 50 mm² y enterrados a una profundidad mínima de 0.5 m, según Normativa. Desde cualquier toma de tierra, que se establezca, se dispondrá de una prolongación del conductor de tierra hasta una arqueta registrable, en la que se instalara una caja de seccionamiento, medición y borne principal de tierra, y se realizaran las interconexiones de los conductores de protección de tierras correspondientes.

Para asegurar la protección de personas y cosas, todas las masas metálicas del bloque de celdas, las cuchillas de los seccionadores de puesta a tierra, las mallas de protección de los conductores de AT, quedarán unidas por una red equipotencial de cable de cobre desnudo, que enlazará con el conductor de tierra a la puesta a tierra del CT con secciones mínimas de 50 mm².

Para asegurar la función de protección de personas y cosas, deberán conectarse a tierra todas las partes metálicas de la instalación, que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo por averías, descargas atmosféricas o sobretensiones provenientes de la red de AT.

La red de conductores se realizará con conductores desnudos de cobre de 50 mm² de sección, directamente grapados en la pared del CT. Para la función de servicio de la instalación de BT, deben ponerse a tierra el neutro del sistema de BT del transformador, con conductores de protección aislados de 0.6/1 Kv en todo su recorrido.

El proyecto de Tierra Física el Cliente lo deberá contratar con una empresa que realice estos servicios.

Tabla 2.2: Costo del proyecto en equipamientos.

Ítem	Referencia	Fabricante	Descripción	Importe (Euros)
1	Sistema Fotovoltaico	SMA	Panel solar MultiCristalino, Inversor Solar	600 000
2	Material Eléctricos	Varios, en su mayoría, Hager	Fusible, borneras, interruptores, Pizarras Eléctricas	100 000



3	Estructura Sistema fotovoltaico	K2System	D Dome R ² 10°	95 000
			Total	795 000

El precio de los productos se considera con fines orientativos de Presupuesto, en ningún caso son precios comerciales vinculantes.

2.7 Metodología para el dimensionamiento de la instalación

2.7.1 Las áreas de techo utilizables

Para determinar el espacio utilizable de instalación de los paneles fue necesario subirse sobre los tejados y con la ayuda de instrumentos de medición profesionales se obtuvieron los valores en metros cuadrados del área disponible.

2.7.2 Análisis de la inversión

Para realizar este análisis se tiene en cuenta que se propone un proyecto de inversión de energía renovable, basado en la instalación y montaje de 3993 paneles fotovoltaicos, ver figura 3.1. En la misma figura se puede observar que, aunque por el área aprovechable la capacidad máxima teórica es de 1516,2 kWp, en realidad el disponible es 1088 kWp, ya que como se puede observar existe un 28,24 % no utilizable, debido al tiempo nublado, brumoso o de poca radiación.

$$CI = ((315 \text{ USD} \cdot 3993 \cdot 24) + (10 \cdot 3993 \cdot 0,340 \cdot 29)) \cdot 1,10$$

2.7.3 Cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles.

Teniéndose los costos totales de la inversión, se calcula a continuación el ahorro que se lograría. Estos se corresponden a lo que deja de gastar la Empresa por tener garantizado la energía mediante colectores solares fotovoltaicos, durante al menos 5 horas, 313 días al año (que trabaja de forma continua), más los 52 domingos que al no trabajar puede ofertar el 90 % de lo que pueden generar los colectores fotovoltaicos, lo que arroja un ahorro de:

$$AeeE = (Dm \cdot Ttd \cdot Dta) + (Dd \cdot Ttd \cdot Dtsd \cdot 0,10)$$

Donde:

AeeE → Ahorro de energía eléctrica en la Empresa, kW.hr/año

Dta → Días de trabajo al año, según el día de la semana, días/año. 313 días al año.



D_{tsd} → Domingos al año, días/año. 52 días al año.

D_m → Demanda máxima de la Empresa, kW.

D_d → Demanda máxima que pueden entregar los paneles, kW

T_{td} → Tiempo equivalente con Sol al día para la radiación máxima, 5 horas al día.

