

OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BUSCA DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS A PARTIR DE UN ESTUDIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FV CONECTADOS A LA RED

Por Lic. **Vladimir Rodríguez Jiménez*** e Ing. **Martha Pedroso Nodarse***.

* Empresa de Servicios Técnicos y Especializados, Cienfuegos.

E-mail: vrjimenez@estec.une.cu; marthap@estec.une.cu

Resumen

El presente trabajo muestra la oportunidad de mejora que representa para el desempeño energético de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados Cienfuegos (ESTEC), la realización de un estudio preliminar para la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red, que sea capaz de generar por lo menos 30 % del consumo de la energía eléctrica que consume y el dimensionamiento de los principales equipos y componentes que necesita el sistema fotovoltaico.

Los módulos fotovoltaicos que se proponen instalar en las diferentes áreas de la empresa serán de 250 Wp, de 60 celdas y con dimensiones de 1660x990 mm, los inversores serán de diferentes potencias, acorde a la cantidad de módulos de cada local, pero todos serán trifásicos para facilitar el balance de las líneas eléctricas internas de los edificios.

De llevarse a vías de hecho la instalación de este sistema fotovoltaico en los locales estudiados pudieran aportar 77 % de la energía eléctrica que actualmente consume la empresa. Por este concepto se ahorran 151,80 Ton de combustible al año; representando, para el país un ahorro de \$ 121,42 CUC (MP), y se deja de emitir a la atmosfera 326,0 Ton de CO₂ al año.

Palabras clave: Oportunidad de mejora, sistema fotovoltaico de inyección a red; consumo de energía eléctrica, desempeño energético, oportunidad de mejora.

OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT IN SEARCH OF CLEANER PRODUCTIONS FROM A STUDY FOR THE DIMENSIONING OF PV SYSTEMS CONNECTED TO THE GRID

Abstract

This work shows the opportunity for improvement, which represents for the energy performance of the Company of Technical and Specialized Services Cienfuegos (ESTEC), conducting a preliminary study for the installation of a photovoltaic system of grid injection, which are capable of generating at least 30 % of the consumption of the electrical energy it consumes and the sizing of the main equipment and components that the photovoltaic system needs.

The photovoltaic modules that are proposed to be installed in the different facilities of the company will be 250 Wp, 60 cells and with dimensions of 1660x990 mm, the inverters will be of different powers, according to the number of modules of each premises, but all will be three-phase to facilitate the balance of the internal power lines of the buildings.

If the installation of this photovoltaic system is actually carried on the premises studied, they could contribute 77 % of the electricity currently consumed by the company. For this concept, 151,80 tons of fuel are saved per year; representing, for the country, a saving of \$ 121,42 CUC (MP), so it stops emitting 326,0 tons of CO₂ per year into the atmosphere.

Keywords: Opportunity for improvement, grid injection photovoltaic system; electricity consumption, energy performance.

I. Introducción

En mayo de 2004 el Sistema Electro-Energético Nacional se vio seriamente afectado, al producirse una avería durante un mantenimiento planificado de la termoeléctrica Antonio Guiteras. En ese contexto surge, como iniciativa de Fidel Castro, la Revolución Energética. Lo que comenzó como solución a un problema crítico se convirtió en una estrategia de uso racional de la energía.

La publicación de la Norma Internacional ISO 50001, el 15 de junio de 2011, adoptada en nuestro país en diciembre del propio año, proporcionó los requisitos que debe tener un Sistema de Gestión de la Energía, en una organización, para ayudarle a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia y reducir los impactos ambientales, como resultado de un enfoque integral en el que se combinen acciones y medidas técnico organizativas con proyectos de inversión; estableciendo objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso de la energía, incluyendo la medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y la adquisición de equipos, sistemas, procesos y el personal que contribuye a su desempeño energético.

Con la implantación de la NC-ISO 50001:2011, la empresa dispone de flexibilidad para aplicar su SGEN, es decir, determina el ritmo de avance, la extensión y la duración del proceso de mejora continua y define en su alcance y límites, lo que se incluye en su Sistema de Gestión.

La gestión del consumo y planes operativos de electricidad se han enfocado en dos direcciones fundamentales: la gestión eficiente de los planes de electricidad de cada uno de los servicios y la participación consciente de todo el personal de la organización, incluido el personal externo que trabaja para ella; acciones que permitan lograr un cambio de hábitos en el uso y consumo de la energía eléctrica y contribuyan a fortalecer la cultura energética de la empresa.

Como política energética de la empresa, la sistemática identificación y priorización de las oportunidades de mejora en el desempeño energético, representa uno de los aspectos más relevantes del sistema de gestión de la energía.

En virtud de lo anterior, la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red, le proporciona a la empresa las ventajas siguientes:

- Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión y de distribución de la energía eléctrica.
- Son sistemas modulares, lo que facilita su flexibilidad para adaptarse a diferentes tipos de aplicaciones y su instalación es relativamente sencilla.
- Tienen una larga duración. La vida útil de una planta fotovoltaica, la define la vida útil de sus componentes, principalmente el generador o módulo fotovoltaico, que constituye más de 50 % del valor de la instalación. Los módulos tienen una vida esperada de más de 25 años, y existen módulos de instalaciones aisladas de red que llevan funcionando más de 30 años sin problemas.

