



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA

Tesis presentada en opción al título de
Master en Electromecánica

**Propuesta de suministro de energía con
fuentes renovables al centro de educación
prescolar “Tierno Amanecer” de Moa**

Autor: Ing. Miguel Baltazar Huto Pacheco

Tutor: Prof. Tit. Reineris Montero Laurencio, Dr. C.

Moa, 2019
Año 61 de la Revolución

Declaración de Autoría

Yo, Ing. Miguel Baltazar Huto Pacheco, autor de esta tesis de Maestría en Electromecánica, tutorado por Dr. C. Reineris Montero Laurencio, declaramos la propiedad intelectual de este trabajo a favor de la Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, para que disponga de su uso con la finalidad que estime conveniente.

Para que así conste, firmamos la presente a los __días del mes de _____ de 2019.

Ing. Miguel Baltazar Huto Pacheco

Firma Autor

Dr. C. Reineris Montero Laurencio

Firma Tutor

Dedicatoria

Realizar una obra o proyecto requiere de tiempo y sacrificio de nuestra parte y en el empeño de realizarlo, muchas personas intervienen en el camino ayudándonos de incontables y desinteresadas maneras, por lo que dedico este trabajo de manera agradecida primeramente a Dios que siempre me ha brindado su amor incondicional, y me ha dado el placer de contar con un padre, madre, hermanos(a) y amigos que me han apoyado en cada una de las decisiones que he tomado en el transcurso de mi vida.

Dedicando así, este Trabajo de maestría a mis padres Pacheco Francisco, Domingas Huto y Vanda Farías B. Pacheco por todo el amor.

A mis abuelos(a) Antônio Huto, Ilda André Pacheco, Francisco Pacheco, Laura Yohino.

A mis tíos(a) Guida, Chinha, Odeth, Chico, Emília, Mado, Jojo, Amílcar Teodoro.

A mis Hermanos(a) Loide Pacheco, Dario Francisco, David Francisco, Esperança Pacheco, Eduardo Pacheco, Amílcar Pacheco, Patrícia Pacheco, Ilda André Pacheco, Toy, Moises Smith Gourgel, Mimi Alvaro, Chiquinho, Edgar Alvaro, Diamantino Alvaro, Isabel Gomes, Maria Pacheco, Joaquina Pacheco, Terna Pacheco, Francisco Pacheco.

A mi tutor Dr. C. Reineris Montero Laurencio que sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este Trabajo de Maestría.

También dedico este trabajo a mis amigos(a) Cecilia Fiaco, Milton Ricardo, Carlos Correia, Ing. Antônio Da Silva, Ing. Jessica Leitão, Dr. Alexandre Século, Dr. Inacio Quintino, Dra. Clair Silva, Ing. Hélder Vemba y a todos que me han soportado, ayudado, acompañado durante mi carrera, les dedico también con todo mi corazón y cariño.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente al todopoderoso (Dios) por haberme dado la sabiduría y la fortaleza, porque solo por el pude llegar hasta el final. Y a todas las personas que de una forma u otra me apoyaran y con su ayuda fue posible la culminación de este trabajo de maestría. Dentro de ellas:

- ✓ A mis compañeros de Angola, amigos, por la ayuda, amistad que me han brindado.
- ✓ Agradezco especialmente a mis profesores, que incidieron en mi formación profesional durante estos años.
- ✓ A mis familiares por su fe, amor, confianza, y apoyo brindado.
- ✓ A mi tutor Dr. C. Reineris Montero Laurencio, Ms.C. Liomnis Osorio Laurencio y el Dr. C. Isnel Rodríguez por su ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.
- ✓ Al personal del círculo infantil “Tierno Amanecer”

Resumen

En esta investigación, se realiza una propuesta para el suministro de energía con fuentes renovables al centro de educación preescolar “Tierno Amanecer” de Moa. Con este propósito, se utilizó el software profesional PVSyst v.6.4.3 para el dimensionado del sistema fotovoltaico de conexión a la red y una aplicación sustentada en Mathcad 14, para determinar las características del sistema de agua caliente sanitaria en base a colectores solares. Como resultado del análisis se propone un sistema fotovoltaico de 3,5 kWp y 7 calentadores solares compactos tipo ECOSOL 200L, los cuales son capaces de satisfacer el consumo de electricidad en un 75,9 % y toda el agua caliente requerida. El costo total de la inversión para ambos sistemas es de 9 563,70 CUC con un período de recuperación de la inversión de 10,41 años. El uso final de la energía proveniente de estos sistemas, adaptados a las características constructivas del centro de educación preescolar y a la dinámica de las actividades que se realizan, permiten mediante el uso de los métodos de cálculo empleados, la generalización de esta propuesta.

Summary

In this research, a proposal for the supply of energy with renewable sources to the preschool education center "Tierno Amanecer" of Moa is made. For this purpose, the professional software PVSyst v.6.4.3 was used in order to dimensioning of the photovoltaic system for connection to the grid and an application based on Mathcad 14, to determine the characteristics of the hot water system, based on solar collectors. As a result of the analysis a photovoltaic system of 3,5 kWp and 7 compact solar heaters type ECOSOL 200L are proposed, which are able to satisfy the consumption of electricity in 75,9% and all the hot water required. The total investment cost for both systems is 9 563,70 CUC with a payback period of 10,41 years. The final use of the energy coming from these systems, adapted to the constructive characteristics of the preschool and to the dynamics of the activities that are carried out, allow through the use of the calculation methods used, the generalization of this proposal.

Introducción general.....	3
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL	9
1.1. Introducción del capítulo.....	9
1.2. Comportamientos energéticos de instituciones educativas	9
1.2.1. Estudios energéticos en instituciones educativas en Cuba	11
1.2.2. Los portadores energéticos y uso final de la energía	13
1.3. Gestión energética y sus particularidades en instituciones educativas	14
1.3.1. Programas de educación energética en instituciones educativas.....	16
1.4. Planes de estudio y su relación con la enseñanza de la energía.....	16
1.4.1. La implementación de FRE en instituciones educativas.....	19
1.5. Energía solar fotovoltaica y su conexión a la red.....	23
1.5.1. Energía solar fotovoltaica conectada a la red.....	24
1.5.2. Paneles fotovoltaicos	25
1.5.3. Inversores	26
1.6. Energía solar térmica	26
1.6.1. Calentadores solares	27
1.7. Conclusiones del capítulo	29
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1. Introducción del capítulo.....	30
2.2. Características energéticas del círculo infantil caso de estudio	30
2.2.1. Dinámica del uso del portador energético electricidad.....	31
2.2.2. Dinámica del uso del portador energético GLP	32
2.2.3. Suministro eléctrico de la instalación	33
2.3. Dimensionado del sistema FV conectado	34
2.4.1. Configuraciones del sistema FV en PVSyst.....	35
2.4.2. Parámetros del sistema FV y declaraciones de variables	37
2.4.3. Determinación del potencial FV conectado a la red	38
2.4. Generalidades de la aplicación Mathcad 14	38
2.5. Cálculo del número de colectores solares compactos	39
2.6. Instrumentación a utilizar para la comprobación de cargas	41
2.7. Conclusiones del capítulo	42
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	43
3.1. Introducción	43

3.2.	Potencia instalada en el círculo infantil	43
3.3.	Consumo promedio diario de electricidad	44
3.4.	Dimensionado, análisis y selección del sistema fotovoltaico	45
3.4.1.	Implementación de la tecnología propuesta	46
3.4.2.	Caraterísticas del panel solar propuesto	47
3.4.3.	Simulación del potencial fotovoltaico	47
3.4.4.	Requerimientos para el soporte en la cubierta	54
3.4.5.	Requerimientos para el sistema de paneles fotovoltaicos propuesta.....	54
3.5.	Dimensionado del sistema de agua caliente sanitaria	55
3.5.1.	Cálculo del número de colectores solares compactos	56
3.5.2.	Requerimientos hidráulicos para el sistema de calentadores solares	60
3.6.	Análisis técnico-económico y medioambiental	62
3.6.1.	Análisis del sistema fotovoltaico	63
3.6.2.	Análisis del sistema de agua caliente sanitaria	65
3.6.3.	Valoraciones generales	67
3.7.	Conclusiones del capítulo	67
	CONCLUSIONES GENERALES	68
	RECOMENDACIONES	69
	Bibliografía	70
	Anexos	73

Introducción general

La etapa de uso de combustibles fósiles constituye un tema de preocupación, debido principalmente a la escasez y problemas de contaminación que originan. En la actualidad existe una marcada tendencia en aprovechar las fuentes renovables de energía (FRE), por su bajo impacto ambiental, permitiendo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El uso de las FRE permite disminuir la dependencia energética y contribuye a la creación de empleos y al desarrollo tecnológico. Para obtener el mayor provecho de las energías renovables, es importante determinar su potencial en correspondencia con el lugar donde se deseen implementar, haciendo un balance de los recursos energéticos existentes de manera general.

A nivel mundial el uso de las FRE se ha incrementado considerablemente. Este aspecto está relacionado con la necesidad del desarrollo sostenible de los pueblos en función del respeto ambiental y a la disminución de las reservas de portadores energéticos que se utilizan en la generación de energía.

A finales del año 2018, de la producción global de electricidad se lograba el 73,8 % con fuentes convencionales de energía y el 26,2 % con las FRE. La distribución de las renovables se puede apreciar en la figura 1.

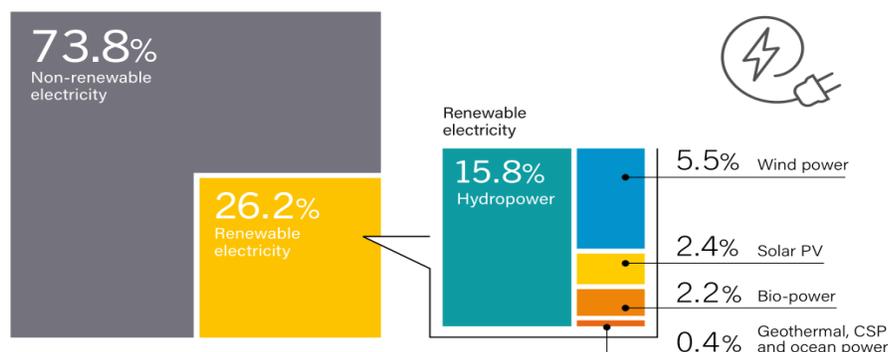


Figura 1. Producción global de electricidad en porcentaje 2018 [1]

Una de las FRE que ha tenido un crecimiento importante a nivel global resulta la energía solar fotovoltaica, la cual en el 2018 alcanzaba una capacidad instalada de unos 505 GW, destacándose en orden descendente los siguientes países, China, Resto del mundo, Estados Unidos, India, y luego Japón. Esta distribución se puede apreciar mejor en la figura 2 donde se refleja los 11 países más avanzados.

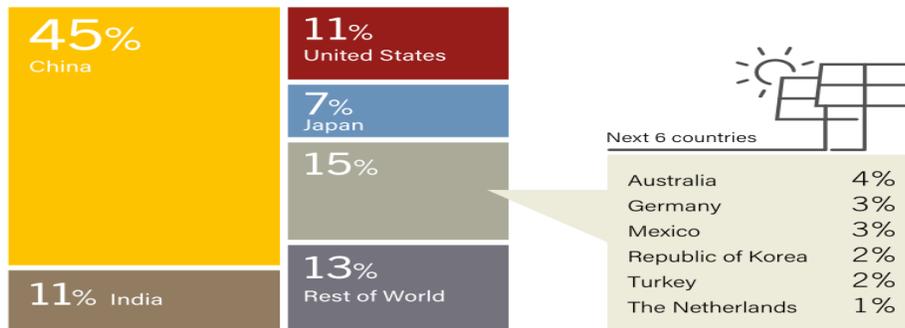


Figura 2. Países más avanzados en cuanto a potencia instalada en energía solar FV en el 2018 [2]

Otras de las tecnologías que ha mostrado un sostenido avance resulta el calentamiento de agua mediante colectores solares, la cual en el 2006 era de 124 GW y a doce años (2018) ya era de unos 480 GW. En esta tecnología China se ubica en el país de mayor avance representando el 74 % de toda esta potencia instalada [2].

Cuba es uno de los países que ha impulsado el tema del uso de las FRE para cambiar su matriz energética y responder de forma progresiva a la dependencia energética. Para entender el contexto del país, desde el año 2002 hasta el 2018 se ha manifestado un crecimiento en la generación de energía eléctrica bruta [3-5]. En el año 2002 esta generación fue de unos 15 698,8 GWh y ya para el 2018 alcanzó valores de 20 837 GWh como se puede ver a continuación en el gráfico de la figura 3.

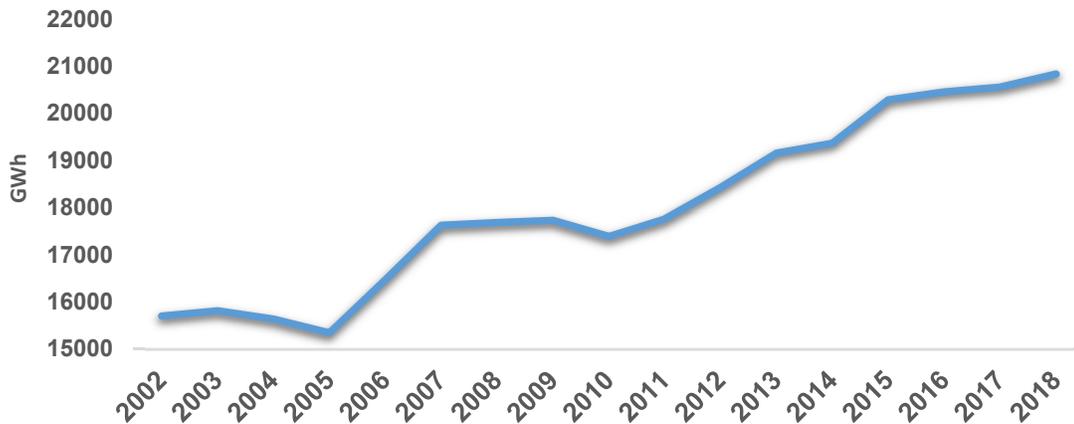


Figura 3. Generación bruta de electricidad en Cuba 2000-2018

Fuente: Elaboración propia a partir de informaciones en [3-5]

La política energética cubana ha estado encaminada, desde el triunfo de la Revolución, a la satisfacción de las necesidades de todos los cubanos sin ninguna excepción. Ya desde antes del triunfo revolucionario, en el Juicio por el asalto al Cuartel Moncada

(1953), Fidel plantea: *«llevar la corriente eléctrica hasta el último rincón de la Isla»*. Actualmente, más de 99,5 % de la población dispone de electricidad en sus hogares, contra 56 % en 1959 [3].

En la actualidad la política energética de Cuba se basa en los factores siguientes:

1. Proliferación de una cultura energética encaminada al logro de un desarrollo independiente, seguro, sostenible y en defensa del medioambiente.
2. Prospección, conocimiento, explotación y uso de las fuentes nacionales de energía, ya sean convencionales o no convencionales, con el objetivo primario de lograr la independencia energética.
3. Uso racional de la energía con el máximo ahorro en su uso final y la utilización de tecnologías de alta eficiencia.
4. Producción distribuida de la electricidad y cerca del lugar de consumo.
5. Desarrollo de tecnologías para el uso generalizado de las fuentes renovables de energía, con un peso progresivo en el balance energético nacional.
6. Participación de todo el pueblo en la Revolución Energética en Cuba.

Uno de los sectores en los cuales se ha visto reflejado las intenciones de la política energética lo constituye el sector educacional. Cuando se realizó el plan de electrificación en zonas aisladas, la totalidad de las escuelas enmarcadas en estas zonas fueron electrificadas, de ellas, más de 2300 por paneles fotovoltaicos en las montañas y lugares de difícil acceso [6]. Se llegaron a electrificar más de veinte escuelas que tenían un solo niño y el equipamiento de las mismas está formado por televisores, equipos de vídeo y computadoras. Este paso fue fundamental en la generalización de una enseñanza de alta calidad basada en los métodos pedagógicos más modernos.

La educación energética no es algo nuevo en Cuba. Desde hace varias décadas se llevan a cabo acciones en las escuelas y los medios masivos. En los años de la década del 70, las Patrullas Clic, compuestas por niños y adolescentes, llevaban a los hogares mensajes de ahorro de electricidad. Así comenzó a crearse una cultura energética popular en Cuba. La primera comparecencia televisiva para tratar el tema del ahorro de electricidad data de 1982 [7].

Independientemente de los programas de educación energética, cada entidad educativa debe realizar una gestión o administración de los recursos energéticos. La gestión energética como subsistema de la gestión, abarca en particular las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas [8]. Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Dentro del Ministerio de Educación una de las instituciones que destacan son los círculos infantiles, hoy existen unos 1130 círculos infantiles atendidos por más de 9 mil educadoras y aunque no cubren la demanda satisfacen las necesidades de más de 154 mil niños. La mayoría de los círculos infantiles son edificaciones hechas con losas de hormigón prefabricado (Tipo "Girón"), de diseño típico, con tanque elevado y cisterna que les permite disponer de agua las 24 horas y de manera que es apropiado para el aprovechamiento de la radiación solar [9].

A pesar de que la ubicación geográfica del país garantice condiciones veraniegas casi todo el año, es común el hábito de calentar el agua para el aseo personal. Un seis por ciento de la energía eléctrica que se genera anualmente en el país lo emplea la población en el calentamiento de agua [10]. Este consumo de electricidad, o directamente de combustible, implica un gasto económico y la emisión de contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, se puede calentar suficiente agua mediante los calentadores solares.

Con el uso de energías renovables se pretende que las fuentes de obtención actuales como el petróleo, el gas y el carbón pasen a un segundo plano. Se debe tener en cuenta que estas fuentes son recursos limitados y no distribuidos equitativamente por el planeta. Con el actual modelo energético las nuevas generaciones verían el agotamiento de esas fuentes, comprometiendo el desarrollo de la humanidad.

La **situación problemática** se resume de la siguiente forma: los sistemas de gestión energética en el sector educacional preescolar, no van más allá de acciones de control que permiten una administración de la energía y adolece de propuestas de soluciones

prácticas que permitan la integración de las FRE y un análisis de las informaciones energéticas con herramientas que favorezcan los procesos de toma de decisiones.

Así que, el **problema de investigación** se define como: la inexistencia de una propuesta que garantice los principales requerimientos energéticos del Círculo Infantil “Tierno Amanecer”, mediante el uso de las fuentes renovables de energía, donde se integren los aspectos técnico-económicos y las características físicas y de explotación de la instalación.

El **objeto de estudio** lo constituye el sistema energético del centro de educación preescolar “Tierno Amanecer” de Moa.

El **objetivo general** del trabajo es: fundamentar una propuesta para el suministro de energía con fuentes renovables, al centro de educación preescolar “Tierno Amanecer” de Moa.

El **campo de acción** de la investigación es: suministro de energía, con fuentes renovables al objeto de estudio.

Como **hipótesis** se plantea que, si se estudian los fundamentos básicos para el suministro de energía con fuentes renovables, al centro de educación preescolar “Tierno Amanecer” de Moa, entonces se podría implementar una propuesta que satisfaga las principales necesidades energéticas de electricidad y agua caliente sanitaria.

Como **objetivos específicos** se plantea lo siguiente:

- Determinar las características de un sistema fotovoltaico conectado a la red que permita el suministro de energía eléctrica a la instalación.
- Determinar las características de un sistema de agua caliente sanitaria que garantice los requerimientos de la instalación.
- Realizar un análisis técnico-económico que favorezca la generalización del uso de las FRE para el suministro energético en instituciones similares.

Las tareas de la investigación están relacionadas con:

1. Revisión del estado del arte relacionado con el uso de FRE en centros de educación preescolar.

2. Estudio de las demandas características de energía eléctrica y energía térmica en el centro de educación preescolar “Tierno Amanecer” de Moa.
3. Determinación del potencial de las FRE que se puedan usar en este tipo de institución.
4. Simulación del potencial de generación de energía eléctrica mediante el uso de un sistema fotovoltaico y el cálculo de colectores solares en el objeto de estudio.

Los métodos de investigación empleados se relacionan a continuación:

Método de compilación de conocimientos: mediante entrevistas, encuestas, intercambios de conocimientos y revisión de bibliografía, para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.

Método de investigación empírico: para contribuir a la descripción y caracterización del objeto de estudio y las principales regularidades de su fenomenología.

Método de análisis y síntesis: se emplea para determinar los factores claves que influyen en el adecuado diseño de una propuesta para la implementación de las energías renovables en el objeto de estudio analizando los nexos internos y las dependencias recíprocas.

Métodos de modelación y simulación: para facilitar la evaluación computacional del potencial de generación de las tecnologías solar fotovoltaica y solar térmica, adaptadas al objeto de estudio.

Métodos de evaluación económica: para determinar la factibilidad de generalización de la propuesta de presentada.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

1.1. Introducción del capítulo

El consumo de energía en las diferentes instituciones educacionales en Cuba esta caracterizado por dos elementos fundamentales, las asignaciones que se hacen por los Ministerios de Educación y el Ministerio de Educación Superior en correspondencia con las disponibilidades existentes y por las características propias de cada uno de los centros. El objetivo del presente capítulo es sistematizar los elementos que caracterizan el comportamiento energético de instituciones educativas, principalmente en el contexto nacional, a partir de un análisis adecuado de los trabajos presedentes, insertando en el análisis las potencialidades del uso de las fuentes renovables de energías en este contexto.

1.2. Comportamientos energéticos de instituciones educacionales

Actualmente el mundo se enfrenta ante el reto de combatir el cambio climático, al mismo tiempo que persigue el crecimiento económico y una distribución equitativa de la riqueza. De ahí, el papel fundamental que desempeña el sector energético en el desarrollo económico y social de un país. Por lo tanto, resulta fundamental cambiar la forma en que los países producen y consumen la energía para así garantizar un futuro más sustentable [11]. A continuación, se exponen algunas acciones desarrolladas en instituciones educacionales foraneas mediante programas consevidos al respecto.

Jhon y Solano (2016), definen que a nivel mundial el consumo de la energía va en aumento a razón del crecimiento de la población, la creación de industrias y en muchos casos un mal uso de ella, y afirman que existen pocos estudios realizados en las instituciones educativas sobre el uso eficiente de la energía [12].

El desarrollo experimentado por los Campos Universitarios en los últimos años, ha provocado un importante incremento de los consumos energéticos de las instalaciones de los edificios universitarios. Una de las estrategias para gestionar el consumo energético ha sido la implementación de medidas de ahorro ya sea con el empleo de métodos convencionales, hasta variantes de energías renovables y limpias para acabar con el sobre consumo eléctrico [13].