2.7.4 Cálculo medioambiental

La cantidad de energía eléctrica que se deja de producir en los generadores primarios de energía que utilizan combustibles fósiles, después de ejecutada la inversión propuesta, se calcula como:

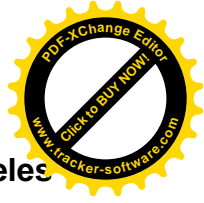
$$E_{eT} = A_{ee}E + E_p$$

Donde:

E_{eT} → Energía eléctrica que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kW.hr/año

2.7.5 Eficiencia energética

En la figura 3.3 se encuentra la solicitud por reposición de los 9 carros ligeros que actualmente tiene asignada la Empresa, con sus precios de compra en USD y el ahorro que tendrían en litros de combustibles anuales con su aplicación.



Capítulo III. Aplicación del procedimiento para el proyecto de instalación de paneles solares en la UEB Suchel Jovel de Jovellanos

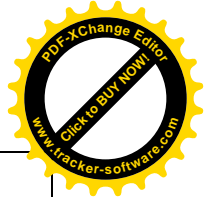
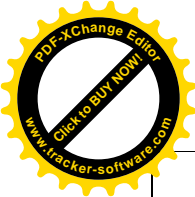
En este capítulo se presentan los resultados del estudio realizado para el análisis económico, el de inversión, el cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles, el cálculo medioambiental y la eficiencia energética.

3.1 Las áreas de techo utilizables se desglosan de la forma siguiente:

Locales	Área (m2)
• Planta de detergente -----	3750
• Edificio administrativo -----	831
• Almacén de materias primas -----	1369
• Transporte -----	252
• Almacén productos terminados -----	532
• Mantenimiento -----	375
• Planta de tratamiento -----	124
• Cisterna -----	432
Total: -----	7665

3.2 Análisis Económico

3.2.1 Análisis de la inversión.



Uso Simultaneo

Consumo diario de Corriente de CA (Ah) **39 655,12** A/hora
 Consumo Total corregido: **46 653,08** A/hora

Energía total diaria	5 089 427,34	W.hr/día =	1 017,00	kW
Tensión CD del sistema (generalmente 12 ó 24 V)	24	Vcd		
Carga diaria corriente	212 059,47	A.hr/día		
Multiplicar con el factor de seguridad 20%	1,1			
Carga diaria corriente corregida	233 265,42	A.hr/día		
Promedio de horas de pico de sol por día.	5			
Amperaje que el sistema tendrá que producir en 1 hora	46 653,08	A/hora		Comprobación:
Capacidad máxima teórica de Potencia en kWp	1 357,62	kWp	>	1 017,00
% de tiempo nublado, brumoso o de poca radiación:	25,09%			

Cálculo del número de paneles

Consumo Total corregido:	46 653,08 A/hora
Amperaje máximo del modulo solar seleccionado	9,01 Panel Policristalino 24Vdc/9,01A/340W
Horas sin o poco Sol	7
Eficiencia del Panel	0,195
Profundidad de Descarga de las Baterías	0,95
Coefficientes Multiplicados	11,68
Numero de módulos Paralelos que se necesita	3993 Paneles
Numero de módulos en Serie que se necesita 12/12=1	1,00 Paneles
Area disponible para ubicar paneles (m2)	7665,00 m2
Area de un solo panel fotovoltaico (m2)	1,92 m2

Cálculo del número de baterías (opcional)

Carga total diaria	233 265,42 A/día
Días de reserva	2 (tiempo funcionando sin sol)
Capacidad nominal del banco de baterías	116 632,71 Ah
Factor de profundidad de descarga	0,8 (20% de reserva en las Baterías)
Capacidad corregida del banco de baterías	145 790,89 Ah
Capacidad nominal de batería	75 Ah (SOLAR BLOC 75 GEL)
Número de baterías en Paralelo de 12Vcd	1944,00
Número de baterías en Serie de 12Vcd	1,00
Total de Baterías a Instalar	1944,00

Calculo de Potencia del Inversor (Solo para 220AC)