- No requieren apenas mantenimiento. El mantenimiento es escaso y no solo es conveniente hacerlo en las horas nocturnas para tener una disponibilidad diurna máxima, sino que es necesario para evitar que existan tensiones en los generadores.
- Las instalaciones fotovoltaicas son de una alta fiabilidad y disponibilidad operativa, del orden de 95 %.
- La producción eléctrica fotovoltaica ocurre sin combustión y a un nivel de temperatura comparativamente bajo. Los componentes, por consiguiente, no sufren carga térmica, tal y como es habitual, por ejemplo, en las calderas de calefacción.
- La obtención de energía eléctrica a partir de una fuente de energía solar fotovoltaica, contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂ y en menor medida de SO_x. Cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1 kg de CO₂, en el caso de comparar con generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 400 g de CO₂ al comparar con generación eléctrica de gas natural.

II. Desarrollo

Para el éxito del SGEN, además de lograr el nivel de competencia requerido en el personal asociado a los usos significativos de energía, la identificación e implementación de oportunidades de mejora constituye un elemento fundamental para el SGEN diseñado; pues se necesita de la participación consciente de todo el personal de la organización, incluido el personal externo que trabaja para ella.

En este sentido, durante la identificación de oportunidades de mejora el foco de atención se centra en las prácticas operacionales; es decir, en identificar las buenas prácticas de operación y potenciarlas en un futuro; en los aspectos tecnológicos, en detectar potenciales de ahorro a través de inversiones, remodelaciones o introducción de nuevos equipos y tecnología y en las ideas del personal asociado a los USEn y Auditorías Energéticas. Siempre teniendo como premisas que la elevación de la eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí: adquisición de nuevos equipos y tecnologías de alta eficiencia (inversión) lo cual requiere de mayores inversiones, pero el potencial de ahorro es más alto y mejor gestión energética, y a través de buenas prácticas de consumo, de operación y mantenimiento (administración de energía-medidas técnico organizativas) a menor costo, pero los resultados son más difíciles de conseguir y mantener.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de las especificaciones de adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía, para la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red que sea capaz de generar el consumo eléctrico total de la empresa, y el dimensionamiento de los principales equipos y componentes que componen el sistema fotovoltaico.

En dicho sistema se dispondrá de todo el equipamiento para el monitoreo total de la instalación, permitiendo visualizar todos los parámetros del sistema fotovoltaico y el de la red nacional en tiempo real.

Parte 1. Descripción integral de la empresa de servicios técnicos y especializados Cienfuegos y su contorno

Nombre, dirección y breve descripción de su misión

La Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos, pertenece a la Unión Eléctrica (UNE), y define como política: prestar servicios técnicos y especializados de montaje, mantenimiento, modernización y reparación a equipos de manera segura, eficaz, y a demanda de su tecnología con equipos que garanticen la exactitud y confiabilidad requeridas, mediante un proceso de innovación y producción más limpia que satisfaga las necesidades y expectativas de los clientes; con un enfoque global de pensamiento basado en riesgos para aprovechar oportunidades y prevenir resultados no deseados; promoviendo el desarrollo y bienestar de los recursos humanos, la creación colectiva y la participación de los trabajadores con un profundo respecto al medio ambiente a través de la prevención de la contaminación y la reducción del consumo de portadores energéticos.

Está ubicada en Carretera Castillo de Jagua km 4 1/2, Ciudad Nuclear, Cienfuegos, en los locales que ocupaba la Planta Electro Nuclear de Juraguá, en las coordenadas 22,06302 latitud norte y los 80,46872 de Latitud oeste, a unos 15 km al suroeste de la ciudad de Cienfuegos con la bahía entre los dos lugares, en un terreno llano y con pocos árboles que en algunos casos proyectan sombra sobre las áreas donde se prevé montar paneles, en cuyos casos habrá que tomar alguna decisión al respecto; no obstante durante el estudio se verá si hay que podar algún árbol o si las áreas que no tendrán sombra son suficientes para colocar la cantidad de paneles cuya generación abastezca las necesidades eléctricas de la Empresa.

Características de la radiación solar en la zona donde está ubicada la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos ESTEC

La Empresa se encuentra situada en un lugar privilegiado con relación a la energía solar que recibe. En la tabla 1 se puede apreciar que el valor promedio anual de la energía solar que se recibe en la superficie horizontal es de 5,32 kilowatt-hora por metro cuadrado en un día, lo que es mayor que el promedio anual de Cuba de 5. También se puede apreciar que el valor del coeficiente de transparencia de la atmósfera es siempre mayor que 0,5 y en abril, julio y agosto es superior a 0,6.

La Empresa está situada en el meridiano 80° 46' y sin embargo, el meridiano de referencia horaria para Cuba es el de Yateras, o sea, el 75°, de ahí que la diferencia entre el horario solar y el horario oficial sea como valor promedio en invierno de 22 minutos. A esa diferencia se le suma el horario de verano que es de una hora y da un valor promedio de una hora con 20 minutos.

En la tabla 2 se puede apreciar que en verano la diferencia entre el horario solar y el oficial es de aproximadamente una hora y veinte minutos en los meses de verano, y de 20 minutos en los de invierno, valor que depende del día del año.

También en la tabla 2 se puede apreciar la duración del día solar en dependencia del día del año. El día más largo es el solsticio de verano (21 de junio) y en Cienfuegos dura 13 horas con 22 minutos, mientras que el más corto, el solsticio de invierno (21 de diciembre), dura 10 horas con 38 minutos.