Las universidades europeas iniciaron experiencias en el marco de la responsabilidad social en torno al 2000 que se multiplicaron a mediados de la década. En Reino Unido surgen las propuestas de “HE21” (colección de buenas prácticas (1999-2000), “HEPS” (Asociación de 18, Universidades para la sostenibilidad financiada por el Ministerio de Educación, 2000-2004) o el Learning for Sustainable Development Action Plan (2005), “Aprendizaje para la sostenibilidad” programa intersectorial (educación formal y no-formal desde preescolar hasta las universidades) apoyado por cuatro ministerios (2002-2006). Por otra parte, en Holanda se propone el “Aprendizaje para la sostenibilidad”, un programa intersectorial (educación formal y no-formal desde preescolar hasta las universidades) apoyado por cuatro ministerios (2002-2006).

Más allá del contexto europeo, en Estados Unidos se presentaba el programa “New Jersey HEPS” (asociación de 34 instituciones de educación superior con financiación privada y pública, 2001-2005), en Nueva Zelanda se trabajaba en el “Learning and education for sustainability” (Informe del departamento de medioambiente, 2004) y a ellas se unían iniciativas internacionales como “Década para la Educación para el desarrollo sostenible” (2005-2015) (Naciones Unidas, UNESCO), Global Higher Education for Sustainability Partnership (UNESCO, IAU, ULSF), Global University Network for Innovation (GUNI), European Academy for Business in Society (EABIS) o la aparición de Centros de Excelencia en Educación para el Desarrollo Sostenible (UPC, ESADE) [13].

Las universidades se convertían en plataformas idóneas desde las que, a partir del desarrollo del conocimiento, trabajar en tres sentidos: generando el conocimiento para la medición de la sostenibilidad que permita la toma de decisiones políticas (en materia social, económica o ambiental), aplicando modelos para su propia sostenibilidad, y tercero, inspirando, animando y construyendo un marco valorativo educativo sensible a esa cultura.

La Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, no está ajeno al contexto energético internacional y nacional, presentando elevados consumos de energía eléctrica de aproximadamente 44,5 MWh mensuales como promedio. La Universidad de Moa ocupa el lugar 49 de las 61 empresas más consumidoras de energía en la

provincia de Holguín. En la Universidad de Moa, particularmente el área de residencia, por las características de sus cargas, el estado técnico de sus circuitos y la insuficiente gestión energética han sido factores decisivos en el comportamiento de la demanda y el consumo de electricidad [14].

El análisis de estas referencias bibliográficas indica que mayoritariamente los programas de mejoras energéticas, que incluyen o no el uso de las FRE, se manifiestan en mayor medida en instituciones de educación superior, en donde coinciden la generación del conocimiento y la aplicación práctica de los mismos en función de mejor gestión energética con un enfoque sostenible.

1.2.1. Estudios energéticos en instituciones educativas en Cuba

Han sido diversas las aplicaciones de las fuentes de energía solar térmica y fotovoltaica en Cuba. A medida que se amplía el desarrollo económico, igual lo hace el desarrollo social y a su vez la cultura sobre energías renovables. La implementación de FRE en Cuba inicio en zonas rurales, principalmente en escuelas y consultorios, así como en la industria agrícola, donde se lograron exitosos resultados. El turismo se convirtió también en otro campo de aplicación mediante el uso de Sistemas de Agua Caliente mediante el uso de calentadores solares. Aunque no existe un estudio o proyecto para la implementación de estas tecnologías en el sector residencial de nuestro país, resulta imperativo su uso y generalización. Según un estudio realizado por [15], presidente de CUBASOLAR: “aprovechando las características climatológicas y geográficas de nuestro archipiélago, se podrían explotar de mejor manera las tecnologías de fuentes de energía solar. Aunque su inversión presente un costo elevado, tiene una rápida recuperación” [15].

En nuestro país se han realizado diversas investigaciones sobre la energía solar, financiadas principalmente por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), perteneciente al Ministerio de Ciencia e Innovación (España), con el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) y el anterior Ministerio de Industria Básica (MINBAS) de Cuba. Una de estas es la planeación de las fuentes renovables de energía en el municipio Guamá de

Santiago de Cuba, donde se proyectó el uso variado de los módulos solares para mejorar la vida rural en todas las esferas residenciales.

Actualmente se desarrolla la implementación de varios campos de paneles fotovoltaicos para suplir la necesidad energética de diferentes regiones. Por ejemplo a través de entrevistas a expertos en el área que radican en GeoCuba se obtuvo la información que en la provincia Holguín se realizan estudios para la implementación de 23 parques fotovoltaicos en la investigación y desarrollo de las celdas solares se trabaja en el Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) de la Universidad de La Habana, y se tiene una tecnología propia para la fabricación de celdas solares de silicio monocristalino con 12 a 13 % de eficiencia de conversión, a partir de obleas de silicio importadas. Un punto a resaltar es la experticia alcanzada por investigadores de la Universidad de La Habana, los cuales ha realizado estudios sobre celdas solares desde hace más de 30 años [15].

Los investigadores del IMRE han trabajado en conjunto con la Empresa de Componentes Electrónicos Che Guevara de Pinar del Río y el Combinado para la Exportación de Tecnología Electrónica (COPEXTEL) de Ciudad de La Habana para la introducción de esta en una línea de producción de celdas solares. COPEXTEL ha recibido financiamiento para la compra de equipos e insumos del crédito comercial otorgado a Cuba por la República Popular China, para reconvertir la línea de circuitos híbridos en una línea de producción de celdas solares. El Combinado de Componentes Electrónicos de Pinar del Río ha establecido una asociación económica con una empresa alemana para la producción de celdas solares de silicio. Los pasos anteriores forman parte de la estrategia del SIME para el desarrollo de esta actividad en el país [16].

De acuerdo con la Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba posee 7 624 Sistemas Fotovoltaicos (SFV). Con estos se han electrificado objetivos sociales en zonas montañosas y apartadas de la red eléctrica, incluyendo 460 consultorios del médico de la familia, 1 864 salas de televisión y 2 361 escuelas rurales, entre otros. La mayoría de las señales luminosas marítimas que se emiten en el archipiélago cubano emplean energía solar fotovoltaica. Existen dos sistemas conectados a la red eléctrica: uno en

el Museo de Ciencias Naturales de Pinar del Río y otro en el Centro de Estudios Solares en Bartolomé Masó, Granma [17].

1.2.2. Los portadores energéticos y uso final de la energía

La base energética del país está caracterizada por la alta dependencia del petróleo. Gran parte de este petróleo es importado, representando actualmente el 53 % del total. Desde el año 2000 se produce una mayor parte de crudo en el país realizando un aprovechamiento de los gases derivados, sobre todo para el aprovechamiento en el sector residencial con el objetivo de sustituir los viejos equipos ineficientes de cocina y calentamiento de agua, ya que se trata de grandes consumidores de electricidad.

De todo el petróleo consumido, un 45 % va destinado a la producción de electricidad, puesto que Cuba no dispone de ningún sistema alternativo predominante para la producción de electricidad, sino que se basa en viejas centrales termoeléctricas que funcionan con fuel oil [18].

Los portadores energéticos que se consumen en la Universidad de Moa, están relacionados principalmente con la Electricidad, el Fuel Oil, el Diesel y la Gasolina. En menor importancia se localiza el Gas Licuado del Petróleo (GLP), la leña y los lubricantes.

El consumo energético del sector residencial se ha caracterizado antes del año 2005 por el uso de derivados del petróleo, principalmente queroseno, gas licuado, combustibles de origen vegetal (leña y carbón vegetal) y gas manufacturado, para satisfacer las necesidades térmicas del hogar (cocción, calentamiento de agua), y de electricidad, para iluminación, refrigeración, acondicionamiento de espacios y otras necesidades del hogar. Es a partir del año 2005, que comienzan a elevarse los niveles del uso de la energía eléctrica relacionado con las tareas de cocción de alimentos y calentamiento de agua, por la venta a la población de cocinas eléctricas y módulos para cocinar y calentar el agua, los cuales permiten que se sustituya el uso de los portadores tradicionales por la electricidad. El aumento del consumo de la energía eléctrica ha dependido del incremento en la generación de electricidad, basada fundamentalmente en plantas termoeléctricas a las que se han incorporado nuevas

fuentes generadoras (grupos electrógenos) y la disminución en las ofertas de otros portadores [19].

En la figura 1.1 se puede observar el aumento del consumo de energía eléctrica en sector residencial que va desde el año 2002 hasta el 2018.

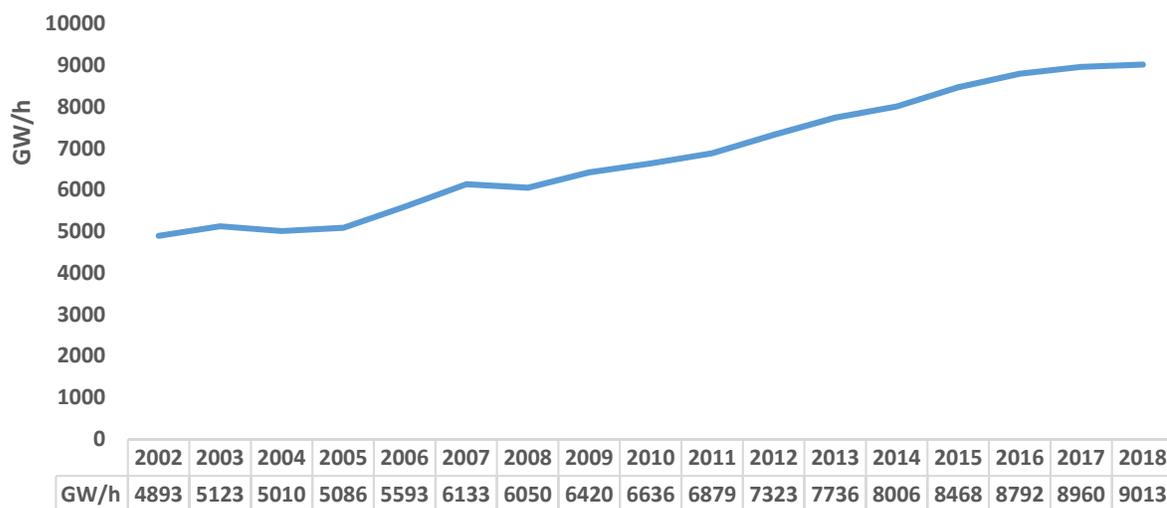


Figura 1.1. Consumo energético en el sector residencial cubano. **Fuente:** Elaboración propia a partir de informaciones en [3-5]

Como resultado, el petróleo es la energía primaria predominante con diferencia al juntar su uso para la producción de electricidad y transporte dentro del país, produciendo grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y gases contaminantes como el azufre (S). Esto es debido a la gran cantidad de azufre presente en el petróleo de producción cubana [18].

1.3. Gestión energética y sus particularidades en instituciones educativas

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas [8].

La gestión energética puede concebirse como un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de los recursos energéticos. Esto es, lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio de la comodidad, productividad, calidad

de los servicios y, de un modo general, sin reducir la calidad de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de conservación de energía y medio ambiente, tanto desde el punto de vista de la propia empresa como en el nivel nacional [20].

La gestión energética deberá contribuir a establecer objetivos a corto, medio y largo plazo encaminados a conseguir la optimización en el uso de los recursos energéticos y de sus técnicas:

- Uso de fuentes de energías renovables.
- Sustitución de algunas fuentes de energía.
- Análisis del ahorro energético de las acciones realizadas.
- Aislamiento térmico.
- Aprovechamiento de residuos.
- Análisis del entorno ambiental.
- Estudio de técnicas nuevas de producir y ahorrar energía.
- Análisis económico de la gestión.

Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

En los últimos tiempos el crecimiento de los costos energéticos ha pasado a ser parte preocupante y creciente dentro de los costos de producción y los métodos tradicionales de administración de los recursos energéticos no logran bajarlos sin realizar grandes inversiones en cambios de tecnología. Existe un camino de baja inversión que logra reducir y controlar los costos energéticos actuales en la industria y los servicios [21].

Gerenciar la eficiencia energética significa identificar donde están las pérdidas energéticas del sistema que impactan los costos, clasificar estas pérdidas en relativas a los procedimientos y a la tecnología, establecer y monitorear en tiempo real, indicadores de eficiencia que permitan controlar y reducir las pérdidas relativas a los procedimientos, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de las pérdidas relativas a la tecnología y contar con un plan estratégico a corto, mediano y largo plazo con metas alcanzables y entendidas por todos los actores claves. Tiene

un objetivo final: lograr la máxima reducción de los consumos energéticos, con la tecnología productiva actual de la empresa y realizar los cambios a tecnologías eficientes en la medida que estos sean rentables de acuerdo a las expectativas financieras de cada empresa [22].

1.3.1. Programas de educación energética en instituciones educativas

El 4 de diciembre de 1984, en la clausura del Primer Fórum Nacional de Energía, el máximo líder de la Revolución Cubana, Fidel Castro, insistió en la necesidad de una cultura energética popular: «Todo nuestro pueblo, todos los trabajadores, todos nuestros jóvenes, nuestros estudiantes. Incluso, nuestros pioneros tienen que tomar conciencia de la energía, de sus perspectivas futuras, y preguntarse cómo vamos a producir electricidad, vapor y transportaciones en el futuro. Esa pregunta tiene que hacérsela hasta los niños, en nuestro país más que en cualquier otro país» [7].

El Programa Docente Educativo de Ahorro de Energía del Ministerio de Educación (PAEME) tiene alcance nacional y se inició en 1997. Surgió como componente educacional del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), y ha llevado la cultura energética a todas las escuelas del país. Coordinado por el Ministerio de Educación y la Dirección de Uso Racional de la Energía de la Unión Eléctrica, el PAEME ha sido un programa exitoso que ha contribuido a formar una cultura energética en los niños, adolescentes y jóvenes de todo el país.

El PAEME ha cumplido sus objetivos. Su mayor impacto está en la Primaria. Así lo demuestran los trabajos presentados por los niños. En Secundaria Básica los resultados son buenos, pero no como en Primaria. Los avances más discretos del PAEME son los de la enseñanza Media Superior. No hay una incorporación masiva del alumnado a las diversas formas de trabajo científico estudiantil que tributen a su propia cultura energética. Este es uno de los retos actuales de la educación energética en nuestro país [7].

1.4. Planes de estudio y su relación con la enseñanza de la energía

El Ministerio de Educación, específicamente en los niveles de Prescolar, Primaria y Especial, Secundaria y Media Superior, el tema de las fuentes renovables de energía se aborda como un tema de conocimiento general. Y, por tanto, en la Educación

Primaria y Especial, específicamente en los grados 3ro, 4to, 5to y 6to, en la asignatura de Ciencias Naturales, se aborda el tema de las fuentes renovables de energía, con materiales didácticos elaborados específicamente para esos grados y para los profesores que imparten la materia, con información sobre las medidas de ahorro y eficiencia energética que hay que tener en cuenta, tanto en la escuela como en la vivienda, junto a la familia y la comunidad, y que contribuyen a la protección del medio ambiente. Esta asignatura por tanto está orientada a facilitar la formación de los educandos en los temas relacionados con la educación energética y la educación ambiental [23].

Es también necesario señalar que la Organización de Pioneros “José Martí” (OPJM), organización de la sociedad civil cubana que agrupa a los pioneros, tiene establecidos en cada municipio del país, Palacios de Pioneros, donde se reciben talleres de formación, encuentros con especialistas de diferentes ramas de la economía, actividades prácticas, círculos de interés, concursos de participación, actividades extra curriculares que contribuyen a la orientación vocacional; y en el caso del tema de la eficiencia energética y las fuentes renovables de energía, se han realizado un grupo importante de actividades, impulsadas por la Dirección de Uso Racional de Energía (DURE, hoy convertida en ONURE), de la Unión Nacional Eléctrica [24], perteneciente al entonces Ministerio de la Industria Básica (MINBAS, hoy Ministerio de Energía y Minas), y el Programa de Ahorro de Energía del Ministerio de Educación (PAEME), programa creado con el objetivo de formar en los educandos una conciencia energética en el marco del desarrollo sostenible [23].

En la Enseñanza Secundaria, en el grado 7mo, se incluyen los elementos básicos sobre el uso de las fuentes renovables de energía, en la asignatura de Ciencias Naturales, con el enfoque de que el ahorro de energía es vital para la protección del medio ambiente. En el caso de los grados 8vo y 9no, en la asignatura de Física se imparte el tema de la energía, como concepto general, su utilización, transmisión, transformación y obtención, las formas principales de energía, como se aplican las diferentes leyes (movimiento, fuerza, inercia, masa, cuerpos, trabajo, calor, radiación) mediante ejemplos prácticos. A esto se une la investigación, realización de actividades

prácticas, seminarios y talleres sobre las medidas de ahorro de energía y el uso de las fuentes renovables de energía [23].

En la Enseñanza Media Superior, en la asignatura de Física se continúa profundizando los elementos básicos sobre el tema de la energía, sus formas principales, y se vincula al resto de las leyes físicas que se les van introduciendo en ese nivel de enseñanza y también se relaciona con el uso de las fuentes renovables de energía. Los estudiantes de este nivel, como actividad fundamental de orientación vocacional tienen las llamadas “Puertas Abiertas”, encuentros que realizan las Universidades y sus facultades para que los educandos valoren sus posibilidades de estudiar alguna de las carreras universitarias que se imparten en sus territorios [23].

La Enseñanza Técnico – Profesional se encarga de la formación de Técnicos Medios y Obreros Calificados. Hay perfiles definidos como, por ejemplo: Técnico Medio en Electricidad, Técnico Medio en Informática, Técnico Medio en Mecánica y Técnico Medio en Construcción Civil.

En este nivel de enseñanza puede valorarse la inclusión de otro perfil profesional, ya sea Técnico Medio u Obrero Calificado, para laborar con las tecnologías relacionadas a las fuentes renovables de energía, sobre todo en la operación y en el mantenimiento de las instalaciones, perfil que debe permitir formar personal que sepa asimilar cualquiera de estas tecnologías y trabajar con ellas, según el Programa de Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía del país que se debe elaborar para el corto, mediano y largo plazo, y que debe incluir a su vez el desarrollo local [23].

En la enseñanza Superior, los temas de energías alternativas, se imparten en todas las carreras de ciencias técnicas, ya sea desde el currículo estatal, el propio o desde el optativo – electivo, según las necesidades del modelo profesional y de los objetivos educativos e instructivos que deben cumplirse. Todas las universidades del país donde se imparten carreras de ciencias técnicas han incorporado este tema teniendo en cuenta las necesidades de los organismos empleadores:

- Ingeniería Eléctrica - Ingeniería Eléctrica I, Motores Primarios para la generación eléctrica, Electrónica de Potencia II, Tratamiento de Residuales y Máquinas Hidráulicas.

- Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica - Ecología y Medio Ambiente.
- Arquitectura - Diseño Arquitectónico y Urbano, Acondicionamiento Ambiental y Introducción a la Construcción.
- Agronomía - Mecanización Agropecuaria y Elementos de la Agroecología.
- Ingeniería Agrícola - Energía Agrícola, Termotecnia, Fuentes Energéticas, Sistemas de Ingeniería Agrícola y Administración de Sistemas de Ingeniería.
- Ingeniería Termonuclear - Fundamentos de las energías renovables.
- Ingeniería Biomédica - Instrumentación Biomédica y Fundamentos de las energías renovables.
- Ingeniería Hidráulica - Instalación en Edificaciones, Energías Renovables para el riego a pequeña escala, Energía Sostenible y Fundamentos de las energías renovables.
- Ingeniería Mecánica - Energía Solar Térmica y Fotovoltaica y Fundamentos de las energías renovables.

Las FRE existentes en Cuba como la eólica, solar térmica y solar fotovoltaica pueden ser aprovechadas en un menor o mayor grado en las instituciones educativas. Ejemplos de ellos son los trabajos realizados por: (Alberto, (2019)), (Ramírez, (2017)) y (Osorio y Reineris, (2016)) [18, 25, 26].

1.4.1. La implementación de FRE en instituciones educativas

Los programas aprobados en la política para el desarrollo prospectivo de las Fuentes Renovables y el uso eficiente de la energía hasta el 2030, comprenden la instalación de nuevas tecnologías, para lo cual se requiere la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación. Se impone fortalecer el vínculo entre el Sistema Empresarial, responsable de la ejecución y explotación de las diferentes tecnologías de fuentes renovables y la Eficiencia Energética, y las Universidades.

En este sentido se deberá promover esfuerzos conjuntos mutuamente beneficiosos, tales como:

1. Continuar avanzando en la categorización de especialistas del sistema empresarial para que participen en la formación de los estudiantes universitarios de carreras afines y de otras especialidades.

2. Incorporar al sistema empresarial en la actualización de los planes de estudio de las carreras afines.
3. Insertar estudiantes y profesores en la ejecución del programa de inversiones aprobado en la Política.
4. Proponer soluciones técnicas y facilitar las aplicaciones prácticas de los resultados de las investigaciones, en correspondencia con las prioridades.
5. Participar con la industria nacional en el desarrollo de proyectos prototipos y en la mejora de sus producciones.
6. Incrementar las actividades de capacitación y posgrado en temas relacionados con el aprovechamiento de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.
7. Elaborar libros, manuales y textos técnicos para cada tecnología.

Como parte para el plan del 2019, se tienen como prioridad la instalación de parques solares fotovoltaicos de **1 MW** en las ciudades de (**Cienfuegos, St. Spiritus, Combinado Mecánico de Moa, Las Tunas, Holguín, Santiago de Cuba, Cujae**, y en el **CIPEL** le corresponde **0,5 MW**). Es una indicación del Presidente, de los Consejos de Estado y de Ministro, ver las medidas adecuadas para la ejecución del plan [27].

El ingeniero eléctrico Alexander Leyva informó en la oriental provincia cubana de Holguín que la colaboración de las autoridades de Educación del territorio y las organizaciones no gubernamentales Cubasolar y Luxemburgo-Cuba facilitaron el ensamble y colocación de 40 calentadores solares en círculos infantiles, escuelas especiales y casas de niños sin amparo familiar. El experto explicó al periódico Granma que lo hecho se corresponde con la primera parte de un proyecto asumido por esas entidades para el paulatino restablecimiento de la línea de agua caliente en esos centros [28].

"Debidamente respaldada por las regulaciones de los procesos inversionistas, la colocación de los calentadores solares se aprecia en instalaciones educativas de los municipios de Holguín, Mayarí y Calixto García, y queda por emplazar en el círculo infantil Rayitos de Sol, del municipio de Urbano Noris, una batería de seis unidades", aseveró [28].

El jefe de los programas de desarrollo de fuentes renovables de energía en la Empresa Eléctrica de Holguín puntualizó que la fase inicial del proyecto, del cual es uno de los coordinadores, cuenta con 105 000,00 euros aportados por la mencionada organización no gubernamental europea [28].