Total de Potencia Instantaneo del Inversor (Pts)	1 017 885,47 Wh	Agregar 10% del Total Inversor	101788,5469
TOTAL de Potencia Inversor Regimen Continuo	1 119 674,02 Wh		
Factor pico de arranque por Motor 1,25%	1 399 592,52		
Uso no Simultaneo (Aprox. 1/3)	1 049 694,39 Wh	Pni= 47,5 KW.h Pni > Pts	

Calculo del Regulador de Carga para 24 Vcd

Numeros de Paneles en paralelo	3993,00
Intensidad maxima del Panel	9,01 A
Coefficiente de Pérdidas	1,25
Intensidad maxima del Regulador	44971,1625 A

Nota: Estos cálculos están realizados para colectores con una orientación hacia el sur y un ángulo de inclinación de 20º. Cualquier variación en la orientación y el ángulo de inclinación reduce ostensiblemente la radiación recibida

Figura 3.1: Determinación de la cantidad de paneles fotovoltaicos.

Fuente: (CEDAI 2022).



En la siguiente tabla se expone la potencia pico máxima a instalar por cada local cuyo techo es aprovechable, aquellos cuyo techo es inclinado a 20° y pueden ser instalados directamente sin soporte de aluminio se pone “Adosados” (se ahorra la Empresa 90 USD por cada colector por no necesitar dicho soporte); los techos que son planos y necesitan los colectores soportes de aluminio se pone en la última columna “Estructurados”.

El desglose por área:

Locales	Area	Paneles fotovoltaicos	Potencia máxima	Potencia aprovechable	Pérdidas, y días nublados	Soporte de colector
	(m ²)	Cantidad	kWp	kWp	%	
Planta de detergente	3750	1954	742,14	534,0	28,05	Estructurado
Edificio administrative	831	433	164,16	118,0	28,12	Estructurado
Almacén de materias primas	1369	714	270,94	195,0	28,03	Estructurado
Transporte	252	131	49,78	35,0	29,69	Adosado
Almacén productos terminados	532	277	105,26	75,0	28,75	Adosado
Mantenimiento	375	195	74,10	53,0	28,48	Adosado
Planta de tratamiento	124	64	24,32	17,0	30,10	Estructurado
Cisterna	432	225	85,50	61,0	28,65	Estructurado
Total	7665	3993	1516,2	1088	28,24	Estructurado

El costo de la inversión se obtiene de la Fábrica “Ernesto Guevara”, ubicada en: Avenida Colón Pasaje A, No. 16 entre Álvaro Barba y Pasaje B, Zona Industrial Hermanos Cruz, Pinar del Río, **Teléfonos: (+53) 48 763016, (+53) 48 764508, (+53) 48 762746 ext. 118.** e-mail: **mkt@cce.cu** www.cce.cu, donde la compra y transportación se oferta a 315 USD el panel fotovoltaico, de potencia 340 Wp, por lo que se realiza la conversión de 24 CUP por USD. El inversor, el metrocontador y el regulador se obtienen del mercado europeo, donde se encuentran



alrededor de los 10 Euros por cada kW instalado, como ellos están expresados en Euros se realiza la conversión a CUP por el valor de cambio vigente cuando se confeccionó el presente informe, que era de 29 CUP por €. Según las Empresas montadoras el costo de instalación y montaje es aproximadamente un 10 % del costo anterior, por lo que se multiplica por 1,10 para tenerlo en cuenta, entonces el costo total de la inversión sería:

$$CI = ((315 \text{ USD} \cdot 3993 \cdot 24) + (10 \cdot 3993 \cdot 0,340 \cdot 29)) \cdot 1,10 = 33 \ 638 \ 868,78 \text{ CUP}$$

3.2.2 Cálculo y análisis de los ahorros y pagos posibles.

$$AeeE = (Dm \cdot Ttd \cdot Dta) + (Dd \cdot Ttd \cdot Dtsd \cdot 0,10)$$

$$AeeE = (295 \text{ kW} \cdot 5 \text{ hrs/día} \cdot 313 \text{ días/año}) + (1017 \text{ kW} \cdot 5 \text{ hrs/día} \cdot 52 \text{ días/año} \cdot 0,10)$$

$$AeeE = 488 \ 117,00 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:

AeeE → Ahorro de energía eléctrica en la Empresa, kW.hr/año

Dta → Días de trabajo al año, según el día de la semana, días/año. 313 días al año.