Cienfuegos, como toda Cuba se caracteriza por tener una alta nubosidad. Cuando hay poca nubosidad hay mucha radiación directa, y cuando hay mucha nubosidad hay poca radiación directa y mucha difusa. No obstante, los paneles fotovoltaicos aprovechan tanto la radiación difusa como la directa. La alta nubosidad es uno de los factores que influyen en la importancia o no de los sistemas de seguimiento solar para los paneles fotovoltaicos en el aumento de la eficiencia. Es precisamente por la alta nubosidad de Cuba que se recomienda poner los paneles fotovoltaicos en una posición fija, orientada hacia el Sur en la mayoría de los casos.

En la tabla 3 se puede determinar la composición de la radiación en Cienfuegos entre la directa y la difusa y se hace evidente la alta composición de la radiación difusa. Se aprecia que en febrero, en junio y en noviembre, la radiación difusa es superior a 40 %.

Para los efectos del cálculo de una instalación fotovoltaica se hace necesario conocer no solamente la radiación en el plano horizontal sino la que recibe el plano del panel en dependencia de su inclinación. También es necesario conocer la temperatura del aire, pues la eficiencia del panel depende de esa temperatura, cuando el panel se calienta, baja la eficiencia de generación.

Cuando los sistemas fotovoltaicos son conectados a la red nacional el ángulo de inclinación debe ser alrededor o inferior al ángulo de la latitud del lugar, siempre que se garantice la limpieza de los paneles; en el caso que nos ocupa el ángulo de inclinación de los paneles será de 15 grados respecto a la horizontal.

Tabla 1. Intensidad solar y transparencia atmosférica

Meses	Ho	Kt	Es
	Radiación sin atmósfera kWh/m ² .día	Coefficiente de transparencia atmosférica	Energía solar sobre el plano horizontal kWh/m ² .día
Enero	7,03	0,56	3,96
Febrero	8,10	0,56	4,55
Marzo	9,44	0,61	5,8
Abril	10,42	0,60	6,26
Mayo	10,89	0,58	6,3
Junio	11,00	0,53	5,78
Julio	10,90	0,62	6,78
Agosto	10,53	0,61	6,39
Septiembre	9,72	0,54	5,29
Octubre	8,51	0,54	4,6
Noviembre	7,30	0,59	4,31
Diciembre	6,71	0,58	3,86
Promedio	9,21	0,58	5,32

Tabla 2. Duración del día solar

Mes	Salida		Puesta		Salida		Puesta		Duración del día solar
	Hora solar		Hora solar		Hora oficial		Hora oficial		
	hora	min	hora	min	hora	min	hora	min	Horas
ene-01	6	39	17	21	7	04	17	47	10,71
ene-21	6	34	17	26	7	07	17	59	10,86
feb-01	6	29	17	31	7	04	18	07	11,05
feb-21	6	16	17	44	6	52	18	19	11,45
mar-01	6	11	17	49	6	46	18	23	11,62
mar-21	6	00	18	00	7	29	19	29	12,00
abr-01	5	53	18	07	7	20	19	33	12,22
abr-21	5	42	18	18	7	02	19	39	12,61
may-01	5	37	18	23	6	56	19	42	12,78
may-21	5	26	18	34	6	44	19	52	13,14
jun-01	5	24	18	36	6	44	19	56	13,20
jun-21	5	19	18	41	6	43	20	04	13,36
jul-01	5	21	18	39	6	47	20	04	13,29
jul-21	5	25	18	35	6	53	20	04	13,17
ago-01	5	29	18	31	6	58	19	59	13,01
ago-21	5	40	18	20	7	05	19	45	12,66
sep-01	5	47	18	13	7	09	19	35	12,44
sep-21	5	58	18	02	7	13	19	16	12,05
oct-01	6	03	17	57	7	14	19	08	11,89
oct-21	6	16	17	44	6	23	17	50	11,45
nov-01	6	23	17	37	6	29	17	43	11,22
nov-21	6	32	17	28	6	41	17	36	10,93
dic-01	6	36	17	24	6	47	17	35	10,80
dic-21	6	41	17	19	7	01	17	40	10,64

Tabla 3. Composición de la radiación solar sobre el plano horizontal

Mes	Radiación directa %	Radiación difusa %
Enero	60,6	39,4
Febrero	59,7	40,3
Marzo	64,4	35,6
Abril	68,8	31,2
Mayo	65,0	35,0
Junio	58,9	41,1
Julio	60,5	39,5
Agosto	62,1	37,9
Septiembre	60,5	39,5
Octubre	65,4	34,6
Noviembre	57,2	42,8
Diciembre	62,7	37,3

Sobre las áreas disponibles para la ubicación de los paneles solares

En la tabla 4 se muestra el listado de los locales estudiados con las áreas disponibles.

Los paneles se colocarán en los techos de los edificios y en el suelo con un ángulo de inclinación de 15 grados respecto al plano horizontal, con esto se logra que se puedan instalar hasta con 30 grados de azimut sin perder en la generación eléctrica de los mismos, y habrá que tenerlo en cuenta para que las filas de paneles no proyecten sombra unas a otras. Los locales objeto de estudio, todos están orientados con 30 grados de azimut, excepto el comedor de fertilizante que tiene 15 grados.

Como se puede apreciar en la tabla 5 el consumo de la Empresa en 2017 fue de 431,3 MWh, 2018 de 445,37 MWh, y en 2019 402,19 MWh, por lo que se necesita una gran cantidad de áreas disponibles en los techos y otros lugares para colocar la cantidad de módulos fotovoltaicos que generen la energía eléctrica necesaria.