Son diversos los trabajos desarrollados y enfocados hacia las energías renovables en la educación. Para nuestro interés, cabe mencionar algunos trabajos que se enmarcan en el propósito de resaltar la importancia de la enseñanza de las energías renovables en la educación básica, media y superior; propuestas que brindan herramientas que le permiten al docente orientar sus metodologías y modelos utilizados para enseñar estas temáticas. Se describen algunos de los trabajos consultados enfocados hacia este tipo de investigaciones:

Miranda (2014), se divide en dos partes. En la primera parte se realiza una investigación teniendo en cuenta la importancia que tienen los libros de texto de enseñanza de las ciencias para conocer de qué forma se abordan esas temáticas (Fuentes renovables de energía), qué contenidos se trabajan y con qué profundidad en cuanto a actividades e imágenes empleadas en dichos textos. La segunda parte desarrolla una serie de actividades diseñadas (ejercicios y experimentos) exclusivamente para que el docente y el estudiante sean partícipes en el proceso enseñanza-aprendizaje de forma significativa adquiriendo conocimientos, habilidades y actitudes en el desarrollo sostenible del medio ambiente [29].

Jenny y Jessica (2018), proponen una propuesta didáctica implementada en secundaria en donde su elemento principal es la construcción de un panel solar térmico para el uso doméstico por medio de una planificación de sesiones en el aula que cuentan con una serie de actividades que contemplan competencias básicas que debe desarrollar el estudiante ya establecidas por la Educación Secundaria Obligatoria de ese país y contenidos propios de algunas disciplinas (como Física y Tecnología). Además, en estas actividades se propone la elaboración de un póster informativo sobre energías renovables y mostrar algunas experiencias del proyecto del panel solar [30].

El Ing. Delgado y Ing. Guerrero (2014), presentan los resultados más relevantes del estudio de factibilidad técnica-económica para la introducción de un sistema de generación fotovoltaica en el Centro de Inmunología Molecular (CIM), teniendo en cuenta sus aplicaciones y los beneficios energéticos-ambientales que proporcionan. La generación de electricidad a partir de energía solar es sin duda una opción para generar energía eléctrica, lo que puede tener un gran impacto económico para el país. Otra opción para ser evaluado es el ahorro de energía que se puede lograr a través de este tipo de tecnología en las empresas y plantas industriales donde sea implementada. Se realiza una estimación y comparación de los costos en función de la potencia generada para 6 variantes, teniendo en cuenta los intereses bancarios que oscilan entre 6 % y 10 %, así como el precio anual de energía puede experimentar aumentos anuales de entre 1 % y 2 %. Además, se determina mediante el programa Cehomer, la factibilidad de la implementación de sistemas de ahorro energético basados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Se obtiene los costos totales de la inversión inicial y se comparan con los costos de la energía, y el retorno de la inversión para diferentes casos de estudio propuesto, así como el análisis técnico y económico, resultados y conclusiones [31].

Ruedas y Contreras (2015), tienen como meta principal proponer algunas estrategias que hagan viable y efectivo el uso de la energía solar en los colegios de Colombia [32].

Aldana (2015), simula un sistema fotovoltaico integrado a un edificio con tecnología de silicio amorfo en mantas flexibles. Esta tecnología es de reciente inserción en el contexto de las fuentes renovables de energía en Cuba. Como caso de estudio se eligió la cubierta horizontal del edificio Docente # 2 de la Universidad de Moa. Mediante el empleo del software PVsyst v6.12 se logra una mayor precisión en los cálculos; se realiza el dibujo en 3D del escenario; se determina el factor de rendimiento y las diversas pérdidas asociadas al sistema en relación con la temperatura, sombras, cableado, potencia electrónica e incidencia de la modificación del ángulo de inclinación. Como resultado significativo se obtuvo una producción anual de energía de 89942 kWh inyectados a la red, a través del empleo de 450 módulos fotovoltaicos; se determinó el impacto medioambiental y valoración económica de la instalación [33].

Diéguez (2015), realiza una investigación donde se analiza el desempeño energético de dos sistemas fotovoltaicos de 3 kWp cada uno. Para el primer caso se emplean módulos de silicio amorfo de 144 Wp, que forman parte de un sistema de impermeabilizantes de reciente inserción en Cuba. En el segundo caso se emplean módulos de 250 Wp de silicio monocristalinos. Con la ayuda del software PVsyst se determinó la producción de energía eléctrica y pérdidas asociadas a la variación de irradiancia y temperatura, sombras, cableado, potencia electrónica de distintos elementos y Modificación del Ángulo de Inclinación. El gráfico 3D del escenario de la instalación, permitió conocer que las pérdidas por sombreado no son significativas y están ubicadas antes de las 9:00 a.m. y después de las 5:00 p.m. El Factor de Rendimiento en ambos casos está por encima de 76 % con pérdidas globales de inferiores al 24 % evidencia la efectividad de la instalación simulada. La energía total entregada por el sistema de silicio amorfo a la red es de 4004 kWh/año y por el sistema de silicio policristalino de 4390 kWh/año, suficiente para satisfacer la potencia instalada de la Universidad de Moa [34].

En todos estos trabajos que se a realizado en diversas áreas o instituciones educacionales, son poco los programas o estudios específicos de FRE para los centros de educación preescolar.

1.5. Energía solar fotovoltaica y su conexión a la red

En solo una hora el Sol suministra más energía a la Tierra que la que se consume en un año en todo el mundo. Sobre la base de la tecnología fotovoltaica, la luz solar se puede convertir en electricidad directamente hacia los diferentes campos de aplicación. Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas: las conectadas a la red (on-grid), que entregan electricidad a la red eléctrica, y las aisladas que son instalaciones fotovoltaicas alejadas de la red eléctrica. Esta es una tecnología que ha avanzado notablemente en los últimos años [35]. Si bien en 1970 la eficiencia de una celda solar no excedía 9 %, actualmente llegar a 21 % de eficiencia. El costo del kWp ha descendido de 50,00 USD/kWp hasta menos de 2,00 USD/kWp.

La aplicación de la energía solar fotovoltaica más usada es la generación de electricidad, aunque también se puede emplear en la desalinización de agua, bombeo,

protección catódica, señales ferroviarias, teléfonos móviles, refrigeración remota, etc. Grandes avances se han logrado en lo que respecta al almacenaje de la energía [35]. En Cuba, la radiación solar alcanza unos 5 kWh/m² diarios (1 825 kWh/m² al año), distribuida en todo el territorio nacional, por lo que se califica de buena comparada con otras regiones europeas en las que esta fuente tiene un alto nivel de aplicación. La radiación solar varía tan poco que se estima menor de 8% en más de 97% en todas las zonas de la isla. En la figura 1.2 se puede observar la radiación que incidente en Cuba [35].

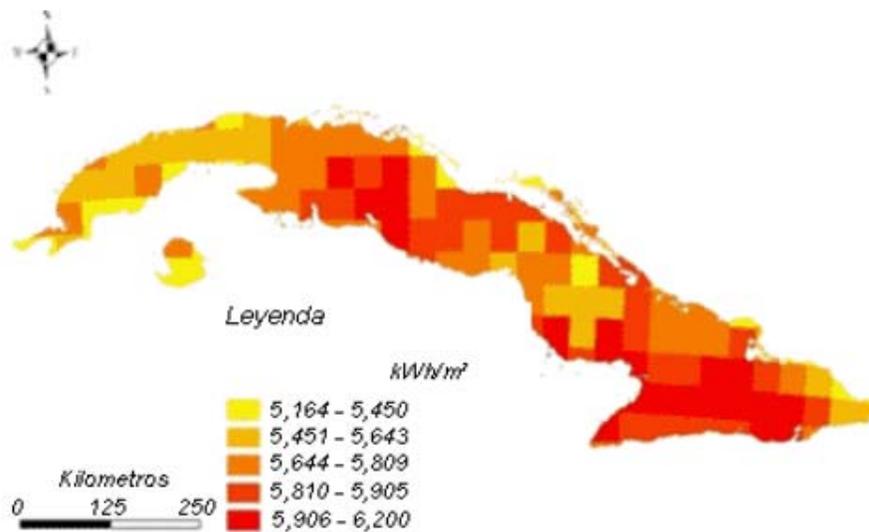


Figura 1.2. Radiación solar global promedio diaria de Cuba [36]

1.5.1. Energía solar fotovoltaica conectada a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, ofrecen la posibilidad de generar cantidades significativas de electricidad no contaminante de alto valor comercial. El mercado mundial de este tipo de tecnología aumenta considerablemente y es dividido en tres clases de aplicaciones sociales:

- Instalaciones fotovoltaicas para el sector doméstico (entre 1 kWp y 5 kWp).
- Integración fotovoltaica en edificios comerciales e industriales (entre 10 kWp y 250 kWp).
- Plantas fotovoltaicas centralizadas (entre 100 kWp - 5 MWp).

En un sistema fotovoltaico conectado a la red, esta actúa como medio de almacenamiento evitando la necesidad de utilizar baterías. Salvo en el caso de las

grandes plantas fotovoltaicas que solo inyectan energía en la red, este tipo de instalaciones suele establecer un contrato bidireccional con la compañía eléctrica, de forma que se pueda recibir o ceder energía en función de las necesidades de cada momento [37].

La diversificación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de los centros de carga en el modo de la generación distribuida, garantizando adecuados niveles de eficiencia energética, debe ser una de las actividades priorizadas en esta fuente renovable de energía, la cual debe realizarse con un aporte importante de componentes nacionales, aprovechando la capacidad de producción de la fábrica de componentes electrónicos de Pinar del Río. Estas tecnologías se prevén para un ciclo de vida útil de 25 años, generando electricidad de forma eficiente, con capacidad para aprovechar el potencial solar disponible en todo el territorio, pudiendo aportar durante el ciclo de vida útil por cada MW de potencia un total de 38 750 MWh, que representa un ahorro de más de 2,5 millones de USD solo por concepto de combustible, dejando de emitir 127 875 toneladas de CO₂ a la atmósfera. Se ha demostrado que el costo del kWh fotovoltaico es menor que el kWh producido con combustibles fósiles, de acuerdo con los precios actuales de estos últimos. Según estimados de especialistas cubanos en el tema, con 100 km² se pudieran generar 15 000 GWh/año, lo que se iguala con la generación actual a base de combustibles convencionales. Estas instalaciones pudieran ubicarse en terrenos, techos, cubiertas, bordes de autopistas, etcétera [35].

1.5.2. Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos (FV) son un conjunto de celdas solares que transforman la energía del sol en electricidad útil que puede utilizarse en todo tipo de edificaciones, aplicaciones e industrias. Cualquier aparato eléctrico puede operarse con energía solar, desde simples focos hasta enormes máquinas, solamente es cuestión de diseñar e instalar el sistema adecuado para ello.

A medida que el costo de la energía sube y el calentamiento global se incrementa es cada vez más importante el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, para generar energía limpia y sustentable. Para poder aplicarla de forma efectiva y a bajo

costo es indispensable conocer los pormenores y contar con información de calidad. En la figura 1.3 se muestra el panel fotovoltaico hecho en Pinar del Río.

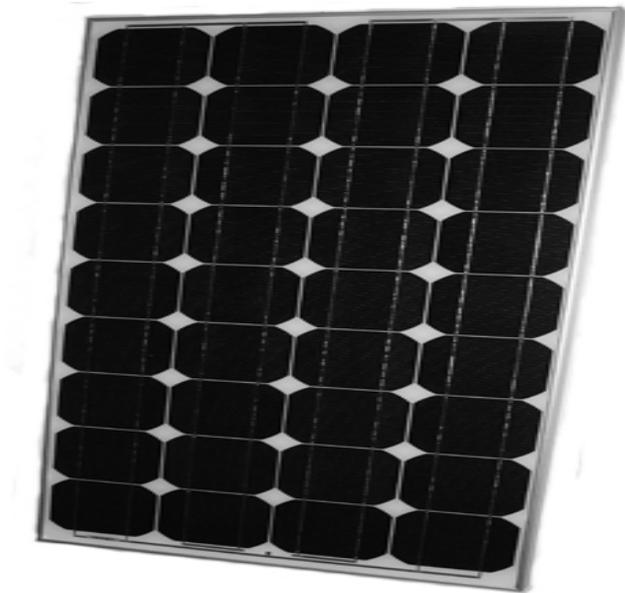


Figura 1.3. Panel solar FV de Si-m hecho en Pinar del Río [16]

En esencia existen 4 tipos: los monocristalinos, que consisten de celdas solares hechas a partir de un solo cristal de silicio, los policristalinos que consisten de una combinación de varios cristales de silicio, los amorfos y los paneles de película delgada.

1.5.3. Inversores

Los inversores son dispositivos electrónicos utilizados tanto en sistemas autónomos como en los conectados a red para convertir la corriente continua en alterna para inyectar a la red o para ser utilizada por aparatos de consumo, que como se conoce requieren de corriente alterna.

1.6. Energía solar térmica

Las instalaciones solares térmicas transforman la energía del Sol en calor. La tecnología de producción de agua caliente a partir del Sol ha evolucionado desde los simples colectores solares planos, hace más de 40 años, hasta los modernos colectores de tubos al vacío. En China y en Taiwán se concentra la producción de calentadores solares, con 80% de la producción mundial. Le siguen Europa, India, Japón y Estados Unidos [35].

Como se mencionó anteriormente, sobre cada metro cuadrado de suelo cubano inciden 5 kWh diarios. El consumo de agua caliente de una vivienda cubana es de 80-100 L a 45 °C diarios, para lo que se requiere una energía eléctrica que es menor de 3 kWh, por lo que la energía solar incidente por metro cuadrado es superior a este valor. Por tanto, este gasto de electricidad se puede satisfacer con un metro cuadrado de colector solar. El empleo del agua caliente solar en instalaciones industriales, edificios sociales y turísticos traería ahorros apreciables de electricidad y otros portadores energéticos no renovables. En el 2008 se puso en funcionamiento una fábrica de calentadores solares de tubos al vacío en la ciudad de Morón, en la cual se producirán más adelante calentadores solares planos y de tipo compacto. Es indudable que el calentamiento solar presenta ventajas económicas que lo hacen una tecnología viable para las condiciones cubanas [35].

1.6.1. Calentadores solares

El calentador solar es el elemento que recibe la radiación y la transforma en energía térmica, para después enviarla al siguiente paso del proceso, generalmente algún dispositivo acumulador o al consumo directo. En el mercado mundial existen, principalmente, tres tipos de calentadores solares para uso doméstico:

- Calentador solar plano con tanque-termo.
- Calentador solar de tubos al vacío con tanque-termo: termosifónicos, o de tubos calóricos.
- Calentador solar compacto.

En el anexo # 2, se observa una comparación entre los calentadores solares anteriormente descritos, la cual tiene en cuenta, entre otros aspectos, la eficiencia, la temperatura de trabajo y los gastos de mantenimiento. Sobre la base de este se llega a la conclusión que, para su aplicación en las viviendas multifamiliares, círculos infantiles, entre otros, el tipo de calentador más recomendado para Cuba es el compacto; por su alta resistencia al viento y a impactos, su alta durabilidad de funcionamiento. También porque se necesita de menos gastos de inversión que para los demás, y para las condiciones climatológicas del país y el municipio Moa resulta el

más óptimo pues presenta alta resistencia a las incrustaciones, a diferencia del calentador solar de tubos al vacío [15].

De la energía solar global incidente en Cuba que es 5 kWh/m² día, estos calentadores pueden aprovechar para calentar agua, como energía útil, del 30 al 50 %, a niveles de costo accesibles a nuestra población.

Un calentador de 50 % de eficiencia ahorra en Cuba unos 2,5 kWh/m² día. Ello representa al año, asumiendo un coeficiente de utilización del calentador del 90 %, y un calentador tamaño familiar de unos 3 m² de superficie la cantidad anual de:

- 2463,65 kWh/año de energía térmica útil

Esta cantidad es considerable, y representa casi la misma cantidad de electricidad ahorrada por sustitución de duchas eléctricas, considerando un rendimiento de las mismas cercano a un 100 %.

Esto representa no solo un considerable ahorro de energía eléctrica anual para una familia promedio, sino una considerable disminución de las emisiones de CO₂ necesarias para producir la energía eléctrica ahorrada. En realidad, por cada kW·h de energía eléctrica que se deja de consumir en una termoeléctrica promedio con ciclo Rankine y un 30 % de eficiencia de generación se dejan de emitir a la atmósfera 0,99 kg de CO₂, que como se sabe es contaminante, aumenta el efecto invernadero y genera el cambio climático desastroso que todos conocemos [15].

En función de la aplicación se usan distintos tipos de colectores o paneles solares térmicos, lo que varía también la complejidad de la instalación. En cuanto a las instalaciones, existen desde equipos compactos para dotar de agua caliente sanitaria a una casa unifamiliar, hasta instalaciones más complejas con fluidos calo-portadores distintos al agua, intercambiadores de calor, grandes depósitos de acumulación, etc.

Actualmente se puede afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas en general son amortizables sin la necesidad de subvenciones, y que se trata de una alternativa respetuosa con el medio ambiente [15].

1.7. Conclusiones del capítulo

- Existen múltiples experiencias en el sector educacional en programas de gestión energética tanto en el contexto internacional como en el nacional, donde se incluye el empleo de fuentes renovables de energía. Estas acciones en su mayoría se implementan en instituciones de educación superior, por lo que se requiere su inserción en otros niveles de enseñanza en los que se deben incluir los círculos infantiles.
- En Cuba hay un alto potencial de la radiación solar, que como fuente primaria garantiza la implementación de sistemas solares fotovoltaicos y sistemas de agua caliente sanitaria basados en calentadores solares.
- En el contexto nacional se dispone de tecnologías renovables en el área de la solar térmica y la solar fotovoltaica, lo cual garantiza su implementación en instituciones educacionales y en otros sectores de la vida social y económica.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción del capítulo

Las instituciones educativas en Cuba, independientemente que no poseen en su mayoría, un significativo consumo energético, existen ciertas regularidades que indican que el portador energético más utilizado es la electricidad. Otras instituciones usan otros portadores energéticos para la cocción de alimentos como es el caso del gas licuado del petróleo (GLP). El uso final de estos portadores energéticos, van dirigidos al trabajo de determinados equipos, en el caso de la electricidad se utiliza fundamentalmente en la iluminación, bombeo de agua, equipos de climatización y refrigeración, algunos electrodomésticos entre otros. Por su parte el gas licuado del petróleo se emplea en la cocción de alimentos fundamentalmente.

El capítulo se tiene como objetivo, presentar los materiales y métodos empleados para el reconocimiento del sistema energético del círculo infantil caso de estudio, así como los elementos de cálculo, en función de proponer un sistema fotovoltaico y el del calentamiento de agua para las necesidades energéticas presentes.

2.2. Características energéticas del círculo infantil caso de estudio

El círculo infantil, está ubicado en el municipio Moa de la provincia de Holguín en las siguientes coordenadas, longitud de 20°40'05" N 74°56,47',9" W (20°66,88'9", -74°94'66'') y cuenta con un área edificada de 194 m² y un área total de 4 180 m², como se puede ver en la figura 2.1 mediante una imagen satelital. En el anexo # 1 se aprecian otros detalles de la instalación.

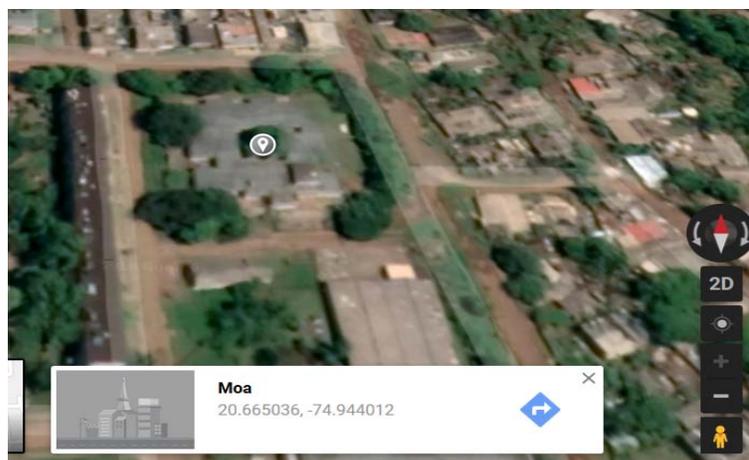


Figura 2.1. Mapa de la ubicación del círculo infantil (Fuente: <http://maps.google.com>)

El círculo infantil “Tierno Amanecer”, esta constituido por losas de hormigón prefabricado (tipo “Girón”), con cisterna elevada, que le permite disponer de agua las 24 horas. En la figura 2.2 se puede observar imágenes de la instalación correspondientes a la entrada y gran parte de la cubierta.



Figura 2.2. Círculo Infantil “Tierno Amanecer”

La asignación mensual de electricidad tiene un valor promedio de 284 kWh, el valor real de cada mes esta en correspondencia al nivel de actividad esperado y a la asignación que realice el Sectorial Municipal de Educación. El consumo anual de electricidad es de unos 3,243 MWh, lo cual significa en términos de toneladas de combustible convencional unas 1,103 TCC y el 32 % del consumo total de los dos portadores energéticos (electricidad y GLP) [38].

En el caso del consumo de GLP alcanza valores anuales de 36 balones de 60,49 kg liquidados cada uno. Esto indica un total de 2177,28 kg de GLP al año, equivalentes a 1,8 TCC y al 68 % del consumo total de portadores energéticos [38].

2.2.1. Dinámica del uso del portador energético electricidad

El uso final de la electricidad, en términos de consumo, esta caracterizado por la demanda de los equipos como la bomba de agua, los electromésticos; así como la iluminación. Por ejemplo, en el caso de los televisores, existe un programa de televisión que se observa regularmente tres veces a la semana de 10:00 am a 10:30 am, y esta dirigido a los niños de 4to, 5to y 6to años de vida. Por su parte la iluminación se usa muy escasamente por la noche, debido a que el horario del servicio es solo hasta las 7:00 pm como máximo. Particularmente el bombeo se realiza casi todos los días de semana, de lunes a viernes aproximadamente 1 hora cada día.

El consumo de electricidad comienza a incrementarse a partir de las 6:00 o 7:00 am donde inician las diferentes actividades y disminuye a partir de las 6:00 pm cuando prácticamente solo queda en la instalación el custodio. Eso significa que el consumo apreciable de electricidad se manifiesta en los horarios de radiación solar, lo que hace muy factible el uso de un sistema fotovoltaico.