Dtsd → Domingos al año, días/año. 52 días al año.

Dm → Demanda máxima de la Empresa, kW.

Dd → Demanda máxima que pueden entregar los paneles, kW

Ttd → Tiempo equivalente con Sol al día para la radiación máxima, 5 horas al día.

El % de la energía eléctrica máxima que la Empresa puede ahorrarse de su consumo anual, mediante la energía que generan los colectores solares fotovoltaicos sería de:

$$\%Hd = \frac{AeeE}{Cea} \cdot 100 = 29,86 \%$$

Donde:

Cea → Consumo de energía anual de la Empresa calculado. 1 634 633 kW.hr

%Hd → Por ciento del consumo que se puede ahorrar del total, %.

Si al ahorro de energía se multiplica por el promedio de la tarifa eléctrica que le cobra la UNE a la Empresa por la Tarifa de media tensión M1-A, que corresponde a 3,12 \$/kW.hr, se obtiene:

$$Aee\$ = AeeE \cdot \text{Tarifa} = 488 \ 117,00 \text{ kW.hr/año} \cdot 3,12 \text{ \$/kW.hr} = 1 \ 522 \ 925,04 \text{ \$/año}$$

Donde:



Aee\$ → Ahorro en dinero por la energía eléctrica ahorrada, \$/año

Si se tiene en cuenta que la Empresa va a tener una producción de potencia extra de 722 kW durante al menos 5 horas al día, 313 días al año, y los domingos puede entregar el 90 % del total a generar por los paneles, se obtiene que la Empresa puede producir y comercializar la siguiente cantidad de energía:

$$E_p = (D_{dc} \cdot T_{td} \cdot D_a) + (D_d \cdot T_{td} \cdot D_{tsd} \cdot 0,90)$$

$$E_p = 722 \text{ kW} \cdot 5 \text{ hrs/día} \cdot 313 \text{ días/año} + (1017 \text{ kW} \cdot 5 \text{ hrs/día} \cdot 52 \text{ días/año} \cdot 0,90)$$

$$E_p = 1\,367\,908,00 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:

Ddc → Demanda eléctrica disponible para comercializar, kW.

E_p → Energía eléctrica total producida, kW.hr/año,

Si a este valor lo multiplicamos por el promedio de la tarifa eléctrica que le paga la UNE a las Empresas que generan electricidad por la Tarifa GRUPO C1-C acápite 6: “Tarifas de compra de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos”, según Resolución del Ministerio de Finanzas y Precio (MFP) No. 215/2018, que corresponde a 3,00 \$/kW.hr, se obtiene:

$$E_p\$ = E_p \cdot \text{TarifaC} = 1\,367\,908,00 \text{ kW.hr/año} \cdot 3,00 \text{ \$/kW.hr} = 4\,103\,724,00 \text{ \$/año}$$

Donde:

E_p\$ → Dinero posible a cobrar por la energía eléctrica producida, \$/año

Por lo que el monto total de dinero entre ahorro de energía y venta de energía sobrante va a ser:

$$E_t\$ = A_{ee}\$ + E_p\$ = 1\,522\,925,04 \text{ \$/año} + 4\,103\,724,00 \text{ \$/año} = 5\,626\,649,04 \text{ \$/año}$$

Donde:

E_t\$ → Dinero total por la energía eléctrica producida y ahorrada, \$/año

3.2.3 Cálculo medioambiental

$$E_{eT} = A_{ee}E + E_p = 488\,117,00 \text{ kW.hr/año} + 1\,367\,908,00 \text{ kW.hr/año}$$

$$E_{eT} = 1\,856\,025,00 \text{ kW.hr/año}$$

Donde:



EeT → Energía eléctrica que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kW.hr/año