Estudio de la sombra de diferentes obstáculos sobre el terreno

Para la selección de los lugares donde se van a colocar los paneles solares fotovoltaicos, así como para la

determinación de la separación entre paneles para que no se den sombra entre ellos, es necesario conocer la trayectoria solar durante el día y en todos los días del año. La sombra de edificaciones altas como las chimeneas y árboles pueden ser muy perjudiciales y limitar el área útil de las azoteas.

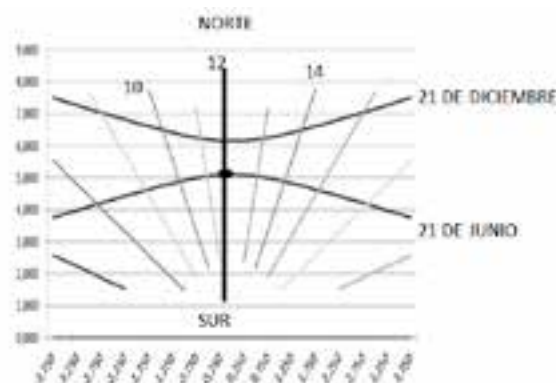


Fig. 1. Trayectoria de una sombra en dependencia de la hora del día y del año.

Tabla 4. Áreas disponibles para la colocación de paneles solares en los locales estudiados

Local	Dimensiones (m)		Área (m ²)		Observaciones
	Largo	Ancho	Áreas bruta	Área útil a ocupar por los paneles	
Administración complejo 1 (dos torres)	50	10	500	792	
	35	10	350		
Comedor central	36	15	540	396	Hay partes del techo con sombra
Administración complejo 2 más esquina	24	18	432	480	
	12	6	72		
Cámara fría	18	10	180	144	
Área frente al parqueo 2	40	18	720	648	
Hotelera	70	10	700	456	
Comedor fertilizante más otra parte	56	15	840	792	Hay partes del techo con sombra
	25	6	150		
Totales			4484	3708	

Tabla 5. Consumos de energía eléctrica en la ESTEC Cienfuegos

Consumos de energía eléctrica en la ESTEC Cienfuegos													
Año	E (kWh)	F (kWh)	M (kWh)	A (kWh)	M (kWh)	J (kWh)	J (kWh)	A (kWh)	S (kWh)	O (kWh)	N (kWh)	D (kWh)	Total (MWh)
2017	27 550	29 229	35 045	39 564	42 791	38 984	39 226	38 219	33 981	38 119	37 259	31 927	431,3
2018	28 053	30 228	33 722	37 717	39 727	44 032	40 569	33 998	39 220	42 937	40 468	34 696	445,37
2019	29 261	31 564	37 764	37 409	34 123	37 313	36 178	36 850	32 570	28 910	31 280	28 964	402,19

En los techos de los locales estudiados se tuvo en cuenta este fenómeno y se realizaron los cálculos para que las filas de paneles no se dieran sombra unas a otras, resultando que con 2,4 m entre el comienzo de filas no se proyectará dicha sombra en los horarios de 8 a 4 de la tarde.

Parte 2. Descripción de la instalación

Los módulos fotovoltaicos que se proponen instalar en todos los lugares serán de 250Wp, de 60 celdas y con dimensiones de 1660x990mm; los inversores serán de diferentes potencias acorde a la cantidad de módulos de cada local, pero todos serán trifásicos para facilitar el balance de las líneas eléctricas internas de los edificios.

En todos los lugares los paneles solares se colocarán con 15 grados de inclinación y orientados según el edificio, por lo que todos los que están en los techos tendrán un azimut de desviación respecto al sur.

Una vez que se conecten los sistemas fotovoltaicos a las redes de la Empresa, los transformadores que la alimentan trabajarán más descargados, de igual forma se mejorará el factor de potencia, pues los sistemas fotovoltaicos trabajan con factor de potencia uno, e incluso los inversores pueden programarse para que entreguen reactivo a la línea en que se conecten (Tabla 6).

En las Figs. 2-8, los módulos fotovoltaicos están colocados con la parte más larga en la vertical.

Tabla 6. Relación de áreas disponibles y equipos a instalar

Local	Áreas ocupada por los paneles(m ²)	Capacidad en el techo (kWp)	Módulos (250 Wp)	Inversores Pot. (kW)	Azimut	Observaciones
Administración Complejo No. 1	792	66	264	3X20 kW	30º S-E	En todos los locales, tanto los módulos como los inversores pudieran modificarse cuando se realice el proyecto ejecutivo
Comedor central	372	31	124	2X15 kW	30º S-E	
Administración Complejo No. 2	480	40	160	1X20y 1X15 kW	30º S-O	
Cámara fría	144	12	48	1X10 kW	30º S-E	
Área frente al parqueo 2	648	54	216	2X25 kW	30º S-E	
Hotelera 19	456	38	152	1X20 y 1X15 kW	30º S-E	
Comedor Fertilizante	792	66	264	3X20 kW	15ºS-E	
Totales	3684	307	1228	2 de 25 kW, 8 de 20 kW, 4 de 15 kW 1 de 10 kW		



Fig. 2. Comedor central.

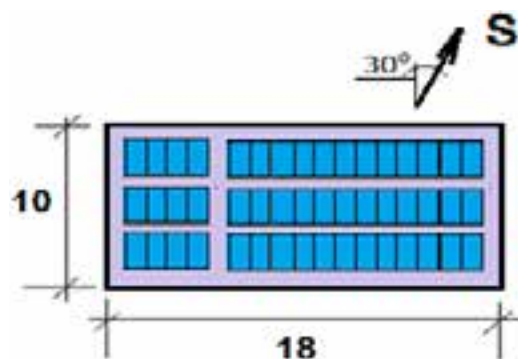


Fig. 3. Cámara fría.