2.2.2. Dinámica del uso del portador energético GLP

Se cuenta con una pequeña lavandería donde se lavan los pañales, toallas y paños sucios, para esto se toma agua a temperatura ambiente y se calienta en fogones de GLP hasta hacerla hervir. En el círculo infantil entre las 10:00 y las 11:30 horas del día se bañan un promedio de 140 niños, con edades de entre 1 y 6 años, para lo cual se necesita agua a una temperatura de 36 °C aproximadamente, lo cual debe garantizar que no se produzcan resfriados u otras enfermedades. Al deteriorarse los calentadores eléctricos, el agua se comenzó a calentar en las cocinas con GLP en grandes recipientes metálicos. Luego, el agua caliente se trasladaba en cubos hasta los salones donde se realiza el baño de niños y niñas, esto origina entre otros los siguientes inconvenientes o dificultades:

- Aunque se toman algunas medidas de seguridad no deja de constituir un peligro potencial ante la posibilidad de un derrame de agua caliente.
- El acarreo y traslado de agua entre la cocina y los salones conlleva un esfuerzo físico adicional para las mujeres que generalmente realizan esta labor.
- La cantidad y disponibilidad de agua caliente resulta muy limitada.

También se utiliza el GLP en la cocción de alimentos para lo cual se dispone de una cocina donde se elaboran los alimentos (merienda, almuerzo y merienda). Para este particular se utiliza un fogón de tres hornillas como se puede ver en la figura 2.3.

El comportamiento del consumo de GLP es de aproximadamente un botellón de 60,48 kg (entre 8 y 10 días), lo que hace que, durante 1 mes, el consumo varía de 324 L y 432 L, y en 1 año se consuman unos 3 888 L. En la figura 2.4 se puede ver el tipo de balón de gas que se utiliza.



Figura 2.3. Cocina de tres hornillas



Figura 2.4. Balón para almacenar GLP

2.2.3. Suministro eléctrico de la instalación

El municipio Moa cuenta con seis círculos infantiles, donde su sistema de alimentación es a través de transformadores monofásicos, proporcionando una potencia que oscila entre los 25 kVA y 50 kVA. El círculo infantil “Tierno Amanecer” cuenta con un transformador monofásico de 37,5 kVA que alimenta toda instalación (ver figura 2.5).

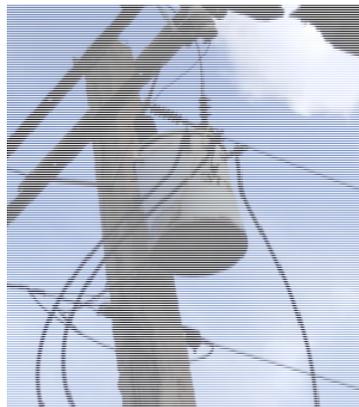


Figura 2.5. Transformador del círculo infantil “Tierno Amanecer”

En la figura 2.6 se muestra el monolineal del círculo infantil, donde se identifican la distribución de los interruptores.

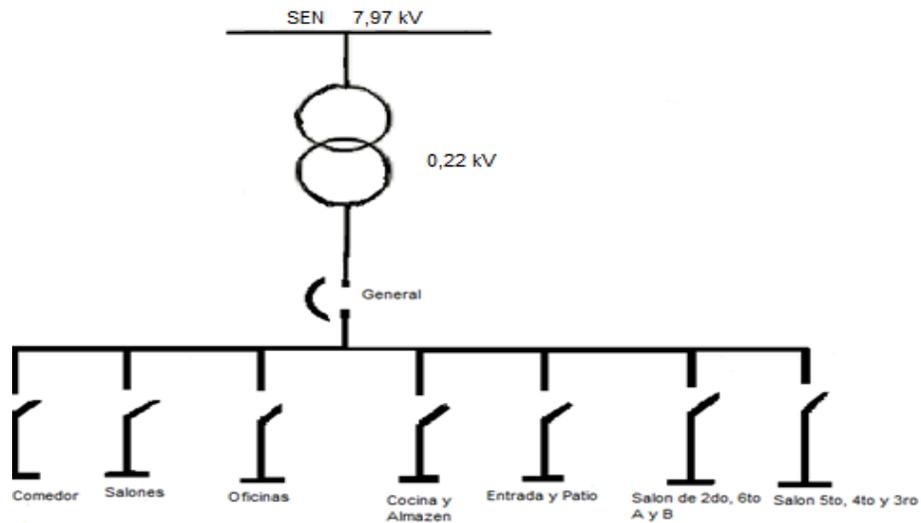


Figura 2.6. Esquema monolineal simplificado de suministro eléctrico del círculo infantil

La instalación, tiene aproximadamente treinta y cuatro años de explotación, resultando apreciable el deterioro del sistema de suministro eléctrico. También se aprecian filtraciones que afectan a los conductores eléctricos. En la figura 2.7 se muestran imágenes representativas de las pizarras de distribución.



Figura 2.7. Estado físico del sistema de suministro eléctrico del círculo

2.3. Dimensionado del sistema FV conectado

Existen diversas herramientas de dimensionado que, a partir de requerimientos energéticos, determinan el tamaño óptimo de cada uno de los diferentes componentes del sistema fotovoltaico, y son capaces de proporcionar información detallada sobre el balance energético en los componentes, indicando además los periodos críticos en los

que puede darse una pérdida de carga durante el año. Estas herramientas normalmente son pequeños paquetes de software, que suelen tener un entorno de diseño sencillo para facilitar su uso y en la mayoría de los casos, este tipo de software lo proporciona el propio fabricante [26].

Para este trabajo se escogió el software profesional PVSyst v.6.4.3, ya que posee la capacidad de calcular valores diarios de radiación solar a partir de mediciones mensuales. Contiene, además, todos los subprogramas para el diseño, optimización y simulación de cuatro tipos de sistemas: conectados a red, autónomos, bombeo solar y redes de corriente directa. También incluye una base de datos con 7 200 modelos de módulos FV y 2000 modelos de inversores [26].

La aplicación integra el análisis de viabilidad con dimensionado y simulaciones para sistemas fotovoltaicos, una vez definidas las cargas, el usuario selecciona los diferentes componentes de una base de datos y el programa automáticamente calcula las dimensiones de cada componente. El módulo de simulación permite visualizar el resultado de este dimensionado y otro módulo de viabilidad financiera permite hacer un rápido análisis económico basado en la localización.

2.4.1. Configuraciones del sistema FV en PVSyst

Para realizar el diseño de la construcción 3D del proyecto del sistema fotovoltaico conectado a red, se cuenta con una serie de ventanas del simulador, que permiten introducir los datos correspondientes para los resultados posteriores.

La primera ventana es la base de datos. A partir de esta se obtienen las ubicaciones del lugar geográfico y estación meteorológica. Para seleccionar el tipo de módulo FV con el que se vá a trabajar, se tienen en cuenta el precio de la tecnología en el mercado, las dimensiones y características de generación [39].

La segunda ventana se nombra nuevo proyecto, de donde se definen los parámetros exactos para la simulación: implantación, perfil de obstáculos, sombras cercanas y el sistema, donde se introduce la potencia pico que se quiere estudiar, como se muestra en la figura 2.8.



Figura 2.8. Configuración global del sistema

Los paneles seleccionados para la propuesta son los confeccionados en la provincia de Pinar del Rio, en la Fábrica de Componentes Electrónicos. Se propone el empleo del modelo DSM-250 de 250 Wp. En la figura 2.9 se muestran las características eléctricas y constructivas del panel fotovoltaico DSM-250.

Especificaciones		
Celda	Celda Solar de silicio Multicristalino 156 X 156 mm	
No. De celdas y conexiones	60 (6X10)	
Dimensiones del módulo	1650 mm X 990 mm X 40 mm	
Cubierta frontal	Vidrio Templado con capa anti reflexiva	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	20 Kg	
Características eléctricas		
Modelo	DSM-250	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	37,7	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	30,5	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	8,55	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	8,19	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	250	
Tolerancia, [%]	±3	
STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1,5		
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85°C	
Voltaje máximo del sistema	1000 VDC	
Valor Máximo del fusible de la serie	15A	
Parámetros de las características térmicas		
NOCT	[°C]	45
Coefficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.065
Coefficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.34
Coefficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.43

Figura 2.9. Características eléctricas y constructivas del panel fotovoltaico DSM-250

Para la selección del inversor, se debe tener en cuenta la máxima potencia que puede demandar la carga. De manera que se elige un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima. No obstante, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para hacerlo trabajar en la zona donde tiene mayores rendimientos. Para esta propuesta se selecciono el modelo Sunny Boy 3800 U-208 del fabricante SMA.

Varios autores, han elaborado trabajo con el software profesional PVSyst v.6.4.3, en la localidad Moa [25, 26, 40], los resultados demuestran las potencialidades del uso de esta tecnología en el territorio.

2.4.2. Parámetros del sistema FV y declaraciones de variables

Para optimizar la producción de energía, es primordial definir y configurar fielmente en PVSyst, las variables eléctricas, climatológicas y de acimut. El cálculo preciso de dicha energía es muy complejo, debido fundamentalmente, a las variables climatológicas (irradiancia y temperatura). Por esta razón, se definen los parámetros característicos, que diferencian los distintos sistemas FV independientemente del comportamiento de las condiciones medioambientales.

Productividad del generador fotovoltaico o “*Array Yield*” (Y_A), definida en la ecuación (2.1), como la energía producida por el generador fotovoltaico en un determinado período de tiempo ($E_{GFV,\tau}$) y por unidad de potencia instalada [41; 42]:

$$Y_A = \frac{E_{GFV,\tau}}{P_{nom,G}} \quad (2.1)$$

Productividad final o “*Final Yield*” (Y_F), definida en la ecuación (2.2) como la energía útil producida por el sistema en un cierto período de tiempo ($E_{FV,\tau}$) y por unidad de potencia instalada [42]:

$$Y_F = \frac{E_{FV,\tau}}{P_{nom,G}} \quad (2.2)$$

Productividad de referencia o “*Reference Yield*” (Y_R), definido como el cociente entre la irradiación solar incidente sobre el generador, a lo largo de un cierto período de tiempo ($G_{inc,\tau}$) y, la irradiancia en STC ($I_{SCT} = 1000 \text{ W/m}^2$) [42]:

$$Y_R = \frac{G_{inc,\tau}}{I_{SCT}} \quad (2.3)$$

Rendimiento global, relaciona la energía útil, generada por el sistema, con aquella teóricamente disponible [42; 43]:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (2.4)$$

2.4.3. Determinación del potencial FV conectado a la red

Para la determinación del potencial fotovoltaico en el círculo infantil, se recogen las regularidades de los aspectos técnicos y socioeconómicos de los comportamientos. Tomando como referencia las informaciones del círculo infantil y mediante el empleo de la aplicación del programa PVSyst, se implementan los cálculos y simulaciones correspondientes al potencial de generación mediante tecnología solar fotovoltaica en dicha infraestructura. De forma general, para suministrar la demanda requerida por el sistema se hace un pronóstico de tres potencias de dimensionado, 2,5 kWp, 3,5 kWp y 6 kWp, esta variedad de potencias permite realizar un análisis mas profundo alrededor de la demanda y seleccionar la mejor variante para el círculo infantil “Tierno Amanecer”.

La figura 2.10 muestra el esquema en bloque del sistema FV conectado a la red propuesto. Se puede apreciar cada una de las partes que conforman el sistema: arreglo FV, inversor y la carga final.

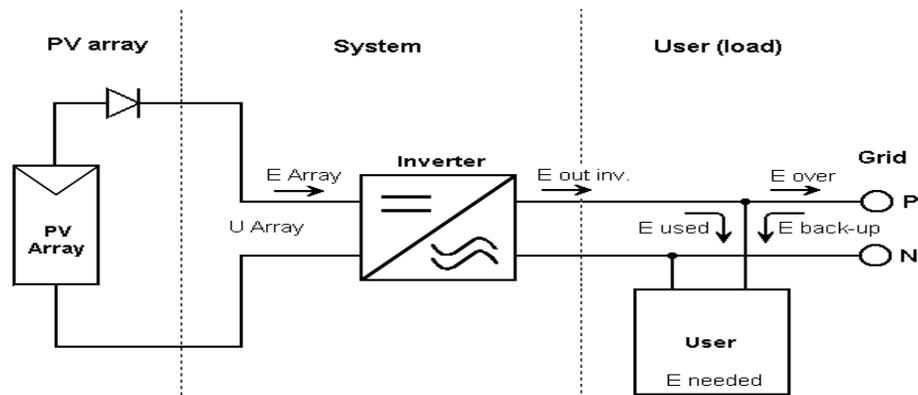


Figura 2.10. Diagrama de bloque del sistema FV conectado a la red propuesto

2.4. Generalidades de la aplicación Mathcad 14

Mathcad es la herramienta estándar industrial pensada para los cálculos técnicos de ingenieros de todo el mundo. Mathcad proporciona todas las capacidades resolutivas, la funcionalidad y la solidez necesarias para el cálculo, la manipulación de datos y el

diseño industrial. La estandarización y reutilización de los cálculos mediante Mathcad asegura el cumplimiento de los estándares. Al combinar cálculos, gráficos, texto e imágenes en un documento, Mathcad permite la captación y publicación de conocimiento, lo que posibilita la gestión de grandes proyectos.

Mathcad le permite documentar los cálculos en lenguaje matemático, ya que combina un potente motor computacional, al que se accede mediante una notación matemática convencional, con un procesador de texto completo y herramientas de gráficos. Puede escribir ecuaciones como suele verlas escritas en el papel. Simplemente, se escriben las ecuaciones y aparece un resultado inmediato, junto con la cantidad de texto que desee que acompañe a los cálculos.

Se puede utilizar las ecuaciones de Mathcad para resolver las ecuaciones simbólicas como numéricas y colocar texto en cualquier sitio de la hoja de trabajo y añadir gráficos bidimensionales y tridimensionales. También se puede ilustrar el resultado del trabajo con imágenes que se obtengan de otra aplicación.

2.5. Cálculo del número de colectores solares compactos

Para la determinación aproximada del potencial de la energía solar térmica en colectores que debe tener el círculo infantil, en dependencia de su diseño y eficiencia; por un proceso iterativo, se comprueba a partir de las fórmulas que se observa a continuación. Un cálculo simplificado se hace si poseemos un tanque absorbedor acumulador sin estratificación y perfectamente mezclado (o sea, que la temperatura en cualquier punto de su interior sea la misma en cada momento) [44].

Como en el colector compacto el agua caliente se acumula en el propio equipo, se recomienda que la capacidad física de agua sea de 0,75 a 1 de la necesidad diaria:

$$m_s \approx (0,75 \div 1) m_L \quad (2.8)$$

Un valor aproximado de la demanda de energía diaria se puede determina:

$$Q'_L = Q_L = m_L \cdot c_p \cdot (T_S - T_L) \quad (2.9)$$

T_s: Temperatura de demanada del fluido (normalmente se selecciona 45 °C).

T_L: Temperatura del fluido en el depósito general (agua fría °C).

m_s: Capacidad de agua caliente en los colectores

m_L : Flujo a través del colector [kg/hora]

Teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y lo requerido para calentar la masa de reserva de agua, se estipula el valor aproximado de la energía útil que debe ganar la batería de los colectores en un día, por la fórmula:

$$Q_s = 1,4 \cdot Q_L \quad (2.10)$$

Con este valor seleccionado se determina, tentativamente, el número de colectores necesarios para el sistema:

$$n_{colectores} = \frac{Q_s}{\eta_c \cdot A_c \cdot \sum_{i=1}^{23} [I_{\beta_i}] \cdot 12hr} \quad (2.11)$$

Donde se debe tomar como resultado, un número entero más próximo al valor que arroje la fórmula.

En el anexo # 4, se puede observar mejor las fórmulas para el cálculo de los colectores, la demanda de agua caliente necesaria. Para facilitar estos cálculos, se utiliza el software Mathcad 14.

Se propone como variante para el sistema de calentamiento de agua, el calentador solar compacto ECOSOL 200L, comercializado por EcosolSolar, un servicio de ventas, proyectos, instalación y garantía para cualquier sistema de agua caliente. Es una respuesta rápida a una necesidad de agua caliente para el uso doméstico. Con un precio de comercialización de aproximadamente 618 CUC cada unidad. Los kits para su montaje cuestan menos de 100 CUC [45].

En la figura 2.11 se observa el modelo 200L que comercializa esta entidad y en la tabla del (anexo # 3) se puede observar sus características técnicas. Funciona como calentador y acumulador, o sea que el propio calentador acumula gran parte del agua calentada para su posterior distribución. Su vida útil no está limitada por las incrustaciones calcáreas. Y son fáciles de insertar en cualquier sistema. No precisan de anclaje para su instalación en las cubiertas.



Figura 2.11. Calentador solar compacto modelo Ecosol 200L [16]

Para la instalación de calentadores solares, se realiza una tabla de la cantidad de materiales con el total de cada elemento a utilizar. La base que se diseña para el tanque de almacenamiento de agua es una mezcla de hormigón macizo.

El análisis del presupuesto total de la obra a realizar, se muestran en el anexo # 8 y el presupuesto por renglones variantes según el PRECONS.

2.6. Instrumentación a utilizar para la comprobación de cargas

El circuito presente en el banco de transformadores del círculo infantil “Tierno Amanecer”, es un circuito monofásico de tres hilos o sea dos fases y un neutro donde se midieron los parámetros eléctricos (corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia), durante algunos días. El intervalo de mediciones fue de 30 treinta minutos y se realizaron con el amperímetro de gancho modelo UT230 (ver figura 2.12).



Figura 2.12. Amperímetro de gancho

También fue necesario verificar varios parámetros eléctricos en el contador prepago que aparece en la figura 2.13, el cual se encuentra ubicado en el punto de conexión común.



Figura 2.13. Contador prepago del círculo infantil “Tierno Amanecer”

2.7. Conclusiones del capítulo

- Se establecieron las aplicaciones informáticas PVSyst y Mathcad para el cálculo de las características fundamentales del sistema fotovoltaico y el de agua caliente, garantizan la precisión y funcionalidad de la propuesta.
- Los portadores que caracterizan el consumo energético del círculo infantil “Tierno Amanecer” son la electricidad y el GLP, los cuales en su conjunto representan 2,903 TCC/año.
- El círculo infantil tiene excelentes condiciones, sobre todo en su cubierta, lo cual permite implementar un sistema fotovoltaico conectado a red y una instalación de calentadores solares para suplir la mayoría de la electricidad y agua caliente sanitaria requerida.
- Se establecieron los instrumentos y las variables para evaluar el sistema de suministro eléctrico, así como los datos meteorológicos, que permitirá determinar los parámetros requeridos en las tecnologías renovables propuestas.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

Los sistemas fotovoltaicos integrados en los edificios, cada día incrementan su presencia en los entornos urbanos, de manera que las cubiertas ofrecen mayor potencial de integración en términos de producción energética.

En este capítulo se presenta como objetivo analizar el posible uso de la energía solar fotovoltaica y solar térmica en el círculo infantil “Tierno Amanecer”, mediante el uso adecuado del espacio de la cubierta.

3.2. Potencia instalada en el círculo infantil

Para implementar un sistema de energía renovable, que suministre electricidad, en una edificación, es necesario conocer el consumo energético diario, así como la demanda, de forma que se garantice una solución capaz de abastecer la instalación y que al mismo tiempo no se incurra en gastos innecesarios debido al sobredimensionado [40]. En la tabla 3.1, se puede apreciar los equipos en funcionamiento en el círculo infantil, la potencia de cada equipo y la instalada.

Tabla 3.1. Potencias instaladas en el círculo infantil “Tierno Amanecer”

Descripción	Cantidad	Potencia Total (kW)
Nevera	1	0,495
Bomba de agua	1	0,4
TV	1	0,12
PC	1	0,35
Ventilador	1	0,038
Luminarias	24	0,732
		2,136

Teniendo en cuenta, el factor de simultaneidad que no sobre pasa el 50 % para las características de las cargas instaladas, la demanda teórica a considerar sería de 1,1 kW. No obstante, para un análisis en base a implementar un sistema fotovoltaico se recomienda considerar las demandas horarias.

Se sabe que en el círculo infantil “Tierno Amanecer”, la energía es asignada por el Sectorial de Educación, la misma varía entre 300-350 kW·h mensual. En la figura 3.1

se muestran los resultados de las potencias promedios. Estas mediciones arrojaron datos muy acertados acerca de estas variables eléctricas, permitiendo ver de manera más clara las variaciones durante el día. Se puede observar que hay un aumento de la demanda en el horario que se pone a funcionar la bomba de agua, el ventilador, la computadora y algunas luminarias alrededor de 3 horas entre las 6:30 y las 9:30 am de forma diaria.

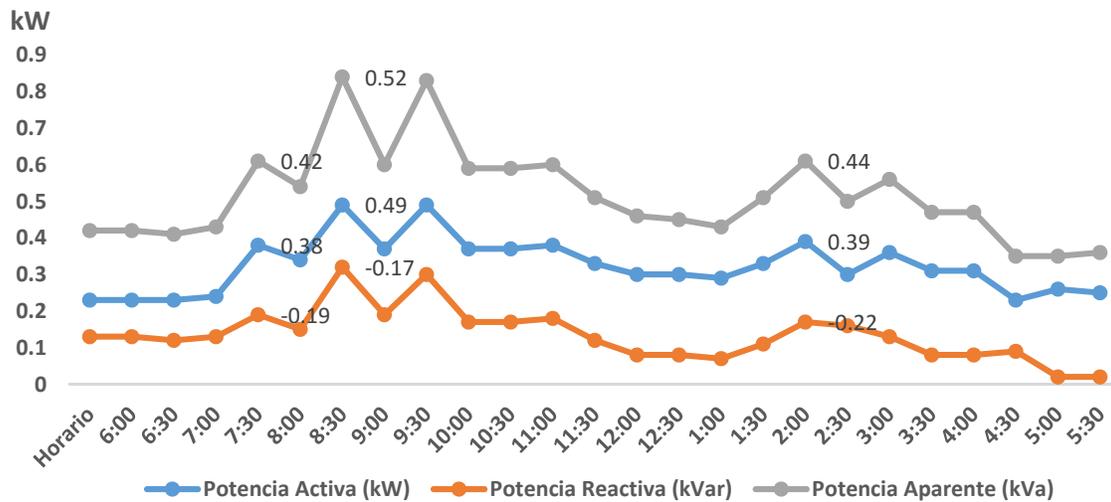


Figura 3.1. Demanda de potencias del círculo infantil el 29 de noviembre 2018

3.3. Consumo promedio diario de electricidad

Para implementar un sistema de energía renovable que suministre electricidad en una edificación, es necesario conocer el consumo y la demanda [40]. A partir de las mediciones del consumo de energía eléctrica y las lecturas del contador prepago, se pudo comprobar que los valores promedios de consumo diario de energía eléctrica oscilan entre 8 y 18 kW/h, para tener una idea de este comportamiento se presenta el gráfico de la figura 3.2. El mayor consumo se produce el jueves (con unos 18 kW/h) y el día de menor consumo es el domingo con unos 8 kW/h. Este comportamiento permite concluir que el consumo promedio durante los días de semana es de unos 13,85 kW/h y los fines de semana 9,4 kW/h con una diferencia de 40 %.