El combustible ahorrado por este concepto se calcula multiplicando este valor por el consumo específico de combustible medio del País, que es de 280 g/kW.hr (gramos de combustible por kW.hr producido)

$$Cah = EeT \cdot Bc = \frac{1\,856\,025,00 \text{ kW.hr/año} \cdot 280 \text{ g/kW.hr}}{10\,000\,000 \text{ g/Ton}} = 520 \text{ Tn/año}$$

Donde:

Cah → Combustible fósil ahorrado al año, Tn/año

Bc → Consumo específico de combustible del País, 280 g/kW.hr

Lo cual equivale a que gracias a la inversión propuesta además de dejarse de consumir 520 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 442 464 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 1 507 toneladas de dióxido de carbono anuales.

Al precio actual de la tonelada de combustible de 700 USD, el País se puede ahorrar con la propuesta realizada:

$$AP\$ = 520 \text{ Ton/año} \cdot 700 \text{ USD/Ton} = 363\,783,00 \text{ USD/año}$$

Con respecto a todo el ahorro que recibe el País, el tiempo de recuperación de la inversión se determina por la siguiente expresión:

$$TrP = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{33\,638\,868,78 \text{ \$}}{363\,783,00 \text{ USD/año} \cdot 24 \text{ \$/USD}} = 3,85 \text{ años} = 3 \text{ años y } 10 \text{ meses}$$

Con respecto al dinero que va a recibir la Empresa por la venta de energía, y teniéndose en cuenta lo que se ahorra en pago de factura por energía eléctrica dejada de consumir, se obtiene que se recupera la inversión en:

$$TrE = \frac{\text{Inversión}}{\text{Pagos a recibir}} = \frac{33\,638\,868,78 \text{ \$}}{5\,626\,649,04 \text{ \$/año}} = 5,98 \text{ años} \approx 6 \text{ años}$$

Para ambos casos, País y Empresa, es rentable ejecutar la inversión propuesta, teniendo en cuenta los 25 años de vida útil que tienen al menos los paneles fotovoltaicos.

Estos cálculos desglosados por año pueden observarse en la Figura 3.2.

No	Año	Entidad	Demanda	Generación de Paneles	Excedente para vender a la OBE	Monto de la Inversión o Acción propuesta		Combustible que ahorra el país		Tiempo recuperación inversión respecto al combustible	Monto que recibe la Empresa por la energía ahorrada y generada	Tiempo recuperación inversión para la Empresa	Área disponible de techo	Cantidad de Paneles fotovoltaicos
			kW	kW	kW	Cup	USD	Tn/año	USD/año	años	CUP	años	m2	Unidad
1	2022	Jovel	295,00	204	-91,00	6 727 774,00	280 323,92	104,00	72 800,00	3,85	1 125 330,00	5,98	1 533,0	799
2	2023	Jovel		204	113,00	6 727 774,00	280 323,92	104,00	72 800,00	3,85	1 125 330,00	5,98	1 533,0	799
3	2024	Jovel		203	316,00	6 727 774,00	280 323,92	104,00	72 800,00	3,85	1 125 330,00	5,98	1 533,0	799
4	2025	Jovel		203	519,00	6 727 773,00	280 323,88	104,00	72 800,00	3,85	1 125 330,00	5,98	1 533,0	798
5	2026	Jovel		203	722,00	6 727 773,00	280 323,88	104,00	72 800,00	3,85	1 125 330,00	5,98	1 533,0	798
Total			295,00	1 017,00	722,00	33 638 868,00	1 401 619,50	520,00	364 000,00	3,85	5 626 650,00	5,98	7 665,0	3 993

Figura 3.2: Solicitud de sistemas de paneles fotovoltaicos para la UEB Suchel Jovel.

Fuente: (CEDAI 2022).