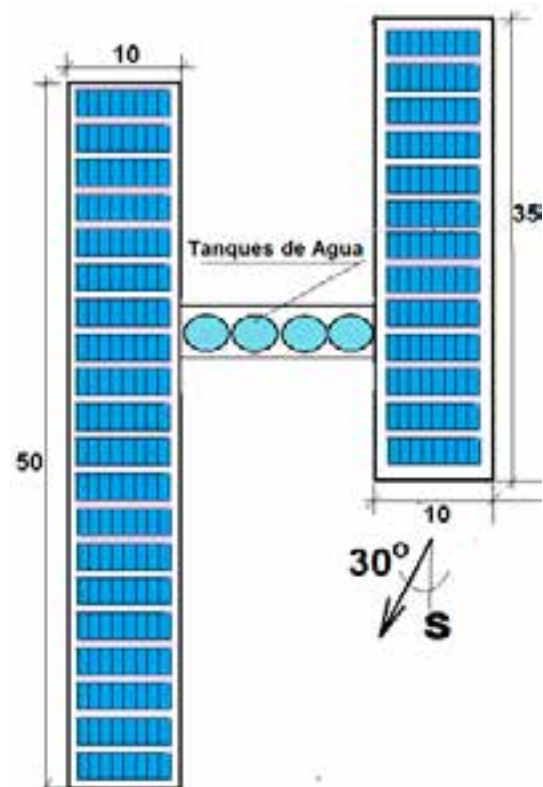


Fig. 4. Administración, Complejo 1.

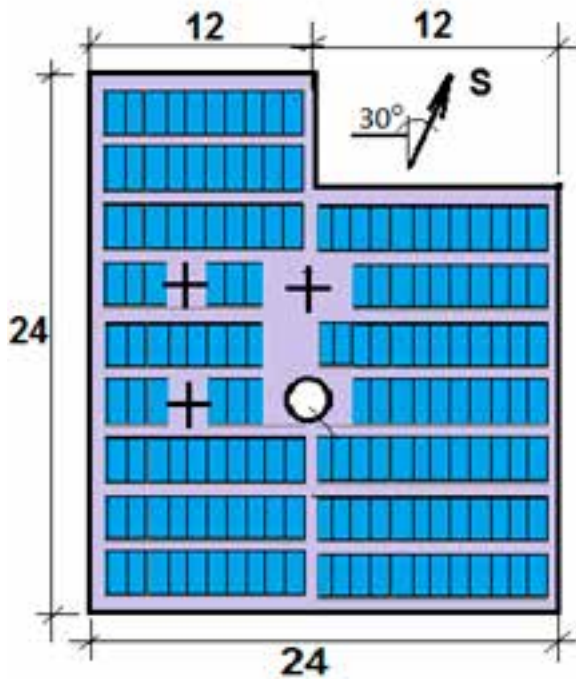


Fig. 5. Administración, Complejo 2.

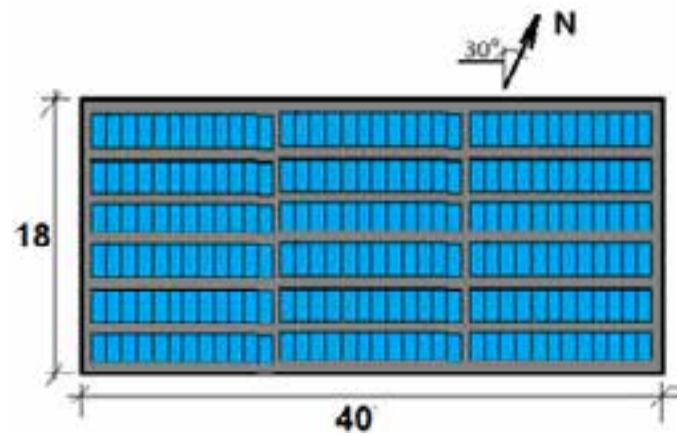


Fig. 6. Área frente al parqueo 2.

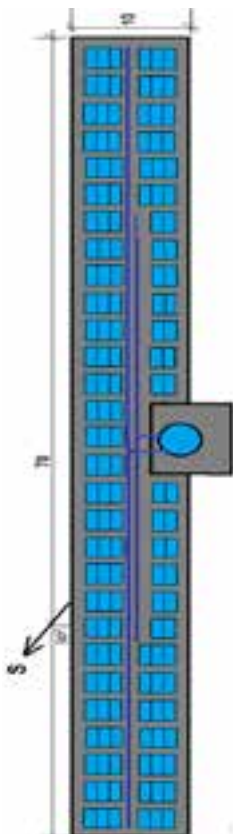


Fig. 7. Hotelera.