La diferencia en los consumos de energía entre los días de semana y los fines de semana se debe fundamentalmente a la presencia o no de los niños y personal en la instalación, además de que los fines de semana no se pone la bomba que suministra

el agua al tanque localizado en la cubierta. Por otra parte, la energía promedio mensual de la instalación es de unos 284 kW·h, lo cual esta acorde con la energía asignada por el Sectorial de Educación que por lo general es de unos 300 kW·h.

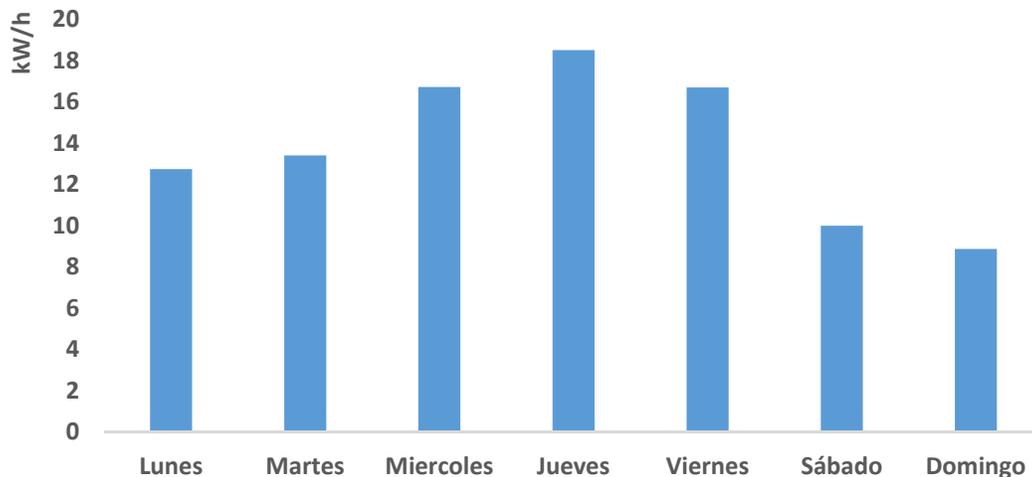


Figura 3.2. Consumo promedio diario del círculo infantil

3.4. Dimensionado, análisis y selección del sistema fotovoltaico

Para realizar el dimensionado del sistema fotovoltaico se utilizan los datos meteorológicos de la localidad arrojando los resultados de la figura 3.3. En esta figura se muestran la energía promedio mensual de la radiación solar incidente, tanto global como difusa; la temperatura ambiente promedio y la velocidad del viento para las coordenadas especificadas en la aplicación PVSyst. El mes de mayor energía de la radiación global incidentes es julio con 186 kWh/m² y el de menor diciembre con un valor de 118 kWh/m².

Haciendo una comparación con los [25, 26, 40], el valor más alto de irradiación corresponde al mes de julio y el de menor irradiación al mes de diciembre, de modo que es adecuado la utilización de este software propuesto. En la figura 3.4 se puede ver la radiación solar incidente.

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VeViento m/s
Enero	130.2	54.2	24.3	4.20
Febrero	134.4	55.2	24.6	4.20
Marzo	177.1	66.9	25.2	4.20
Abril	182.8	78.7	25.5	4.10
Mayo	179.3	85.7	26.7	3.70
Junio	168.5	89.7	27.3	3.40
Julio	186.0	94.3	28.3	3.80
Agosto	172.8	83.5	28.3	3.72
Septiembre	168.5	68.8	27.5	3.40
Octubre	148.7	72.6	27.2	3.50
Noviembre	123.6	54.7	25.6	3.90
Diciembre	118.0	51.3	25.2	3.90
Año	1889.9	855.6	26.3	3.8

Figura 3.3. Radiación solar incidente en el círculo infantil “Tierno Amanecer”

Principio intervalo	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²
Enero	130.2	54.20	24.30	157.3
Febrero	134.5	55.10	24.60	153.6
Marzo	177.1	67.00	25.20	189.4
Abril	182.7	78.70	25.50	183.0
Mayo	179.2	85.70	26.70	169.7
Junio	168.5	89.70	27.30	157.0
Julio	186.0	94.30	28.30	175.0
Agosto	172.9	83.50	28.30	169.5
Septiembre	168.5	68.80	27.50	176.1
Octubre	148.7	72.10	27.20	164.7
Noviembre	123.8	56.10	25.60	145.8
Diciembre	118.0	49.10	25.19	144.8
Año	1890.1	854.30	26.32	1986.1

Figura 3.4. Radiación solar incidente en la Universidad de Moa [25]

3.4.1. Implementación de la tecnología propuesta

Los equipos fotovoltaicos no presentan las mismas características ni responden a las mismas necesidades, por lo que se propone realizar un análisis para definir la propuesta a aplicar. De modo general se valoran los siguientes aspectos:

- Condiciones climáticas, y la posición que deben tener para lograr un máximo rendimiento debido al aprovechamiento de la luz solar.

- Sitio de ubicación de los paneles, debido a que la dimensión del sistema es pequeña en correspondencia con la demanda real existente, además de los efectos de sombra que se pueden experimentar en la cubierta, próxima a grandes árboles y la gran dimensión espacio existente.
- A modo de minimizar los costos de inversión se señala que la propuesta se base solamente en los equipos de producción nacional, lo que evita el gasto por concepto de importación de tecnologías costosas (utilizar los módulos fotovoltaico que se producen en el combinado de Componentes Electrónicos de Pinar del Río [16]).

3.4.2. Características del panel solar propuesto

El presente trabajo considera el uso de los paneles solares DSM-250 de 250 Wp fabricados en Pinar del Río. En la figura 3.5 se muestra las características del panel introducidas en la correspondiente ventana del PVSystem.

Figura 3.5. Características del panel fotovoltaico DSM-250

3.4.3. Simulación del potencial fotovoltaico

Para realizar la simulación del sistema FV conectado a la red, se debe partir de las condiciones concretas de la instalación y la producción eléctrica que se puede esperar del sistema FV conectado a la red entre otros muchos parámetros de interés.

De forma general, para suministrar la potencia requerida según la curva de demanda, se seleccionaron tres potencias de dimensionado, 2,5 kWp, 3,5 kWp y 6 kWp. Esta variedad de potencias permite realizar un análisis mas profundo alrededor de la demanda, considerando cuestiones relacionadas con el almacenamiento y con el funcionamiento de equipos existentes que están rotos y otras cargas que completan adecuadamente la funcionalidad de la instalación. En la tabla 3.2 de manera resumida se puede apreciar lo siguientes datos:

- Generación promedio diaria de los sistemas para las dimensiones propuestas de 2,5 kWp, 3,5 kWp y 6 kWp.
- Demanda real medida.
- Demanda actual estimada.
- Demanda estimada suponiendo que todo el equipamiento existente esta en buen estado.
- Demanda estimada para el equipamiento requerido.

Tabla 3.2. Generación promedio diario y escenarios de demanda

Generación Promedio Diaria				Demanda Medida	Demanda Estimada Actual	Demanda Estimada Equipos en Buen Estado	Demanda de Equipos Requeridos
Hora	2,5 kWp	3 kWp	6 kWp				
0 H	0	0	0	0,3	0,4	0,3	0,3
1 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
2 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
3 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
4 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
5 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
6 H	0,089	0,114	0,259	0,7	0,8	0,625	0,625
7 H	0,407	0,647	1,156	1,1	0,895	1,025	1,025
8 H	0,740	1,239	2,165	1,381	2,003	2,133	5,135
9 H	1,034	1,692	2,951	1,892	1,603	1,733	4,735
10 H	1,254	1,988	3,446	2,229	1,723	1,853	5,71
11 H	1,313	2,079	3,589	2,327	1,228	1,853	5,71
12 H	1,302	2,077	3,552	2,310	1,215	1,345	4,735
13 H	1,205	1,946	3,316	2,156	1,215	1,345	3,335
14 H	0,992	1,644	2,812	1,816	1,603	1,733	5,735
15 H	0,688	1,185	2,044	1,305	1,723	1,853	4,16
16 H	0,384	0,622	1,120	0,708	0,883	1,013	2,785

Tabla 3.2. Generación promedio diario y escenarios de demanda (continuación)

Generación Promedio Diaria				Demanda Medida	Demanda Estimada Actual	Demanda Estimada Equipos en Buen Estado	Demanda de Equipos Requeridos
17 H	0,090	0,115	0,253	0,152	0,388	1,013	2,785
18 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	2,575
19 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	2,575
20 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
21 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	0,625
22 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	2,575
23 H	0	0	0	0,3	0,4	0,625	2,575

En la figura 3.6 se aprecia en forma de gráfica las demandas del sistema y la potencia promedio diaria generada por cada una de los generadores fotovoltaicos propuestos (2,5 kWp, 3,5 kWp y 6 kWp). Estos datos constituyen la base del análisis técnico-económico para decidir el sistema a implementar. En el epigrafe 3.6 aparece el análisis correspondiente.

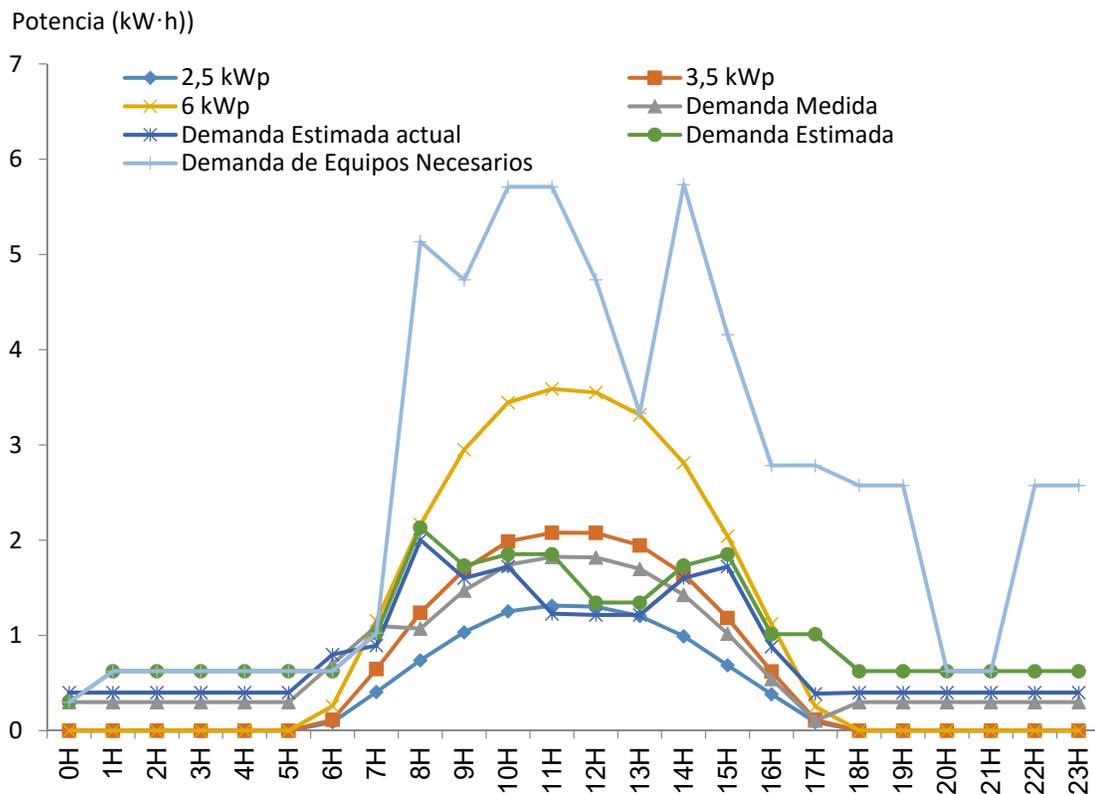


Figura 3.6. Curvas de demandas y generación para la selección de la mejor variante en la instalación

Independientemente de que se realizaron todas las simulaciones para cada una de las tres potencias pronosticadas para el sistema, se refleja a continuación el resultado de la propuesta más factible, correspondiente al sistema de 3,5 kWp. Para este caso se requieren de 14 módulos fotovoltaicos, conectados en serie (1 cadena en paralelo), con una potencia global del generador de 3,5 kWp para condiciones estándar y ocupando una superficie total de 23 m² y 20° de inclinación al sur.

Las características de la simulación son relacionadas con una carga ilimitada porque así se puede comprobar el aporte total de energía. Se utilizó el inversor modelo Sunny Boy 3800 U-208V del fabricante SMA, con una potencia de 3,3 kWac, un rango de tensión de 218-480 V.

En cuanto a los factores de pérdidas de los generadores se puede señalar que se consideró un 3 % de pérdidas por polvo y suciedad, debido a las adversas condiciones climatológicas y ambientales existentes en el municipio Moa.

Se consideró la existencia de objetos cercanos que pudiesen provocar sombras y finalmente se seleccionó una posición en la cubierta en la cual el sistema no recibe estos efectos.

En la figura 3.7 se puede apreciar la perspectiva del círculo infantil (caso de estudio), este posee una cubierta de superficie activa total de 23 m² para hacer la evaluación del potencial de generación. No obstante, se consideró el espacio que ocupan las redes de distribución de agua lo cual inhabilitará una parte de esta área total. La tubería de agua se encuentra a unos 0,5 m del borde de la cubierta.

En la figura 3.8 se muestra la producción normalizada y factores de pérdidas por kWp instalado la cual tiene una pérdida total de 19,4 % y una energía útil en la salida del inversor de 80,6 %.

En la tabla 3.3, se resumen los balances y resultados principales. El valor más alto de irradiación corresponde al mes de julio con un acumulado de 186,0 kWp/m² produciendo una energía efectiva a la salida del generador de 506,4 kWh, y el valor más discreto corresponde al mes de diciembre con 118,0 kWh/m² es de 435,6 kWh.

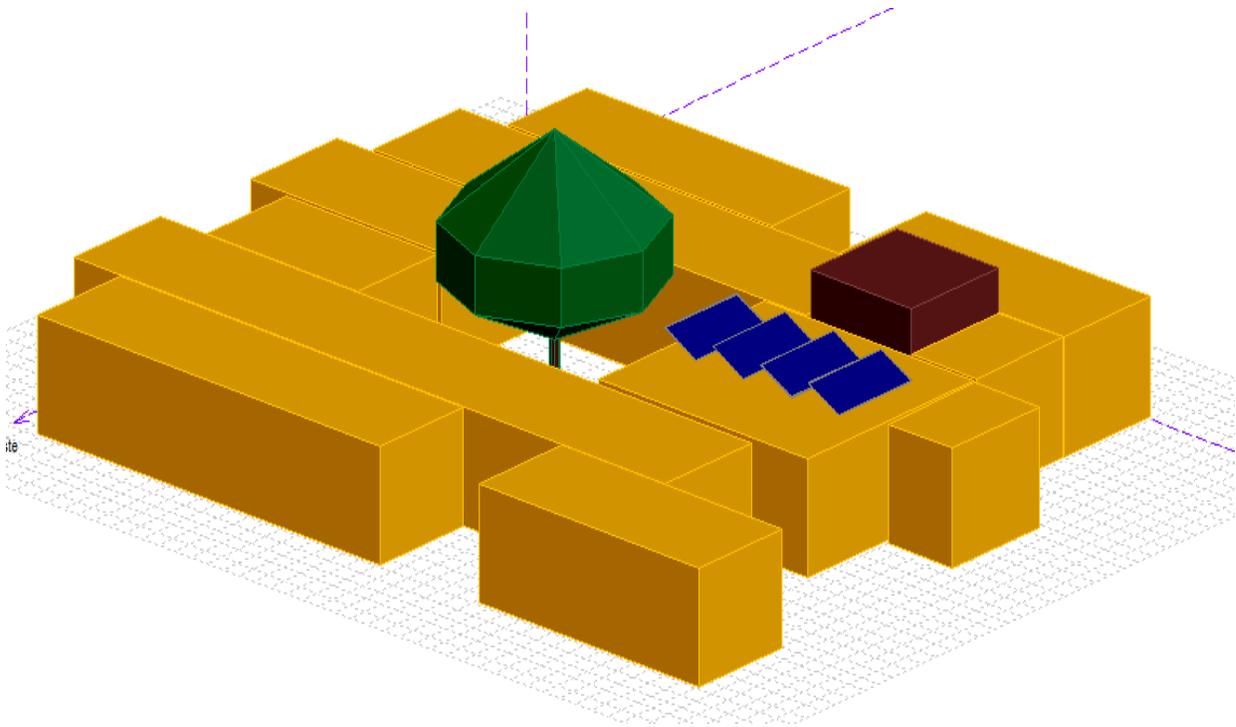


Figura 3.7. Perspectiva del campo fotovoltaico de 3,5 kWp propuesto

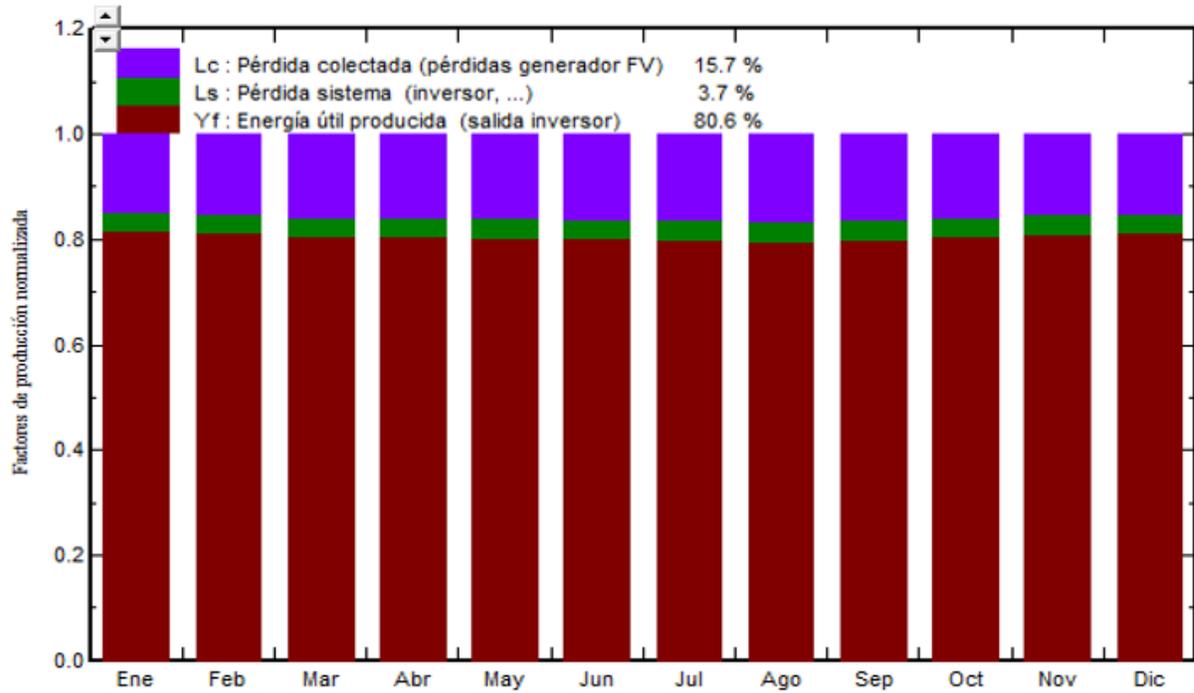


Figura 3.8. Producción normalizada y factores de pérdidas por 3,5 kWp propuesto

Tabla 3.3. Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	130.2	24.30	159.6	151.2	476.6	456.5	13.06	12.51
Febrero	134.4	24.60	154.9	146.9	460.7	440.8	13.01	12.45
Marzo	177.1	25.20	189.8	180.0	560.0	535.4	12.90	12.33
Abril	182.8	25.50	182.3	171.9	537.7	514.2	12.90	12.34
Mayo	179.3	26.70	168.0	157.7	493.9	471.9	12.86	12.28
Junio	168.5	27.30	155.0	145.2	455.6	435.2	12.85	12.28
Julio	186.0	28.30	173.0	162.4	506.4	484.2	12.80	12.24
Agosto	172.8	28.30	168.3	158.4	491.6	469.6	12.78	12.20
Septiembre	168.5	27.50	176.2	166.5	515.9	493.0	12.81	12.24
Octubre	148.7	27.20	165.6	156.5	488.4	467.1	12.89	12.33
Noviembre	123.6	25.60	147.3	139.5	437.2	417.8	12.97	12.40
Diciembre	118.0	25.19	146.6	138.7	435.6	416.7	12.99	12.43
Año	1889.9	26.32	1986.6	1875.1	5859.6	5602.3	12.90	12.33

Leyenda:

GlobHor: irradiación global horizontal

T Amb: temperatura Ambiente

GlobInc: global incidente plano receptor

GlobEff: global efectivo, corriente para IAM y sombreados

EArray: energía efectiva en la salida del generador

E_Grid: Energía reinyectada en la red

EffArrR: Eficiencia Esal campo/superficie bruta

EffSysR: Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

En la figura 3.9 se muestra que de una irradiación total de 1890 kWh/m² al año, en la localidad seleccionada, la energía eléctrica aprovechable, generada con el sistema fotovoltaico, es de 5 602 kWh.

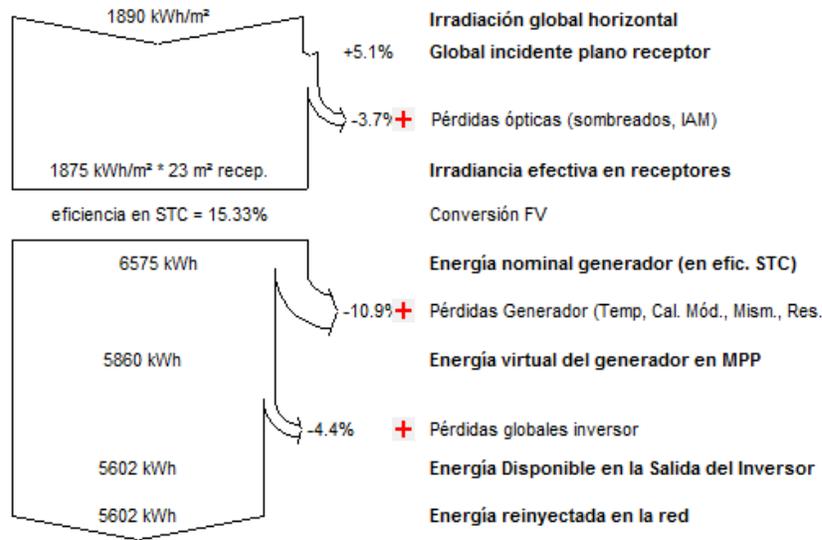


Figura 3.9. Diagrama de pérdida durante todo el año para el generador del círculo infantil

Para este caso, en la tabla 3.4 (coeficientes de rendimiento) se muestran los parámetros característicos normalizados del sistema. El índice de producción de referencia medio diario Y_r obtenido para todo el año es de 5,44 kWh/m² por día, en correspondencia con las referencias existentes en la literatura sobre Cuba. El índice de producción Y_a medio diario de los módulos es de 4,59 kWh/kWp por día, mientras que el promedio diario del índice de producción final Y_f es de 4,39 kWh/kWp por día para todo el año.