2.3.4 Eficiencia energética

Número	Años	Cantidad de transporte ligero solicitado		Combustible ahorrado por año	Combustible ahorrado por año	Combustible acumulado ahorrado	Dinero que se ahorra por concepto de combustible al año	Dinero acumulado por concepto de combustible	Pago por año
		Ligero	Camioneta	Litros al año (ligero)	Litros al año (camioneta)	Litros al año	\$/año	\$/año	USD/año
1	2022	2	0	2 698,00	0,00	5 396,00	44 409,08	44 409,08	84 000,00
2	2023	2	0	2 698,00	0,00	5 396,00	44 409,08	88 818,16	84 000,00
3	2024	2	0	2 698,00	0,00	5 396,00	44 409,08	133 227,24	84 000,00
4	2025	2	0	2 698,00	0,00	5 396,00	44 409,08	177 636,32	84 000,00
5	2026	1	0	2 698,00	0,00	2 698,00	44 409,08	222 045,40	42 000,00
Total		9	0	13 490,00	0,00	24 282,00	222 045,40	666 136,20	378 000,00

Nota: La carga eléctrica de estos equipos se realizará con energía renovable, mediante los paneles fotovoltaicos solicitados en el Anexo V.

INVERSION O ACCION PROPUESTA	Capacidad o potencia de la inversión de acuerdo a sus características			Monto de la Inversión o Acción propuesta		
	Unidades	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)	Precio/Unidad	Importación (USD)	Moneda Nacional
					USD	CUP
Vehículo eléctrico Peugeot Patner DVLS	9	49,0	441,0	42 000,0	378 000,00	9 072 000,00
Vehículo eléctrico Peugeot Camioneta Foton DVL	0	90,0	0,0	53 000,0	0,00	0,00
Total	9		441,0		378 000,00	9 072 000,00

Figura 3.3: Solicitud de transporte eléctrico ecológico para la UEB UEB Suchel Jovel.

Fuente: (CEDAI 2022)



En el anexo VII se determina el ahorro y el tiempo de recuperación de la inversión, si se cambian todos los equipos de clima y las dos cámaras frías por equipamiento con sistema inverter, con lo cual se puede ahorrar el 30 % del consumo del equipamiento de climatización y refrigeración, como puede observarse en dicho anexo la recuperación de la inversión se produce en apenas un año y dos meses.

Como toda la luminaria de la Empresa es del tipo led ya la Empresa tiene el ahorro que esto conlleva.

Solicitud de cambio de luminarias fluorescente por luminarias Led													
No es necesario porque todas sus luminarias son led													
Solicitud de cambio de Aires acondicionados y cámaras frías por sistema inverter													
No	Año	Aires acondicionados y Cámaras frías	Cantidad	Consumo actual	Consumo con sistema inverter	Energía anual que se ahorra	Monto de la Inversión o Acción propuesta		Combustible que ahorra el país		Tiempo recuperación inversión respecto al combustible años	Dinero que se ahorra la Empresa por la energía ahorrada CUP	Tiempo recuperación inversión para la Empresa años
		Tnr		kW	kW		kW.hr	CUP	Euro	Tn/año			
1	2022	0,5	2	0,90	0,63	1139,40	5 800,00	200,00	0,32	223,32	1,07	3 554,93	1,63
2	2023	1	19	1,37	0,96	16476,99	110 200,00	3 800,00	4,61	3 229,49	1,41	51 408,21	2,14
3	2024	2	4	2,30	1,61	5823,60	46 400,00	1 600,00	1,63	1 141,43	1,68	18 169,63	2,55
4	2025	4	3	4,35	3,05	8260,65	69 600,00	2 400,00	2,31	1 619,09	1,78	25 773,23	2,70
5	2026	5	2	5,50	3,85	6963,00	58 000,00	2 000,00	1,95	1 364,75	1,76	21 724,56	2,67
		1,2	2	4,50	3,15	16556,40	13 920,00	480,00	4,64	3 245,05	0,18	51 655,97	0,27
Total			32	18,92	13,24	55 220,04	303 920,00	10 480,00	15,46	10 823,13	1,16	172 286,5	

Nota: Para el año 2026 se solicitaron las 2 Cámaras frías de 1,2 Tnr

Figura 3.4:

Solicitud de sistemas para mejorar la eficiencia energética para la UEB UEB Suchel Jovel.