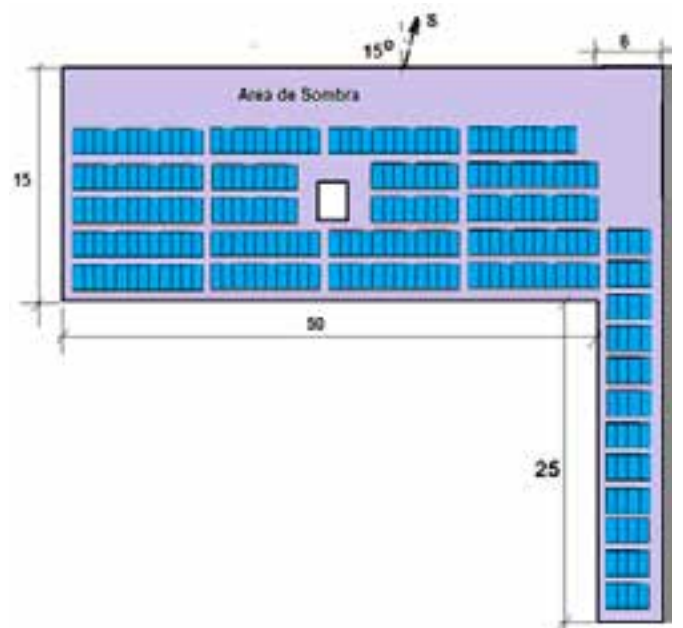


Fig. 8. Comedor fertilizante.

Análisis de la producción de energía

Como se expuso antes para realizar los cálculos de la producción de energía de la central fotovoltaica a proyectar, se hace necesario disponer de los datos de radiación solar de cada sitio donde se instalaran dichas centrales. A

partir de los valores de radiación solar, eficiencias de los diferentes equipos, ángulo de inclinación de los paneles y temperatura ambiente, con esta información podemos calcular la energía generada por la instalación para cada día, cada mes y la del año en (kWh/día), (kWh/mes) (Tabla 7).

Tabla 7. Generación total ESTEC

Cálculo de la producción de energía, Mes	Días	T _{MEDIA} (°C)	Radiación solar	Potencia	Generación
			HSP	kWp	kWh/mes
Enero	31	23,1	4,38	307	31,60
Feb	28	23,4	5,84	307	38,05
Marzo	31	24,6	5,71	307	41,19
Abril	30	25,6	5,91	307	41,26
Mayo	31	25,7	5,81	307	41,91
Junio	30	26,6	5,61	307	39,16
Julio	31	26,9	5,84	307	42,13
Agosto	31	27,1	5,85	307	42,20
Septiembre	30	26,5	5,29	307	36,93
Octubre	31	25,5	4,98	307	35,93
Noviembre	30	24,6	4,55	307	31,76
Diciembre	31	22,6	4,39	307	31,67
Energía total generada (kWh/año)					453,80
Generación específica kWh/kWp					1478,16

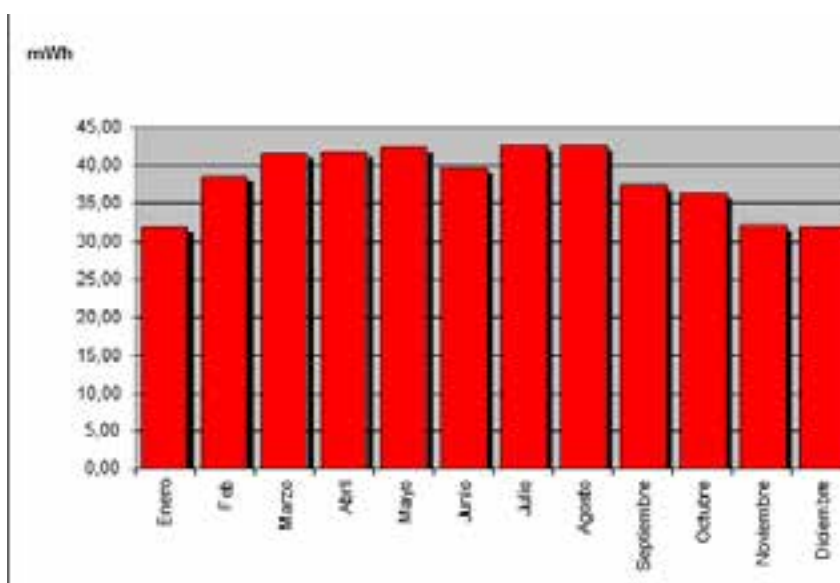


Fig. 9. Generación mensual.

Para estos cálculos, además de los valores que aparecen en esta tabla, como son temperatura media, la radiación, etc. Se utilizaron, los parámetros técnicos siguientes de los paneles (dados por los fabricantes):

1. Coeficiente de disminución de P vs. T del módulo: 0,45 %/°C
2. NOCT del módulo fotovoltaico: 46°C
3. Eficiencia del inversor inyección a red FV: 98 %
4. Eficiencia general del sistema: 95 %

5. Ángulo de inclinación del arreglo (óptimo): 15°
6. Coeficiente por envejecimiento y suciedad: 0,97

Para los cálculos de la energía generada se ha considerado, además,

- Que no existen sombras parciales o totales sobre la superficie de los módulos en ningún momento del día.
- Que no hay pérdidas de energía por disponibilidad de la red eléctrica.

- Que en invierno, en los días más cortos, los paneles puedan recibir ocho horas de sol.

A partir de los valores de radiación solar y temperatura ambiente para cada mes del año, y los otros valores de las tablas, podemos calcular la energía generada por la central para cada mes (MWh/mes). Si sumamos los valores, de todos los meses tendríamos la energía esperada por la instalación para todo el año (MWh/año).