Tabla 3.4. Coeficientes de rendimiento.

	Y_r kWh/m ² .día	L_c	Y_a kWh/kWp/d	L_s	Y_f kWh/kWp/d	L_{cr}	L_{sr}	PR
Enero	5.15	0.756	4.39	0.185	4.21	0.147	0.036	0.817
Febrero	5.53	0.830	4.70	0.203	4.50	0.150	0.037	0.813
Marzo	6.12	0.962	5.16	0.227	4.93	0.157	0.037	0.806
Abril	6.08	0.955	5.12	0.224	4.90	0.157	0.037	0.806
Mayo	5.42	0.866	4.55	0.203	4.35	0.160	0.037	0.803
Junio	5.17	0.829	4.34	0.194	4.14	0.160	0.038	0.802
Julio	5.58	0.913	4.67	0.205	4.46	0.164	0.037	0.800
Agosto	5.43	0.897	4.53	0.203	4.33	0.165	0.037	0.797
Septiembre	5.87	0.958	4.91	0.219	4.69	0.163	0.037	0.800
Octubre	5.34	0.842	4.50	0.196	4.30	0.158	0.037	0.806
Noviembre	4.91	0.748	4.16	0.184	3.98	0.152	0.037	0.810
Diciembre	4.73	0.714	4.01	0.174	3.84	0.151	0.037	0.812
Año	5.44	0.856	4.59	0.201	4.39	0.157	0.037	0.806

3.4.4. Requerimientos para el soporte en la cubierta

Se debe tener en cuenta, si las tecnologías a implementar precisan de bases prediseñadas o anclajes, pues estas deben quedar bajo la solución de impermeabilización. Esto significa que primero deben construirse las bases de los elementos que lo requieran para después proceder a impermeabilizar.

Como cada panel fotovoltaico tiene un peso de 20 kg, lo cual se traduce en un peso adicional de 280 kg para el total de paneles. El sistema se va a implementar con una serie de 14 paneles dispuestos en una estructura de soporte de acero inoxidable con un largo total de 10 m. Esta estructura va anclada al centro por bases de hormigón de sección transversal $0,25 \cdot 0,25$ m y un largo de 1,30 m espaciadas a todo su largo cada 1 m aproximadamente (3 paneles), como se muestra en la figura 3.10.



Figura 3.10. Base para los paneles fotovoltaicos [46]

3.4.5. Requerimientos para el sistema de paneles fotovoltaicos propuesta

De acuerdo a los datos de las características eléctricas del círculo infantil expuestas en el epígrafe 3.4.3, se conoce que se va a instalar un sistema de generación eléctrica total de 3,5 kWp. Se realiza el cálculo de las secciones de líneas eléctricas, el cual es un método para obtener la sección idónea del cable conductor a emplear. Se busca que este sea capaz de transportar la potencia requerida sin riesgo alguno, con un mínimo de pérdidas de energía y así se mantengan los costes de instalación en unos valores aceptables. A la hora de dimensionar este conductor se aplican los criterios: que el calentamiento por efecto Joule no destruya el material aislante del conductor y que en caso de cortocircuito este no se destruya. Se determina la tensión para el

cableado de corriente alterna trifásica con la ecuación 3.1 y el de corriente directa con la ecuación 3.2; se tiene en cuenta que la resistividad para el cobre es igual a $1,71 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$.

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot p \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta V} \quad (3.1)$$

$$S = \frac{2 \cdot p \cdot L \cdot I}{\Delta V} \quad (3.2)$$

Donde:

$\cos \varphi = 1$ (factor de potencia activa)

L: longitud del cable en metros

P: resistencia en Ωm (para el cobre $1,71 \cdot 10^{-8}$)

De acuerdo la tensión y al uso que debe tener el cableado eléctrico se selecciona la sección nominal con ayuda de la tabla para selección de los conductores que aparece en el anexo # 7. Se define una sección nominal del cableado para la corriente directa de 3x6/4 (para 42A) y la sección nominal de cableado para la corriente alterna de 4x4 (para 30A). Las longitudes de cableado necesarias que se obtienen son de 169,8 m y 186,4 m respectivamente, pero como la comercialización actual de este material es por paquetes se trabaja con una longitud de 200 m en ambos casos.

3.5. Dimensionado del sistema de agua caliente sanitaria

El sistema de calentadores solares puede interpretarse como una cuestión innecesaria, debido a que Cuba es un eterno verano, pero al implementar la propuesta se minimiza el consumo del portador energético GLP por concepto de calentamiento de agua o en su defecto se deja de consumir la electricidad que se requeriría para calentar el agua.

Para suministrar agua caliente a los niños y trabajadores, se debe conocer las características de la instalación y la demanda de agua caliente necesaria en el círculo infantil. De manera que, el círculo tiene 22 locales distribuidos en 6 salones y el resto laboratorio, dirección, oficinas, almacén y un área de cocina-comedor. La instalación de los colectores debe suministrar agua caliente, a una temperatura mínima de 36 °C,

para 268 personas, a razón de 15 litros por cada uno según la organización internacional de la salud y la norma cubana número 176.

Aunque en Cuba no existe una norma específica para el cálculo de la cantidad de calentadores solares según su uso o el lugar en que se van a instalar, se usan normas españolas, y se considera que están sobredimensionadas para el clima del país. A continuación se presenta una especificación de la cantidad de agua caliente necesaria demandada por el círculo infantil y el número de colectores solares, calculados a partir de una aplicación en Mathcad 14 [44].

3.5.1. Cálculo del número de colectores solares compactos

Una vez conocidos los factores climatológicos (los mismos mencionados en SFV) que van a afectar en el dimensionado de la instalación y el número total de personas en el círculo infantil, se procede el cálculo de las necesidades de agua caliente sanitaria.

Factor de consumo de cocina

$$V_{aCocina} = F_{cCocina} \cdot N_{Con.} \quad (3.2)$$

Donde:

$F_{cCocina}$ → factor de cocina

$N_{Con.}$ → número de consumidores

$V_{aCocina}$ → volumen de agua

$$F_{cCocina} = 7 \quad N_{Con.} = 268$$

$$V_{aCocina} = 1876 \text{ L}$$

Factor de consumo de fregado

$$V_{aFregado} = F_{cFregado} \cdot N_{Fregado} \quad (3.3)$$

Donde:

$F_{cFregado}$ → factor de fregado

$N_{Fregado}$ → número de fregadero

$V_{aFregado}$ → volumen de agua

$$F_{cFregado} = 36 \quad N_{Fregado} = 2$$

$$V_{aFregado} = 72 \text{ L}$$

Factor de consumo de ducha

$$V_{aDucha} = F_{cDucha} \cdot N_{Niños} \quad (3.4)$$

Donde:

F_{cDucha} → factor de ducha

$N_{Niños}$ → número de niños

V_{aDucha} → volumen de agua

$$F_{cDucha} = 15 \quad N_{Niños} = 140$$

$$V_{aDucha} = 2100 \text{ L}$$

Factor de consumo de lavadora

$$V_{aLavadora} = F_{cLavadora} \cdot N_{Lavadora} \quad (3.5)$$

Donde:

$F_{cLavadora}$ → factor de la lavadora

$N_{Lavadora}$ → número de lavadora

$V_{aLavadora}$ → volumen de agua

$$F_{cLavadora} = 132 \quad N_{Lavadora} = 1$$

$$V_{aLavadora} = 132 \text{ L}$$

Factor de consumo de lavado público

$$V_{aL.Público} = F_{cL.Público} \cdot N_{L.Público} \quad (3.6)$$

Donde:

$F_{cL.Público}$ → factor del lavado público

$N_{L.Público}$ → número de lavado público

$V_{aL.Público}$ → volumen de agua

$$F_{cL.Público} = 68,4 \quad N_{L.Público} = 1$$

$$V_{aL.Público} = 68,4 \text{ L}$$

Volumen de agua caliente necesaria

$$V_a = V_{aCocina} + V_{aFregado} + V_{aDucha} + V_{aLavadora} + V_{aL.Público} \quad (3.7)$$

Donde:

V_a → volumen de agua caliente necesaria

$$V_a = 1876 + 72 + 2100 + 132 + 68,4$$

$$V_a = 4248,4 \text{ L}$$

Propiedades termofísicas del agua

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Calor específico del agua

$$C\rho_{agua} = 4179 \frac{J}{kg.k}$$

Demanda de agua caliente diaria

$$m_l = V_a \cdot \rho_{agua}$$

$$m_l = 4248,4 \text{ kg}$$

Capacidad de agua caliente en los colectores

$$m_s = 1,4 \cdot m_l$$

$$m_s = 5947,76 \text{ kg}$$

Características del colector solar

$$\eta_c = 60 \% \quad \text{Rendimiento del colector}$$

$$A_c = 1,67 \text{ m}^2 \quad \text{Área del colector solar}$$

$$\beta = 20 \text{ deg} \quad \text{Ángulo de inclinación del colector}$$

Calor requerido para calentar el agua

$$Q_L = m_s \cdot C\rho_{agua} \cdot (T_{ac} - T_{aF}) \quad (3.8)$$

Donde:

m_s → Capacidad de agua caliente en los colectores

T_{ac} → Temperatura de agua caliente (333 °k)

T_{aF} → Temperatura de agua fría (297 °k)

Q_L → Calor requerido para calentar el agua

$C\rho_{agua}$ → Calor específico del agua

m_l → Flujo a través del colector [kg/hora]

$$T_{ac} = 333 \text{ °k} \quad T_{aF} = 297 \text{ °k} \quad C\rho_{agua} = 4179 \frac{m^2}{k.s^2}$$

$$Q_L = 894804805,44 \frac{m^2.kg}{k.s^2}$$

$$Q_s = 1,4 \cdot Q_L$$

$$Q_s = 1252726727,616 \frac{m^2 \cdot kg}{k \cdot s^2}$$

Cálculo del número de colectores

$$n_{colectores} = \frac{Q_s}{\eta_c \cdot A_c \cdot \sum_{i=1}^{23} [I_{\beta_i}] \cdot 12hr} \quad (3.9)$$

Donde:

A_c → Área del colector

η_c → Rendimiento del colector

β → Ángulo de inclinación del colector

Q_s → Energía diaria

$n_{colectores}$ → Número de colectores

$$n_{colectores} = 6,499 \approx 7$$

Para el sistema centralizado se debe instalar 7 calentadores solares compactos conectados en series y paralelos debido a que el calentador solar compacto con que se trabaja tiene una capacidad de almacenamiento de 250 litros. En la figura 3.11 se observa la propuesta de conexión para el sistema de calentadores solares de forma tal que se aproveche el rendimiento de todos al mismo tiempo sin que varíe la presión de agua o el recorrido sea distinto. En el anexo # 6 se observa de manera más detallada las conexiones y componentes del sistema.

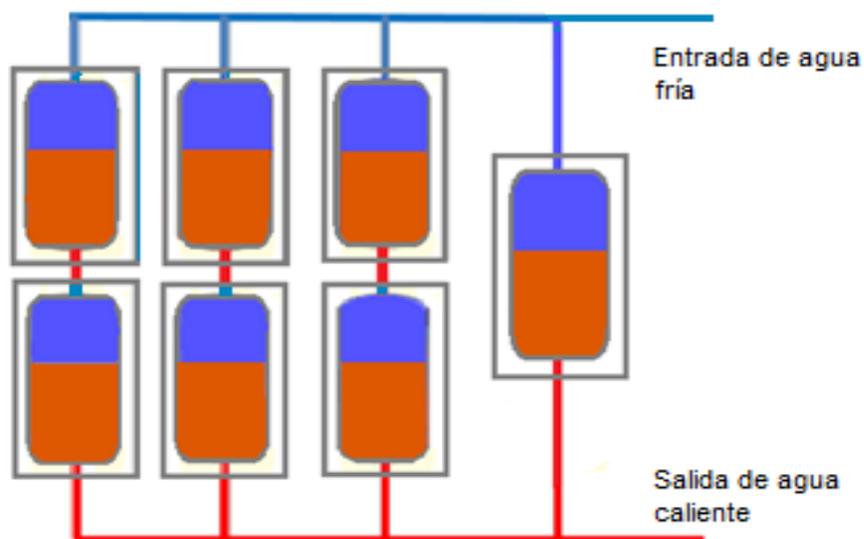


Figura 3.11. Distribución del sistema de calentadores solares propuesto

3.5.2. Requerimientos hidráulicos para el sistema de calentadores solares

Como se expuso anteriormente, la edificación está conectada directamente al sistema de acueductos, el flujo hidráulico es variable, situación que no es conveniente para el correcto funcionamiento del sistema de calentadores solares. Como solución se propone un tanque de agua que sirva de alimentación para el mismo y así evitar fluctuaciones que puedan atentar con la durabilidad de este. Se toma en consideración el volumen total de agua que acumulan los calentadores solares. Cada uno tiene un almacenamiento de 250 litros de agua, lo que supone un total de 1 750 litros para el sistema completo de calentadores solares. El tanque propuesto es de producción ecuatoriana. Para este caso de estudio, se necesita 1 tanque, con una capacidad de 2 500 litros, lo cual se necesitaría 7 colectores solares para satisfacer la demanda y tener el tanque lleno, como se puede ver en figura 3.12.

Se conoce que, debido a las características de los sistemas propuestos, el de calentadores solares no necesitan anclaje ni base para fijarse, en cambio, el tanque que se va a colocar para abastecer a los calentadores solares si. Dicha base no abarca toda la dimensión circular del tanque, se propone una solución de dos vigas en forma de cruz con sección transversal de $0,25 \cdot 0,25$ m y longitud de 1,60 m cada una.



Figura 3.12. Tanque Rotoplas de 2 500 Litros [46]

Estos son fabricados con un alto estándar de calidad y tecnología los cuales aseguran mantener el agua limpia dentro del tanque, lo que hace al sistema de almacenamiento de agua más confiable para esta instalación. Su sistema tricapa único en el mercado, compuesto por una capa externa de polietileno de alta resistencia, una capa intermedia

RotoEspumosa¹ y una capa interna antibacteriana. Estas capas protegen al agua de los rayos ultravioletas y otros factores causantes de la contaminación del contenido de los tanques comunes. Su forma es de tipo botella, de color negro, presenta una vida útil de aproximadamente 45 años. Tiene un diámetro de 1,55 m y una altura de 1,60 m. Tiene como accesorios incluidos en la adquisición del tanque los siguientes elementos, como se ve en la figura 3.13.

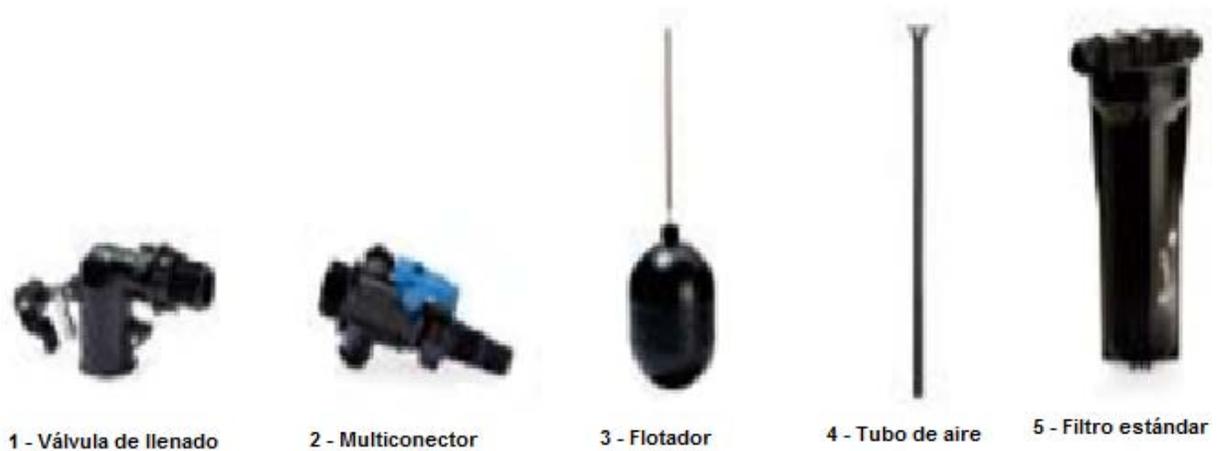


Figura 3.13. Accesorios incluidos con el tanque [46]

Para las conexiones hidráulicas se utilizan tuberías desde 25 mm hasta 32 mm. En la figura 3.14 se expone el diagrama de conexión de los calentadores solares.

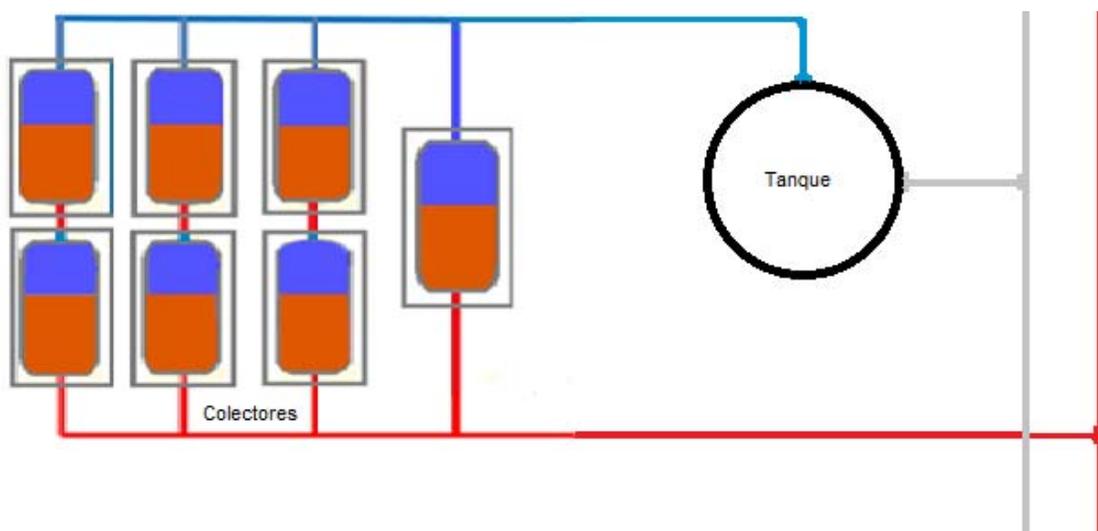


Figura 3.14. Esquema de instalación hidráulica para el sistema de calentadores solares

La instalación de agua caliente se realiza en paralelo con la de la red hidráulica principal del círculo infantil. Según la Norma Cubana [47], en la que se expone que el

sistema de abastecimiento de agua caliente de los edificios sociales debe garantizar la entrega de agua a las distintas tomas instaladas en el mismo con la presión, el caudal y la temperatura requeridos en cada caso. La red de abastecimiento es ramificada, los tramos de la red con longitud mayor de 25 mm deben tener conductos de retorno. Para el análisis hidráulico se toma en cuenta que la red de abastecimiento de agua caliente sanitaria y su retorno se comportan como una red mayada y las tuberías que conforman esta red pueden proyectarse expuestas, colgadas o dentro de conductos.

Para el caso del listado de materiales de los calentadores solares se toma como referencia el diagrama oficial de montaje utilizado por la empresa COPEXTEL para su uso propio (ver anexo # 6). En el presente trabajo se va realizar el montaje de 7 calentadores solares compactos. Para este, se necesita un sistema de instalación de agua caliente al círculo infantil (caso de estudio). Las tuberías de conexión en el sistema de calentadores solares son de ½, mientras que las de instalación de agua caliente para el círculo infantil son de 1 pulgada.

3.6. Análisis técnico-económico y medioambiental

A partir de la utilización de los diferentes reglones variantes con que cuenta el sistema de presupuesto de la construcción (PRECONS) e informaciones relacionadas con el valor de las inversiones de los sistemas fotovoltaicos y de calentamiento de agua, se logró conformar la tabla 3.5. La misma resume el presupuesto total para conformar ambos sistemas basados en fuentes renovables de energía.

Tabla 3.5 Presupuesto total para la construcción y montaje en el círculo propuesto.

Valor de construcción y montaje de cada objeto de obra	Valor (CUC)
Montaje de colectores solares compactos	5 026,00
Dispositivos hidráulicos necesarios para el sistema	759,90
Base para el tanque	277,80
Subtotal para los colectores solares compactos	6 063,70
Subtotal para montaje de paneles FV	3 500,00
Valor total de construcción y montaje de ambos sistemas	9 563,70

En el anexo # 8, se pueden encontrar informaciones aplicadas sobre listados de materiales y costos.

3.6.1. Análisis del sistema fotovoltaico

El uso de las fuentes renovables de energía basadas en la tecnología fotovoltaica se inserta cada día más en el desarrollo de la sociedad. La aplicación de estos sistemas contribuye en varios aspectos, comenzando por el entorno ambiental, donde se protege el medio natural a través de cero emisiones de contaminantes, seguido en el entorno económico que mejoraría la optimización de recursos y finalmente el entorno tecnológico, que revolucionaría la forma de vida tanto de los hogares como de las industrias y los servicios [48].

En el gráfico de la figura 3.15, se pueden apreciar las curvas correspondientes al consumo promedio de energía activa del círculo infantil caso de estudio, y la curva de generación promedio del sistema fotovoltaico seleccionado. La cual cubre el 75,9 % de la energía que como promedio se consume, y es capaz de disponer de unos 1,9 kW/h para suministrar a un posible sistema de almacenamiento.