Fuente: (CEDAI 2022).



Conclusiones

- 1- Mediante un análisis económico se determinó que la inversión total del proyecto es de 33 638 868,78 CUP.
- 2- La inversión propuesta en energía renovable se recupera en 3 años y 10 meses con respecto al combustible que se ahorra el País por este concepto, y se recupera en 6 años con respecto a los ahorros de energía eléctrica y el pago que se recibe por generación de electricidad, por parte de la Empresa.
- 3- Con la inversión propuesta además de dejarse de consumir 520 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 442 464 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 1 507 toneladas de dióxido de carbono anuales, contribuyendo ostensiblemente al mejoramiento del medio ambiente.
- 4- El consumo total de energía eléctrica en dinero asciende a 3 416 913 \$ al año, debido a la capacidad del banco de capacitores la Empresa se ahorra 148 561 \$ al año, debido a que la instalación no es penalizada, ya que su factor de potencia se encuentra en 0,96, obteniendo el máximo de bonificación.



Recomendaciones

1. Realizar licitaciones para adquirir la tecnología propuesta, mediante solicitud de crédito bancario amparados por el Decreto Ley 345/2019 del MINEM.
2. Distribuir los consumos mensuales de energía y demanda según la temporada.
3. Se recomienda la instalación de protectores de línea en los aires acondicionados, para protección y aumento de su vida útil.
4. Estos cálculos, al haber tomado valores medidos directamente en el equipamiento y por catálogos y originales de proyectos, pueden tener hasta un 10 % admisible de error.



Bibliografía

Amarán, T. (2022).

Biomass Users Network (BUN-CA) (2012). Manual sobre energía renovable.

CEDAI, E. d. a. i. (2022). "Su sistema energético de un vistazo, Proyecto: JOVEL."

Chu, S., & Majumdar, A. (2012). "Opportunities and challenges for a sustainable energy future." **Nature**, vol 488.

Curry, N., & Pillay, P. (2012). "Biogas prediction and desing of a food waste to energy system for the urban environment. Renewable Energy. ." **vol.41**: 200 a 209.

Droege, P. (2008). Urban Energy Transition: From Fossil Fuels to Renewable Power.

Fuentefría, A. S. (2018). "TRABAJO TEÓRICO EXPERIMENTAL-Influencia del ángulo de inclinación. La Habana. ."

Garcell, D. (2014). "Propuesta de aprovechamiento de la energía solar para el suministro eléctrico del edificio administrativo de la EMNI ".

Gasquet, H. L. (2004). "Conversion de la energia solar en energia electrica ".

Hugo altamonte, M. C., Wolfgang F.Lutz (2003). "Energias renovables y eficiencia energetica en america latina y el caribe.Restrictciones y perspectivas. ."

Lamigueiro, O. P. (2015). "ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA."



Milián León, J. (2018). Uso de la energía solar en sistemas de aire acondicionado central por absorción., Matanzas. **título de Ingeniero Mecánico.**

Minas, M. d. E. y. (2021). "Año de energía solar fotovoltaica sector no residencial."

Minrex (2019). " Inauguran en Cuba el parque solar fotovoltaico "Cárdenas I" con una potencia de 3,75 MW pico, con crédito del Fondo de Abu Dhabi para el Desarrollo y en coordinación con la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). ."

ONU-Habitat;, S., L. G. f., & Ambiente., P. d. N. U. p. e. M. Sustainable Urban Energy Planning: A handbook for cities and towns in debeloping countries. (2009). "Sustainable Urban Energy Planning: A handbook for cities and towns in debeloping countries. ."

Phillips, L., & Smith, P. (2015). "La Energía Urbana Sostenible es el futuro."

Ramos Mena, H. (2020). Uso de la energía solar fotovoltaica en el alumbrado del estadio de béisbol Victoria de Girón Matanzas. **Ingeniero Mecánico.**

Red, I. d. E. S. F. P. d. C. T. d. I. A. d. (2009). Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. .