Evaluación económica y ambiental

Tabla 8. Sistema Inyección a Red. Todos los locales Pot. 309 kWp

Parámetro	Valores	Unidades
Potencia del sistema fotovoltaico	307,00	kWp
Energía generada anualmente	453,80	MWh/año
Ahorro anual	117,99	miles CUC/año
Área que ocupan los paneles	3.684,00	m ²
Consumo actual, MWh/año	431,30	MWh/año
% del consumo actual que genera el sistema FV	105,22	%
Gases contaminantes CO ₂ que se dejan de emitir	317,66	toneladas/año
Cantidad de petróleo que no se quema	113,45	toneladas/año
Costo estimado de la inversión	614,00	miles de CUC
Generación específica	1478,16	kWh/año/kWp
Ciclo de Vida del Sistema (CV)	25,00	año
Energía generada en CV	11 344,88	MWh/CV
Costo kWh en el CV	0,054	CUC/kWh
Tiempo de recuperación(CUC)	5,20	año

III. Conclusiones

De llevarse a vías de hecho la instalación de este sistema fotovoltaico en los locales estudiados se podría generar 105,9 % del consumo total de electricidad de la ESTEC.

En caso de que no se pueda acometer la inversión completa por cualquier razón, se debería comenzar por la Administración del Complejo 1 y el Área Frente al Parqueo 2, pues estos dos sistemas pueden generar aproximadamente 44 % del consumo de la energía de la ESTEC y son de los más fáciles de instalar.

Si solo se pudiera realizar la instalación de un solo sistema este debería ser la Hotelera 19, pues ahí se puede generar 13 % del consumo total y 121 % del consumo de la instalación.

Se estima que el costo aproximado de estas instalaciones fotovoltaicas completas ya produciendo sea de unos 614 mil CUC, y que la recuperación de la divisa sea de alrededor de 5,2 años.



Fig. 10. Gráfico de consumo de electricidad. Facturación vs. Sistema FV de inyección a red.

Tabla 9. Cálculo de generación ESTEC por área

Nombre Servicio	Potencia Instalar (kW)	Generación (MWh/a)	Consumo 2017	% que cubre	Generación diaria
Complejo inmobiliario No. 1	70	150,00	100,74	148	0,410
Comedor central	30	100	164,70	97	0,438
Complejo inmobiliario No. 2	35	100	60,00	110	0,183
Cámara fría	15	100	85,00	100	0,246
Área frente parqueo	60	100	410,40	113	1,28
Hotelera 19	45	67,00	60,00	110	0,183
Centro Alimentación fertilizante	62	90,00	85,00	100	0,246
Total	317	467,00	410,40	113	1,28

IV- Bibliografía

- BORRITO NORDELO, A. (2013). «Recomendaciones Metodológicas para la guía de implementación de sistemas de gestión de energía según la ISO 50001». Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Editorial Universo Sur. ISBN- 978-959-257-360-4.
- CARRETERO PEÑA, A. Y GARCÍA SÁNCHEZ, J. M. (2015). «Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora». Edición 2015. ISBN- 978-84-8143-885-7.
- ISO. 2011. ISO 50001 (2011). «Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso. Ginebra: Organización Internacional de Normalización».
- LEDÓN DÍAZ NILO (2018). «Estudio para un sistema de generación de electricidad con paneles fotovoltaicos de inyección a red, para el autoabastecimiento eléctrico de la Empresa Servicios Técnicos Especializados de Cienfuegos». GenSolar, 2018.
- MORENO C. (2017). «Cuba hacia 100 % con energías renovables». ISSN: 1028-9925. Disponible en: www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia62/HTML/articulo02.htm
- PARTIDO COMUNISTA DE CUBA (2012). «Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución». Política energética. 247-2012.

Anexo

Características técnicas de los principales equipos y componentes

Cada uno de los productos elegidos para la ejecución de sistemas fotovoltaicos de inyección a red, son rigurosamente seleccionados con la más probada confiabilidad en condiciones tan adversas como: humedad, temperatura, salinidad, entre otras.

Durante el diseño de la instalación descrita en este documento, se respetó cada una de las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados. Forman parte de este trabajo todas las fichas y manuales del equipamiento elegido, los cuales deben ser consultados a la hora de instalar o modificar los sistemas. A continuación se muestran algunas de las características principales del equipamiento propuesto.

Módulo solar Yingli. YL250 Wp



Fig. 1. Módulo solar Yingli. YL250 Wp.

Está compuesto por la conexión de 60 celdas de silicio poli-cristalino de 156x156 mm. Capaz de entregar una potencia de 250 W, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², TC=25 °C y AM=1.5), este módulo en su punto de máxima potencia trabaja a 30,2 VDC. Es el responsable de transformar la luz solar en electricidad. Entre las principales características del módulo solar propuesto se encuentran las siguientes:

- Módulos de silicio con potencia de 250Wp $\pm$ 5 %.
- 60 celdas de 156x156 mm conectados en serie.
- Cara frontal protegida con vidrio templado de alta transmisividad.
- Laminado con dos capas de EVA (Etilen-Vinil Acetato).
- Cara posterior protegida con varias capas.
- Cajas de conexión exterior IP 65 con diodo bypass.
- Toma exterior de tierra.
- Marco de aluminio anodizado.
- Dimensiones: 1650x990x50 mm.
- Peso: 19,8 kg.

Inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER 20 000 y 25000TL



Fig. 2. Inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER

20 000 y 25000TL.