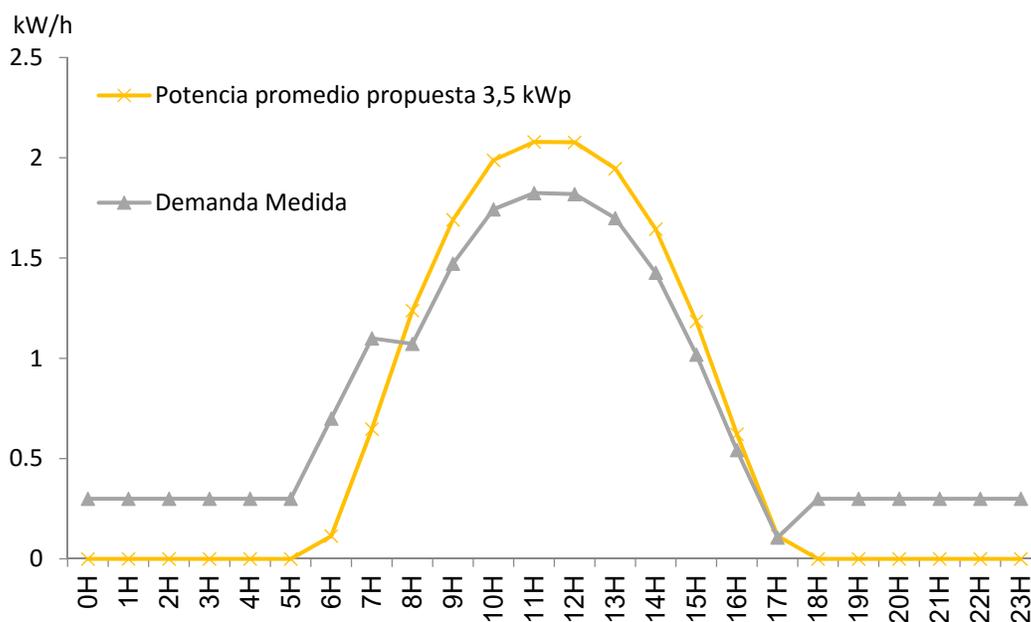


Figura 3.15. Consumo promedio del círculo infantil y generación fotovoltaica promedio propuesta.

Al realizar un análisis del comportamiento de estas curvas, en primer lugar, se pueden presentar de manera resumida los datos correspondientes al consumo y a la generación tal como aparece en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Resumen de los resultados de la simulación de la producción de energía eléctrica con tecnología fotovoltaica.

No	Elementos a analizar	SFV 6 kWp	SFV 3,5 kWp	SFV 2,5 kWp
1	Energía eléctrica promedio consumida por el círculo infantil (kW/h)	18,1	18,1	18,1
2	Energía eléctrica producida por el sistema FV (kWh)	26,7	15,3	9,5
3	Energía eléctrica que se deja de consumir por generación FV (kW/h)	14,1	13,8	9,5
4	Energía eléctrica que se puede almacenar (kWh)	12,6	1,9	0,0
5	Suma de la energía eléctrica cubierta por el SFV y energía almacenada (kWh)	25,3	14,8	9,5
6	Porcentaje de la energía que se ahorra solo con inversor (%)	77,7	75,9	52,4
7	Porcentaje de la energía que se ahorra con inversor y almacenamiento (%)	100,0	77,8	52,4
8	Consumo anual de energía del círculo infantil	3243,0	3243,0	3243,0
9	Valor de la Inversión del SFV (CUC)	6000,0	3500,0	2500,0
10	Importe del ahorro de energía en (CUC)	529,201	517,146	356,877
11	Tiempo de recuperacion de la Inversión (años)	11,337	6,767	7,005

Con los datos de la figura 3.15 y de la tabla 3.6 anterior se puede realizar el siguiente análisis técnico:

- A pesar de que la curva de generación promedio de la tecnología es superior a la demanda promedio, es conveniente dejar la potencia instalada del generador fotovoltaico en 3,5 kWp, debido a que en la instalación existen equipos rotos cuya demanda junto con la actual se acercaría a la generación del sistema.
- Es favorable que la potencia instalada sea superior en cuanto a los arranques de diferentes cargas que puedan producirse de manera indistinta en los horarios de máxima generación, como por ejemplo las cargas inductivas (ejemplo: la nevera y el ventilador).
- En caso de querer combinar la variante de suministro directo a la carga y además acumular energía ya que la potencia instalada es superior a la demanda, entonces se contaría con la posibilidad de incrementar en un 8 % aproximadamente las aportaciones de energía. Esta energía almacenada pudiera suministrarse por ejemplo a la carga de iluminación.

El sistema fotovoltaico de 3,5 kWp seleccionado, según los cálculos realizados con el PVSyst es capaz de generar anualmente 5602 kW/h de electricidad. Sin embargo, a pesar de que el sistema seleccionado es de conexión a la red sin almacenamiento, en algunos momentos se aportaría una determinada energía al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Esta energía no la consideraremos en el análisis, pues aún no se cuenta con una normativa para persivir un pago por este aporte. Concretamente, el análisis energético del sistema, se realizó tomando como referencia la curva de demanda promedio y la curva de generación promedio. Partiendo de este análisis se determinó que el sistema garantiza el 75,9 % del consumo actual de energía de la instalación que es de unos 3243 kW/h en el año.

Los valores anteriores indican una posibilidad de dejar de consumir del sistema unos 2461 kW/h. Este valor significa a los costos actuales de producción del kW/h (0,21 CUC) el ahorro de unos 516,81 CUC anuales y una amortización de la inversión de unos 6,77 años. En términos de combustible requerido para producir toda esa energía eléctrica se requieren unos 615,25 kg de combustible al año. Esta misma cantidad de energía eléctrica (2461 kW/h) producida por el SFV permite disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera en unos 2025 kg.

3.6.2. Análisis del sistema de agua caliente sanitaria

Para determinar la cantidad de GLP que se debe utilizar para cumplir con los requerimientos de agua caliente sanitaria tanto para el baño como para las actividades de la cocina, se parte de los cálculos realizados en el epígrafe 3.5.1. A partir de considerar el volumen de agua caliente que se requiere diariamente, se determinó la cantidad de GLP que se debería utilizar:

Flujo de combustible de GLP diario

$$m_{GLP} = \frac{[m_{agua} \cdot C_{P_{agua}} \cdot (T_S - T_E)]}{PCI} \quad (3.10)$$

Donde:

T_E : temperatura de agua fría (297 K)

T_S : temperatura de agua caliente (333 K)

Flujo de agua caliente:

$$m_a = 4248,4 \frac{L}{día}$$

Densidad del agua

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{agua} = m_a \cdot \rho_{agua}$$

Calor específico de agua

$$C_{p_{agua}} = 4,17 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$m_{agua} = 4,248 \cdot 10^3 \cdot \frac{kg}{día}$$

Poder calorico bajo del combustible GLP

$$PCI = 12,75 \cdot 10^3 \frac{W \cdot hr}{kg}$$

$$m_{GLP} = 13,895 \frac{kg}{día} \quad \rho_{GLP} = 0,56 \frac{kg}{L} \quad \frac{m_{GLP}}{\rho_{GLP}} = 24,812 \frac{L}{día}$$

Los cálculos indican que, para calentar el volumen de diseño del agua caliente sanitaria para el círculo infantil, se requieren unos 13,895 kg diarios de GLP.

Partiendo de que anualmente se consumen unos 36 balones de GLP con una cantidad de 60,48 kg, esto significa el consumo de unos 2177,28 kg al año. Considerando los 13,895 kg diarios de GLP requerido para calentamiento de agua y solo 200 días normales de trabajo se consumirían 2779 kg. Este valor es superior al consumo actual de GLP, de ahí la importancia de implementar el Sistema de Agua Caliente Sanitaria basada en calentadores solares.

Dejar de consumir los 2779 kg de GLP significa a precios de 0,60 CUC el kg, un ahorro de 1667,4 CUC/año. Considerando este importe la amortización de la inversión estaría en el orden de 3,64 años [49].

Desde el punto de vista medioambiental, implementar el sistema de Agua Caliente Sanitaria mediante Calentadores Solares compactos significa dejar de emitir a la atmósfera unos 8 337 kg de CO₂ [50].

3.6.3. Valoraciones generales

Si calentáramos los 4248,4 litros de agua diarios que se necesitan para la actividad de la cocinar y para el baño, afectado por los días laborables que son 260 días al año y considerando solo 200 días. Se considera para el cálculo según la tesis de Daniel Argota que para calentar con un calentador eléctrico de 10 litros de agua se requieren 0,08 kWh de energía eléctrica [51].

Esto significa que, si se calienta el agua de este modelo se requerirían al año unos 5,76 MW·h de electricidad lo cual incrementaría hasta aproximadamente unos 9 MW·h/año, el consumo de energía del círculo infantil el cual es actualmente de unos 3,243 MWh/año.

Por tanto, al cabo de un año se dejaría de emitir a la atmósfera con energías renovables, un total de 10 362 kg de CO₂.

3.7. Conclusiones del capítulo

- Aprovechando la superficie de la cubierta del círculo infantil, caso de estudio, se pueden implementar un sistema fotovoltaico y de calentadores solares, con la capacidad de satisfacer la demanda de electricidad y agua caliente.
- Se comprobó que el consumo promedio diario es de 13,85 kW·h y la demanda máxima es de unos 2,2 kW.
- Se determinó la potencia necesaria de un sistema fotovoltaico para suministrar la energía eléctrica requerida para el círculo infantil a partir de los datos de la radiación solar incidente.
- Con la metodología sustentada en la literatura [44], se logró conservar las generalidades de un sistema de calentamiento de agua adaptado a las demandas de la instalación y con ayuda de un algoritmo de cálculo sustentado en una aplicación en Mathcad 14.

CONCLUSIONES GENERALES

- En el círculo infantil se utilizan dos portadores energéticos, siendo el de mayor importancia el GLP con el 68 % del peso en la matriz energética.
- Se puede garantizar el 75,9 % del consumo de energía eléctrica del círculo infantil “Tierno Amanecer” mediante una instalación solar fotovoltaica de 3,5 kWp conectada a la red y de 14 paneles del tipo DSM-250.
- Para satisfacer, la demanda de las actividades de baño y cocción de alimentos, en el círculo infantil “Tierno Amanecer”, se puede implementar un sistema de agua caliente sanitaria mediante el uso de 7 colectores solares compactos del tipo ECOSOL 200L.
- La implementación de esta tecnología requiere de una inversión de 6 063,70 CUC para la instalación de colectores solares y 3 500,00 CUC para el sistema fotovoltaico propuesto, con un tiempo de recuperación de la inversión de 3,64 y 6,77 años, respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Que el Sectorial de Educación en Moa, a partir de las soluciones que se presentan para utilizar las fuentes renovables de energía en el suministro energético del círculo infantil “Tierno Amanecer”, proponga en los planes de inversión esta solución, la que es posible generalizar en estructuras similares e instituciones en el territorio.
- Evaluar la posibilidad de extender las mediciones, de consumo de energía, realizadas a un período de tiempo prolongado (1 año o más).
- Realizar mediciones de las variables meteorológicas para el sitio analizado, de manera que comprenda un año completo, particularmente la irradiación y irradiancia.

Bibliografía

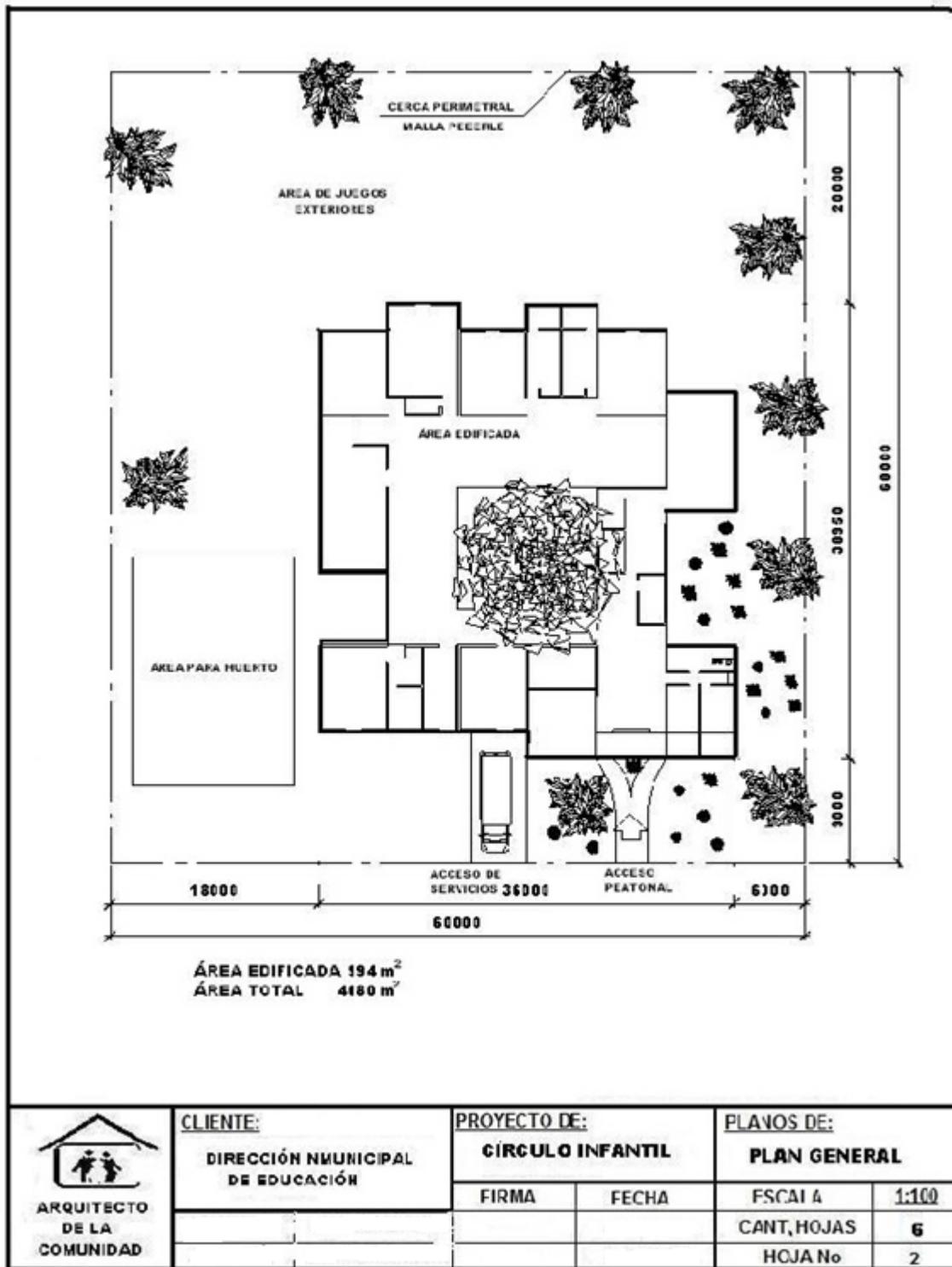
- [1] REN21, "Renewables 2018. Global Status Report," 2018.
- [2] REN21, "Renewables 2019. Global Status Report," 2019.
- [3] (2016). *Anuario Estadístico de Cuba 2015 (Minería y Energía)*.
- [4] (2018). *Electricidad en Cuba. Indicadores Seleccionados*.
- [5] (2019). *Electricidad en Cuba. Indicadores Seleccionados*.
- [6] Cubasolar, "La política energética cubana," 2016.
- [7] J. Rebelde, "El desarrollo demanda educación energética," Martes 17 marzo 2009 | 12:40:05 am. 2009.
- [8] A. E. B. N. y. J. P. Monteagudo, "Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios," 2006.
- [9] CUBASOLAR, "Proyecto; Empleo de las fuentes renovables de energía en el marco de actividades educativas desarrolladas por la ONG Cubasolar en la provincia de Holguín," Sociedad Cubana Para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental Enero 2014.
- [10] *Agua tibia en clima ardiente*, 2009.
- [11] C. L. T. Parrado, "Herramienta para predecir el comportamiento de energía eléctrica en residencias estudiantiles universitarias," in "Departamento de Eléctrica," Universidad de Moa 2013.
- [12] J. A. T. y. E. N. F. Solano, "Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en las instalaciones de los laboratorios de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña sede la primavera," Francisco de Paula Santander, 2016.
- [13] R. M. L. Alexia Sanz Hernández, Víctor Hugo Pérez Gallo., " Cultura energética y comportamiento organizacional. Dos estudios de caso en instituciones universitarias," p. 15, 2010.
- [14] N. J. P. Acosta, "Comportamiento de la demanda y el consumo de energía eléctrica en el banco de transformadores de residencia de la Universidad de Moa," Universidad de Moa, 2017.
- [15] L. B. Pérez, "Descripción y análisis de diferentes tipos de calentadores solares, basados en experiencias cubanas durante más de 30 años. ," Cubaenergía y Cubasolar 2012.
- [16] E. d. CCE, "Catálogo de paneles fotovoltaicos," ed: Cuba, 2005.
- [17] (2009). *Importantes objetivos sociales cubanos utilizan sistemas fotovoltaicos*.
- [18] J. A. Albero, "Propuesta de tecnología apropiada para el calentamiento de agua en el sector residencial en Cuba," Carlos III de Madrid, 2019.
- [19] R. M. Laurencio, "Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa," Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa Universidad de Moa 2017.
- [20] y. L. D. R. M. R. Domínguez Rodríguez. (2007) Aplicación de la Tecnología de Gestión Total de Eficiencia de la Energía en la Empresa Torrefactora.
- [21] R. Á. Hernán, "Caracterización y posibilidades de ahorro energético en generación de vapor - estudio de caso," 28 de octubre 2005.
- [22] <http://www.monografias.com/trabajos16/gerencia-de-energia/>. (2007).
- [23] CUBAENERGÍA, "Diagnóstico sobre la presencia de la temática de las energías renovables en el sistema educativo en Cuba," Centro de gestión de la información y desarrollo de la energía. Septiembre 2013.

- [24] J. N. Jover, I. A. Marrero, A. A. Quiñonez, and G. F. Alfonso, "Educación superior, innovación y desarrollo local: experiencias en Cuba," in *Congreso Universidad*, 2016, pp. 228-248.
- [25] T. E. Ramírez, "Propuesta de microrrejillas acopladas para el docente 1 de la Universidad de Moa," *Electrica*, Universidad de Moa, 2017.
- [26] L. y. M. Osorio, Reineris, "Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal," *Universidad de Moa* 10 de marzo 2016, vol. 45 (54).
- [27] (2018). *Nota a los Rectores*.
- [28] M. Ríos, "Centros educacionales cubanos usan fuentes renovables de energía," *Radio Habana Cuba*, p. 2, 04 de Julio 2017.
- [29] M. J. A. Mirandas, "La enseñanza de las fuentes de energía en secundaria," *Universidad de Granada*, 2014.
- [30] J. F. O. V. y. J. L. M. Buchelly, "Implementación y análisis de una propuesta didáctica para la enseñanza de las energías renovables," *Universidad Distrital Francisco José De Caldas*, 2018.
- [31] I. H. R. D. e. I. J. F. Guerrero, "Estudio técnico-económico de la introducción en una central fotovoltaica, en el Centro de Inmunología Molecular," *Departamento Energía, Centro de Inmunología Molecular, La Habana* 2014.
- [32] A. X. R. C. N. E. H. Rueda, "Estudio sobre la sustitución por energías renovables (solar fotovoltaica) en las instituciones educativas de básica primaria y secundaria en Colombia: Análisis y Posibilidades ", *División Ciencias Económicas y Administrativas Facultad de Economía Universidad Santo Tomás, Bucaramanga* 2015.
- [33] A. V. Aldana, "Dimensionado de un sistema fotovoltaico amorfo integrado a la cubierta del Docente #2 de la Universidad de Moa," *Ingeniería Eléctrica, Universidad de Moa*, 2015.
- [34] R. V. Diéguez, "Comparación energética entre dos sistemas fotovoltaicos instalados sobre la cubierta del Docente #2 de la Universidad de Moa," *Ingeniería Eléctrica, Universidad de Moa*, 2015.
- [35] C. M. Figueredo, "Cuba hacia 100 % con energías renovables," 2011.
- [36] R. D. Santos. *Radiación solar promedio anual en Cuba*.
- [37] A. S. Sera, "Energía Solar Fotovoltaica," 2013.
- [38] Q. N. (QN), "Conceptos Generales del Gas LP," 8 de Julio 2003.
- [39] PVsyst, "Manual del PVsyst," 2015.
- [40] M. E. Sánchez, "Integración de la energía solar fotovoltaica en edificios multifamiliares del municipio Moa," *Eléctrica, Universidad de Moa*, 2016.
- [41] S. A. Akinola Adeyinka B, "Evaluation of Field Data and Simulation Results of a Photovoltaic System in Countries with High Solar Radiation," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 20 de diciembre 2014. <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/>
- [42] C. M. E, "Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica," Tesis Doctoral, Escuela técnica superior de ingenieros de telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, http://oa.upm.es/1322/1/ESTEFANIA_CAAMANO_MARTIN.pdf, 1998.
- [43] C. N. Agai F, Komoni V, "Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in Southeast Europe," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 1(5), 2011. <http://archives-ijaet.org/media/715-IJAET0511565-DESIGN-OPTIMIZATION-AND-SIMULATION-Copyright-IJAET.pdf>

- [44] L. Berriz Pérez, & Álvarez González, M., "Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares," Cubasolar, Ed., ed, 2008, p. 168.
- [45] (2007). *Una tecnología ecológica, eficiente, económica y simple para obtener agua caliente con energía solar.*
- [46] N. R. Diaz, "Análisis técnico económico del uso de fuentes de energía solar-térmica y fotovoltaica en tipologías constructivas Gran Panel IV," Construciones, Holguín "Sede Oscar Lucero Moya", 2017.
- [47] NC-176, "sistema de abasto de agua caliente. En Sistema de abasto de agua en edificios sociales," Requisitos de proyecto 2002.
- [48] F. C. Mixcoatl, "Impacto social y económico de la energía solar fotovoltaica-Grupo Milenio," ed, 2015.
- [49] "Análisis de la implementación de un parque fotovoltaico en la Universidad Central de las Villas," T. T. Experimental, Ed., ed. Ingeniería Eléctrica: Energética vol.39 no.2 La Habana may.-ago., 2018.
- [50] (2014). "*Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*".
- [51] D. A. Pupo, "Estudio del comportamiento de las cargas eléctricas del sector residencial en Cuba," Grado, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Moa, 2012.
- [52] A. R. Guardiola, "Diagnóstico Energético en el área Docente de la Universidad de Moa," Departamento de eléctrica, Universidad de Moa, 2010.

Anexos

Anexo # 1. Vista superior y área total del círculo infantil caso de estudio.



Anexo # 2.

Tablas comparativas de diferentes tipos de calentadores solares.