Reyes Bello, D. (2020). Metodología para la implementación de un sistema híbrido de energía fotovoltaica y eléctrica en la Empresa de Construcción y Montaje de Matanzas. . Departamento de Mecánica Matanzas Universidad de Matanzas

Rodríguez Chávez, H. (2018). Estudio para el aprovechamiento de energías renovables en el Hotel Sol Palmeras Departamento de Ingeniería Mecánica. Matanzas, Universidad de Matanzas

Rodríguez Gambar, A. (2020). Informe final revisión energetica UEB Suchel Jovel.



Sánchez Acevedo, L. (2019). "Uso de la energía solar térmica en el circuito primario de agua caliente del hotel arenas blancas ".

Sánchez Acevedo, L. (2019). Uso de la energía solar térmica en el circuito primario de agua caliente del hotel arenas blancas Departamento Ingeniería Mecánica Matanzas, Universidad de Matanzas

Santos, R. D. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. La Habana: Revista de Ingeniería Energética. .

Schallenberg Rodríguez, J. C. G. P. I. C. H. R. (2010). Energías renovables y eficiencia energética.

Society, T., . (2008). "Planning and installing Photovoltaic systems: A guide for installers, architects and engineers, Gran Bretaña., Gran Bretaña.: s.n. ."



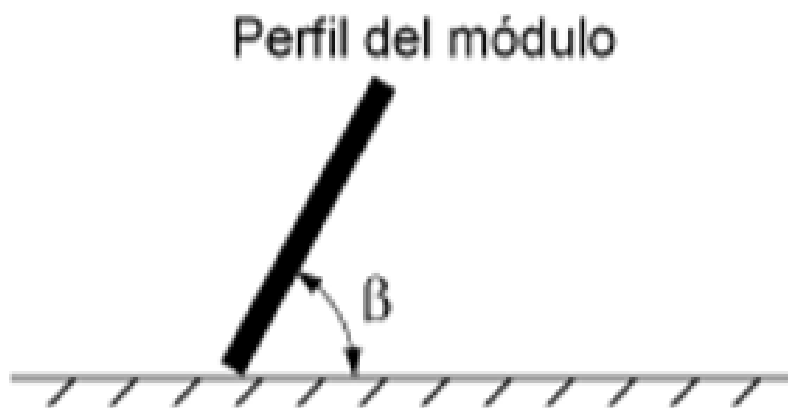
Anexos:

Anexo 1: Registro de las fuentes de energía identificadas.

REGISTRO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA IDENTIFICADAS			
No.	FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE	PROCESOS	AREAS /SIST. Y EQ. TECNOLOGICOS
1.	ELECTRICIDAD	Cimatizacion	Oficinas del bloque socioadministrativo , oficineas de las plantas de producción de jabones , detergente líquido y plásticos, laboratorio cental y laboratorio de la PDL, etc.
		Equipos Gastronomicos	Neveras de agua fría, Fogón eléctrico, lasqueadora,etc.
		Refrigeracion	Camaras frias de la cocina , Refrigeradores de laboratorios de la producción de Deterg. Líquido y comedor, dirección, etc. Planta de frascos plásticos.
		Motores eléctricos	Procesos de producción de jabones , detergentes , taller mantenimiento, etc.
		Ofimática y Comunicaciones	Computadoras, servidores, Teléfonos, etc.
		Impulsion de fluidos	Hidroeumático, bomba de pozo, bombas de agua fría, bombas fabricasi3n de detergente líquido etc.
		Sistemas de Iluminaci3n.	Luminarias de oficinas , plantas de producci3n , taller mantenimiento y alumbrado exterior.
		Sistemas de Extracci3n e Inyeccion.	Planta de producci3n de jabones, comedor,etc.
2.	DIESEL	Generacion de emergencia	Grupos electrogenos de emergencia
		Equipos Tecnol3gicos	Transporte de materia prima y productos terminados.
		Transporte automotor	Transporte automotor.
3.	GLP	Cocci3n de Alimentos	Cocina..
4.	GASOLINA	Transporte automotor	Vehículas a Gasolina



Anexo 2: Ángulo de inclinación.



Anexo 3: Ángulo de azimut α .