Son los encargados de inyectar a la red la energía generada por el arreglo fotovoltaico, entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Tabla 1. Características de inversor de inyección a RED de 20 y 25 kW, SUNNY TRIPOWER 20 000 y 25 000TL

Datos técnicos	SunnyTripower 20000TL	SunnyTripower 25 000TL
Entrada (CC)		
Potencia máxima de CC (con cos ϕ = 1)/potencia asignada de CC	20 440 W/20 440 W	25 550 W/25 550 W
Tensión de entrada máx.	1000 V	1000 V
Rango de tensión MPP/ tensión asignada de entrada	320 V a 800 V/600 V	390 V a 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./ de inicio	150 V/188 V	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, estradas: A/B	33 A/33 A	33 A/33 A
Número de entradas de MPP independiente/ strings por entrada de MPP	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	20 000 W	25 000 W
Potencia máx. aparente de CA	20 000 VA	25 000 V
Frecuencia de red de CA/rango	60 Hz/54 Hz a 65 HZ	

Inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER 15 000 TL)



Fig. 3. Inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER

15 000 TL).

Tabla 2. Datos técnicos de inversor de Inyección a red, de 15 kW (SUNNY TRIPOWER 15 000 TL)

Datos técnicos Inversor 15 kW	
Entrada (CC)	
Potencia máxima de CC (con $\cos \varphi = 1$) / potencia asignada de CC	15 330 W / 15 330 W
Tensión de entrada máx.	1000 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	240 V a 800 V / 600 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	150 V / 188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	33 A / 33 A
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP	2/A:3, B:3
Salida (CA)	
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	15 000 W
Potencia máx. aparente de CA	15 000 VA
Tensión nominal de CA	3 / N / PE, 220 V / 380 V
	3 / N / PE, 230 V / 400 V
	3 / N / PE, 240 V / 415 V
Rango de tensión de CA	180 V a 280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz
	50 Hz / 54 Hz a 65 Hz
Frecuencia asignada de red / tensión asignada de red	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida, corriente asignada de salida	29 A / 21,7 A
Factor de potencia a potencia asignada / Factor de desfase ajustable	1/0 inductivo a 0 capacitivo
THD	$\leq 3\%$
Fases de inyección / conexión	3/3
Rendimiento	

Rendimiento máx./europeo

Equipo de comunicación Cluster Controller



Fig. 4. Equipo de comunicación Cluster Controller.

Es el encargado de recoger continuamente los datos de los inversores, permitiendo informar del estado de la instalación. Este equipo multifuncional ofrece diversas posibilidades para la visualización de parámetros, archivo y procesamiento de los datos de la instalación. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Comunicación RS 485, hasta 50 inversores, 1200 m de cable.
- Conexión de internet.

98.4 % / 98.0 % Conexión a una red local.

- Tarjeta de memoria a partir de 16 MB.
- Indicadores del estado mediante LEDs.
- Tensión de alimentación: 115 -230 Vac 50/60 Hz.
- Consumo de potencia típico 4 W, máximo 12 W.
- Permite el control de todos los parámetros de la instalación.

Sensor de radiación y temperatura. SunnySensorBox



Fig. 5. Sensor de radiación y temperatura. SunnySensorBox.

Es el encargado de medir la irradiación solar. Se monta en intemperie junto a los paneles solares. La medición de la temperatura del módulo se realiza mediante un sensor de temperatura, también incluido en la entrega. A través

de la medición de la irradiación solar y la temperatura del módulo se puede calcular la potencia teórica y compararla con la potencia real del inversor. De esta forma se pueden detectar fácilmente los fallos del generador solar. Este sensor se conecta junto con los inversores al Web Box a través de la línea de datos RS 485. Desde el Web Box los datos pueden ser transferidos a una PC para su análisis. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Comunicación RS 485, hacia el Web Box.

- Sensor interno de radiación solar ASI, exactitud +/- 8%
- Sensor de temperatura (Pt 1000) adherible para temperatura del módulo.
- Dimensiones: 120x90x50 mm
- Peso 500 g

Cables y conectores MC para sistema fotovoltaico (DC)



Fig. 6. Cables y conectores MC para sistema fotovoltaico (DC).

Los cables y conectores son elementos indispensables para el transporte de la energía eléctrica; en el caso de los conectores de DC para los módulos fotovoltaicos, estos deben cumplir requerimientos adicionales. Basta solo mencionar que los módulos se encuentran en la intemperie, en sitios privilegiados por la radiación solar, por lo que los accesorios para el transporte de energía deben ser aptos para estas condiciones. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

Cables Flex-sol

- Cables clase-5, estañados.
- Doble aislamiento, con material aislante TPE-U.
- Libres de alógeno.
- Alta resistencia a agentes derivados del petróleo, grasas, oxígeno y ozono.

- Resistente a microbios.
- Resistente al UV.
- Alta resistencia a la abrasión y erosión.
- Rango de temperatura de trabajo: -40 °C hasta +110 °C.

Conectores MC-4



Fig. 7. Conectores MC-4.

- Sistema de cierre incorporado. Se necesita para desconectar y liberar el sistema.
- Protección eléctrica de los contactos ante el manejo.
- Alta estabilidad térmica.
- Resistente al UV, con IP-67
- Categoría II, deaislamiento.
- Normativas IEC (61215 y 61646)
- Rango de temperatura de trabajo: -40 °C hasta +90 °C.

Cables o conductores para AC

Como planteamos anteriormente los cables son elementos indispensables para el transporte de la energía eléctrica, para el caso de AC hemos elegidos conductores que presentan las siguientes características:

Cables RV-K

- Apto para todo tipo de instalaciones industriales de baja tensión.
- Alta flexibilidad.
- Pueden ser enterrados, instalados en tuberías o a la intemperie.
- Resistente a agentes minerales y hidrocarburos.
- Resistente al agua, incluye total inmersión.
- No propaga las llamas.
- Resistente a los impactos, AG-2.
- Rango de temperatura de trabajo: hasta +90 °C.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.