Variables	Calentador plano con absorbedor de plato	Calentador compacto con absorbedor acumulador
Temperatura de trabajo	Relativamente bajas (menos de 70 °C)	Relativamente bajas (menos de 60 °C)
Eficiencia	50%, a 50 °C 40%, a 60 °C 30%, a 70 °C	50%, a 50 °C 30%, a 60 °C 15%, a 70 °C
Sobrepresión de trabajo	5 atmósferas	5 atmósferas
Gastos de inversión	150-200 CUC por metro cuadrado	80-150 CUC por metro cuadrado
Gastos de operación y mantenimiento	Muy bajos, casi nulos, si se cumplen las normas de instalación y explotación	
Influencia a las incrustaciones	Muy sensible a las incrustaciones	Poco sensible a las incrustaciones
Resistencia a impactos	Depende del vidrio de la cubierta	
Resistencia al viento	Son muy sensibles a vientos altos, tanto el colector como el tanque termo	Si se instalan pegado al suelo, son poco sensibles a vientos altos
Recomendaciones	No se recomiendan para las condiciones de Cuba, principalmente por el efecto de las incrustaciones, y poca durabilidad de su funcionamiento	Se recomiendan para uso doméstico (calentamiento de agua sanitaria)

Variables	Calentador de tubos al vacío termosifónico	Calentador de tubos al vacío de tubos calóricos
Temperatura de trabajo	Moderadas (entre 70 y 80 °C), aunque pueden trabajar a 90 °C	
Eficiencia	70%, a 50 °C 60%, a 60 °C 50%, a 70 °C 40%, a 80 °C	
Sobrepresión de trabajo	0,2 atmósferas	5 atmósferas
Gastos de inversión	150-200 CUC por metro cuadrado	300-400 CUC por metro cuadrado
Gastos de operación y mantenimiento	Muy bajos, casi nulos, si se cumplen las normas instalación y explotación	
Influencia a las incrustaciones	Poco sensible a las incrustaciones	
Resistencia a impactos	Por su forma tubular, son más resistentes a granizadas	
Resistencia al viento	Por su forma tubular, son poco sensibles a vientos altos. La sensibilidad es la del tanque termo.	
Recomendaciones	Se recomiendan tanto para uso doméstico, como comercial e industrial. Si se necesitan altas presiones, ésta debe darse con una bomba conectada después del tanque termo.	Se recomiendan para todos los usos. Son los mejores para instalaciones industriales o de grandes dimensiones.

Anexo # 3.

Tabla de la característica técnica del calentador solar compacto modelo Ecosol 200 L

Longitud	2004 mm
Ancho	900 mm
Altura	380 mm
Peso vacío	50 kg
Acumulación	200 - 250 litros
Hermeticidad	Silicona Acética
Presión máx. de trabajo	5 bar
Material de la cubierta	Vidrio templado 4 mm o policarbonato UV
Material del tanque acumulador	Acero Inoxidable ASI 304 (3 mm)
Conexión entrada/salida	1/2" R/H
Caja exterior	Fibra de vidrio laminada
Aislamiento térmico	Poliuretano expandido 30 mm de espesor.
Área de captación	1.67 m ²
Respaldo eléctrico incorporado	2 kW o 4kW 220 V (opcional)

Anexo # 4. Fórmulas para el cálculo de los colectores y sus respectivas tablas para el cálculo.

Fórmula 35:

m_L : Flujo a través del colector [kg/hora]

$$m_L = (U_L F' A_c / C_p \cdot \ln(u))$$

Donde:

$$u = [S - U_L (T_f - T_a)] / [S - U_L (T_f - T_a) - U_L F' \Delta T_f]$$

Fórmula 37:

Q'_L : Demanda de energía diaria [kCal]

$$Q'_L = \sum Q_L$$

$$Q'_L = m_L C_p (T_s - T_L)$$

Fórmula 38:

n_c : Número de colectores en la batería

$$n_c = Q'_T / \eta A_c \sum H_T$$

Fórmula 39:

Q_T : Energía útil ganada por la batería de colectores en una hora [kCal/h]

$$Q_T = n_c A_c F_R [S - U_L (T_{S(i-1)} - T_a)]$$

Fórmula 40:

Q_p : Pérdida de energía por almacenamiento en una hora [kCal/hora]

$$Q_p = [52]s (T_{S(i-1)} - T_{ra})$$

Fórmula 41:

Q_L : Demanda de energía en un período de una hora [kCal/hora]

$$Q_L = m_L C_p (T_s - T_L)$$

$$Q_L = m_L C_p (T_{S(i-1)} - T_L)$$

Fórmula 42:

$T_{S(i)}$: Temperatura del agua en el tanque de almacenamiento al finalizar la hora i [C]

$$T_{S(i)} = T_{S(i-1)} + (t) (Q_T - Q_p - Q_L) / m_s C_p$$

Anexo # 4. (Continuación)

Tabla de cálculo A₁

Tabla de cálculo A ₁												
Hora												
De	a	H	H _d	θ _T	cosθ _T	cosθ _Z	R _b	H _T	(τα) _e	S	Q _U	η _{hora}
6	7	10	0	80,5	0,165			0	0,3	0	0	
7	8	93	38	66,5	0,398	0,187	2,14	171	0,65	106	15	0,09
8	9	233	82	52,6	0,607	0,381	1,6	357	0,77	261	160	0,45
9	10	362	117	38,9	0,778	0,539	1,44	517	0,79	388	278	0,54
10	11	459	142	26	0,899	0,651	1,38	638	0,8	485	368	0,58
11	12	522	156	16	0,961	0,709	1,36	718	0,8	546	425	0,59
12	13	522	156	16	0,961	0,709	1,36	718	0,8	546	425	0,59
13	14	459	142	26	0,899	0,651	1,38	638	0,8	485	368	0,58
14	15	362	117	38,9	0,778	0,539	1,44	517	0,79	388	278	0,54
15	16	233	82	52,6	0,607	0,381	1,6	357	0,77	261	160	0,45
16	17	93	38	66,5	0,398	0,187	2,14	171	0,65	106	15	0,09
17	18	10	0	80,5	0,165			0	0,3	0	0	
Suma								4 801		3 570	2 492	0,52

Tabla de cálculo A₂

Tabla de cálculo A ₂												
Hora												
De	a	H	H _d	θ _T	cosθ _T	cosθ _Z	R _b	H _T	(τα) _e	S	Q _U	η _{hora}
6	7	10	0	80,5	0,165			0	0,3	0	0	
7	8	93	38	66,5	0,398	0,187	2,14	171	0,65	106	50	0,29
8	9	233	82	52,6	0,607	0,381	1,6	357	0,77	261	205	0,57
9	10	362	117	38,9	0,778	0,539	1,44	517	0,79	388	332	0,64
10	11	459	142	26	0,899	0,651	1,38	638	0,8	485	429	0,67
11	12	522	156	16	0,961	0,709	1,36	718	0,8	546	490	0,68
12	13	522	156	16	0,961	0,709	1,36	718	0,8	546	490	0,68
13	14	459	142	26	0,899	0,651	1,38	638	0,8	485	429	0,67
14	15	362	117	38,9	0,778	0,539	1,44	517	0,79	388	332	0,64
15	16	233	82	52,6	0,607	0,381	1,6	357	0,77	261	205	0,57
16	17	93	38	66,5	0,398	0,187	2,14	171	0,65	106	50	0,29
17	18	10	0	80,5	0,165			0	0,3	0	0	
Suma								4 801		3 570	3 010	0,63

Anexo # 4. (Continuación)

Hora	\dot{m}_l [litro]	Q_l [kCal]
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	10	200
7	40	800
8	20	400
9	20	400
10	20	400
11	50	1 000
12	50	1 000
13	40	800
14	20	400
15	20	400
16	20	400
17	50	1 000
18	50	1 000
19	40	800
20	20	400
21	10	200
22	10	200
23	10	200
24	0	0

Anexo # 4. (Continuación)

Tabla de cálculo B₁

Hora	m	T_a	S	T_{s-1}	Q_T	Q_L	Q_p	T_s	n_c
08:00 a 09:00	20	24	261	40,00	1,020	400	38	41,16	5
09:00 a 10:00	20	24	388	41,16	1,634	400	41	43,55	5
10:00 a 11:00	50	25	485	43,55	2,095	1 000	45	45,65	5
11:00 a 12:00	50	25	546	45,65	2,362	1 000	50	48,28	5
12:00 a 13:00	40	25	546	48,28	2,316	800	56	51,20	5
13:00 a 14:00	20	25	485	51,20	1,959	400	63	54,19	5
14:00 a 15:00	20	24	388	54,19	1,403	400	72	56,05	5
15:00 a 16:00	20	24	261	56,05	735	400	77	56,56	5
16:00 a 17:00	50	22	106	56,56	–	1 000	83	54,40	5
17:00 a 18:00	50	22	0	54,40	–	1 000	78	52,24	5
18:00 a 19:00	40	20	0	52,24	–	800	77	50,49	5
19:00 a 20:00	20	20	0	50,49	–	400	73	49,54	5
20:00 a 21:00	10	20	0	49,54	–	200	71	49,00	5
21:00 a 22:00	10	20	0	49,00	–	200	70	48,46	5
22:00 a 23:00	10	20	0	48,46	–	200	68	47,92	5
23:00 a 24:00	0	20	0	47,92	–	0	67	47,79	5
00:00 a 01:00	0	20	0	47,79	–	0	67	47,66	5
01:00 a 02:00	0	20	0	47,66	–	0	66	47,52	5
02:00 a 03:00	0	20	0	47,52	–	0	66	47,39	5
03:00 a 04:00	0	20	0	47,39	–	0	66	47,26	5
04:00 a 05:00	0	20	0	47,26	–	0	65	47,13	5
05:00 a 06:00	10	20	0	47,13	–	200	65	46,60	5
06:00 a 07:00	40	22	0	46,60	–	800	59	44,88	5
07:00 a 08:00	20	22	106	44,88	123	400	55	44,22	5
Suma						10 000			

Anexo # 4. (Continuación)

Tabla de cálculo B₂

Hora	m _s	T _a	S	T _{s1}	Q _T	Q _L	T _s	n _c
08:00 a 09:00	20	24	261	40,00	1,124	400	41,45	5
09:00 a 10:00	20	24	388	41,45	1,743	400	44,13	5
10:00 a 11:00	50	25	485	44,13	2,209	1000	46,55	5
11:00 a 12:00	50	25	546	46,55	2,486	1000	49,52	5
12:00 a 13:00	40	25	546	49,52	2,453	800	52,83	5
13:00 a 14:00	20	25	485	52,83	2,111	400	56,25	5
14:00 a 15:00	20	24	388	56,25	1,576	400	58,60	5
15:00 a 16:00	20	24	261	58,60	914	400	59,63	5
16:00 a 17:00	50	22	106	59,63	105	1 000	57,84	5
17:00 a 18:00	50	22	0	57,84	(405)	1 000	55,03	5
18:00 a 19:00	40	20	0	55,03	(396)	800	52,64	5
19:00 a 20:00	20	20	0	52,64	(369)	400	51,10	5
20:00 a 21:00	10	20	0	51,10	(351)	200	50,00	5
21:00 a 22:00	10	20	0	50,00	(339)	200	48,92	5
22:00 a 23:00	10	20	0	48,92	(327)	200	47,87	5
23:00 a 24:00	0	20	0	47,87	(315)	0	47,24	5
00:00 a 01:00	0	20	0	47,24	(308)	0	46,62	5
01:00 a 02:00	0	20	0	46,62	(301)	0	46,02	5
02:00 a 03:00	0	20	0	46,02	(294)	0	45,43	5
03:00 a 04:00	0	20	0	45,43	(287)	0	44,86	5
04:00 a 05:00	0	20	0	44,86	(281)	0	44,29	5
05:00 a 06:00	10	20	0	44,29	(275)	200	43,35	5
06:00 a 07:00	40	22	0	43,35	(241)	800	41,26	5
07:00 a 08:00	20	22	106	41,26	312	400	41,09	5

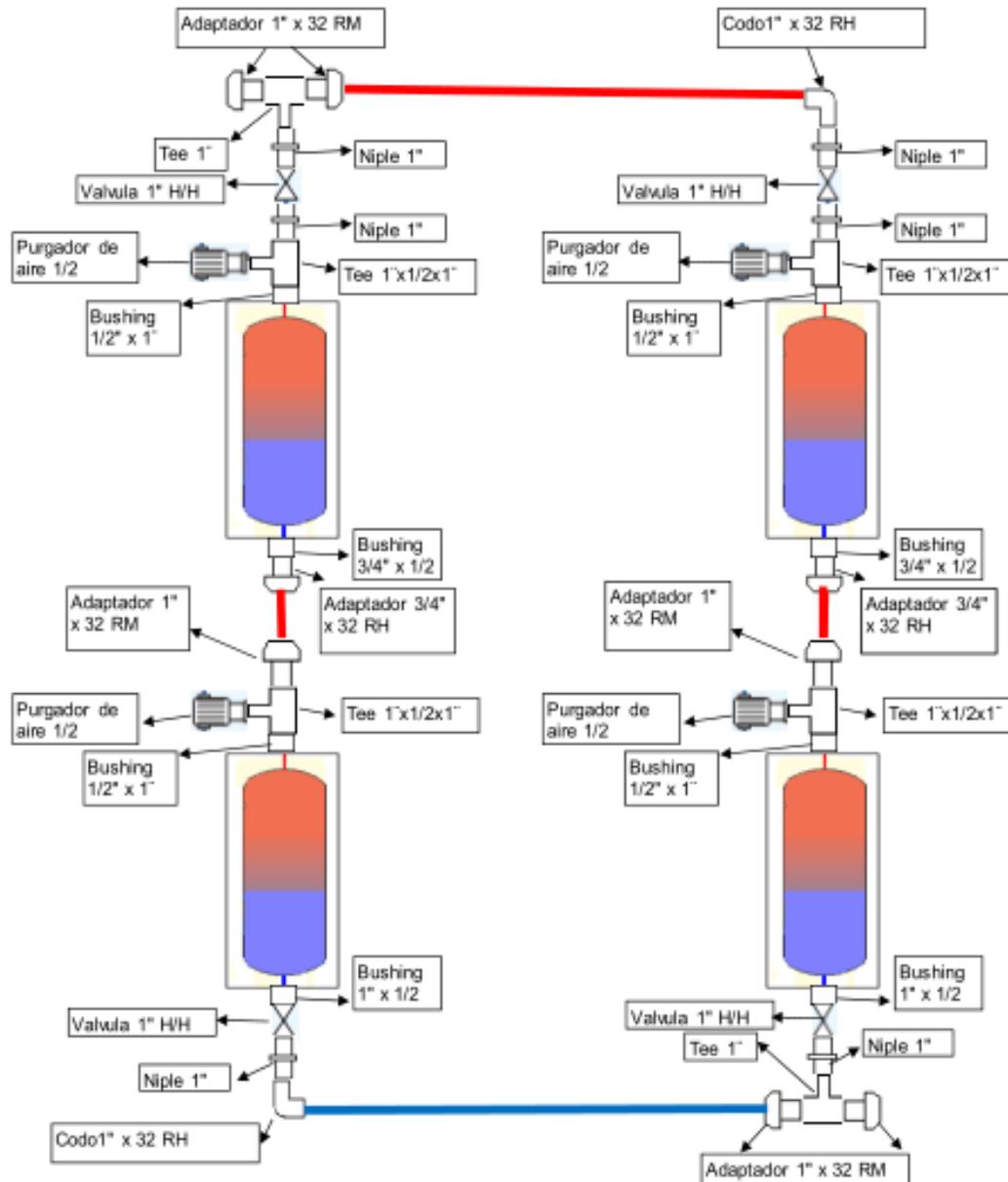
Anexo # 5.

Tabla de precio de los modelos de paneles según la potencia

Modelo	Potencia (Wp)	Precio (CUC)
DSM-10	10	10
DSM-20	20	20
DSM-22	22	22
DSM-25	25	25
DSM-40	40	40
DSM-45	45	45
DSM-80-C	80	80
DSM-85-C	85	85
DSM-90-C	90	90
DSM-130-C	130	130
DSM-140-C	140	140
DSM-160-C	160	160
DSM-170-C24	170	170
DSM-170-A	170	170
DSM-175-A	175	175
DSM-180-A	180	180
DSM-180-23C	180	180
DSM-185C23	185	185
DSM-250	250	250

Anexo # 6.

Muestra del diagrama de montaje para batería de Calentadores Solares



Anexo # 7.

Tabla para la selección de los conductores

Sección Nom. Mm ²	Espesor aisl. mm	Resistencia Ohm.a 20°C (Ω/km)	Intensidad admis. A régimen permanente (A)			(K) Caída de tensión VA/Km de línea (V)		PLASTIGRON		ARMIGRON	
			Cable enterrado a 25°C	Cable al aire en ambiente de		Cos φ=0.8	Cos φ=1	Diam. Ext. Aprox. (mm)	Peso aprox. (Kg/Km)	Diam. Ext. Apro. (mm)	Peso aprox. (Kg/Km)
				30°C	40°C						
CABLES DE CONDUCTORES DE COBRE											
4x1,5	0,8	12,1	25	17	15	20,87	25,93	10,0	155	38	145
4x2,5	0,8	7,28	34	24	21	12,55	15,56	11,0	209	42	195
4x4	1,0	4,56	45	32	28	7,89(8,87)	9,74	13,5	320	47	-
3x6/4	1,0	3,08	56	42	36	5,36(5,97)	6,58	14,6	390	16,6	565
3x10/6	1,0	1,83	75	58	50	3,21(3,55)	3,89	17,1	605	19,1	840
3x16/10	1,0	1,15	97	75	65	2,05	2,45	19,4	890	22,3	1190
3x25/16	1,2	0,727	125	101	87	1,32	1,55	24,3	1360	26,7	1729
3x35/16	1,2	0,524	150	121	105	0,98	1,12	26,4	1740	29,7	2170
3x50/25	1,4	0,387	180	150	130	0,74	0,82	30,4	2320	33,8	2855
3x70/35	1,4	0,268	220	181	165	0,53	0,56	34,7	3190	37,7	3770
3x95/50	1,6	0,193	265	237	205	0,40	0,41	40,4	4370	44,0	5115
3x120/70	1,6	0,153	305	278	240	0,33	0,32	43,4	5360	47,4	6200
3x150/70	1,8	0,124	340	319	275	0,29	0,26	47,9	6470	51,9	7400
3x185/95	2,0	0,0991	385	365	315	0,25	0,21	53,4	8150	58,8	9690
3x240/120	2,2	0,0754	445	429	370	0,20	0,16	60,5	10510	66,3	12300
3x300/150	2,4	0,0601	505	493	425	0,18	0,12	66,1	12950	72,5	15030
CONDUCTORES DE ALUMINO											
4x16	1,0	1,91	76	59	51	3,23	4,04	20,7	555	23,5	890
3x25/16	1,2	1,20	98	79	68	2,15	2,58	24,3	770	26,7	1160
3x35/16	1,2	0,868	120	95	82	1,57	1,87	26,9	990	29,7	1420
3x50/25	1,4	0,641	140	116	100	1,18	1,38	30,4	1260	33,8	1810
3x70/35	1,4	0,443	170	150	130	0,84	0,95	34,7	1670	37,7	2260
3x95/50	1,6	0,320	210	185	160	0,62	0,69	40,4	2270	44,0	3030
3x120/70	1,6	0,253	235	214	188	0,51	0,54	43,4	2660	47,4	3520
3x150/70	1,8	0,206	265	249	215	0,43	0,44	47,9	3245	51,9	4190
3x185/95	2,0	0,164	300	284	245	0,36	0,35	53,4	4040	58,8	5600
3x240/120	2,2	0,125	350	336	290	0,29	0,27	60,5	5170	66,3	7000
3x300/150	2,4	0,100	395	388	335	0,24	0,21	66,1	6280	72,5	8400
3x400/185	2,6	0,0778	445	446	385	0,21	0,17	74,5	7970	81,1	10410

Anexo # 8. Presupuesto construcción y montaje para cada objeto de obra de la propuesta según el PRECONS.

Tabla del presupuesto para la base del tanque

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (CUC)
De 0,20 m de espesor vista 2 cara asentados con mortero	m ²	10	7,41	74,1
Mortero 1:4:1 de cemento PP-250, arena e hidrato de cal (5,2 MPa) (Manual)	m ³	0,19	119,58	22,7202
Bloque de hormigón 500x150x200	mu	0,02	1129	22,58
Montaje definitivo sobre colectores, peso 1,1-2 TM	tm	4	39,61	158,44
Subtotal				\$277,8402

Tabla del presupuesto para la obra de montaje de calentadores solares y paneles FV

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (CUC)
Colector solar compacto	u	7	\$618,00	\$4 326
Kits de montaje para el colector	u	7	\$100,00	\$700
Panel solar 250 watt	u	14	\$250,00	\$3 500
Subtotal				\$8 526

Anexo # 8. (Continuación)

Tabla del presupuesto para las obras de instalación hidráulica

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (CUC)
Prueba hidráulica de tubería de impulso mediante bomba	u	60	0,32	19,2
Inst. de válvulas y piezas con dos extremos de PPR empotrada, expuesta o soterrada diam. Ext. 2,5 - 20 mm	ml	20	0,04	0,8
De 25 a 32 mm de diámetro	u	30	2,18	65,4
Válvula de esfera 3/4"	u	24	12,04	288,96
Para presión de 20 mm	ml	50	0.14	7
Tubo PPR 20x3,4 PN 4 m	u	10	7,88	78,8
Tapón de 1/2"	u	16	0,94	15,04
Unión universal de 25 mm PPR	u	15	2,33	34,95
TEE PPR 25 mm	u	3	0,71	2,13
Codo Terminal 20x1/2	u	12	5	60
Adaptador 25 mm x 3/4" PPR fusión	u	5	24,82	124,1
Codo 90x25 PPR	u	20	0,96	19,2
Codo PPR 20x90	u	15	0,43	6,45
Nudo reducido PPR 25x20	u	15	0,8	12
TEE PPR 25x20 mm	u	10	1.14	11,4
Nudo de 25 mm PPR	u	15	0,69	10,35
Para presión de 25 mm	ml	15	0,14	2,1
Tubo PPR 25x4,2 PN 20 4 m	u	5	0,41	2,05
Subtotal				\$759,93
Total General				\$9 563,7

Anexo # 9. Listado de materiales necesarios para la instalación

Tabla del presupuesto para la base de los paneles

Descripción	Unidad	Cantidad
De 0.20 m de espesor vista 2 cara asentados con mortero	m ²	7,8
Mortero 1:4:1 de cemento PP-250, arena e hidrato de cal (5,2 MPa) (Manual)	m ³	0,19
Bloque de hormigón 500x150x200	mu	0,03
Resano con mortero en paredes hasta 3 m de altura	m ²	7,8
Mortero 1:4:1 de cemento PP-250, arena e hidrato de cal (5,2 MPa) (Manual)	m ³	0,12
Salpicado en pared de ladrillos y bloques de hormigón	m ²	7,8
Mortero de cemento y arena 1:2 (Manual)	m ³	0,04
En paredes hasta 3 m de altura con mortero	m ²	7,8
Mortero 1:4:1 de cemento PP-250, arena e hidrato de cal (5,2 MPa) (Manual)	m ³	0,06