

POTENTIALITIES OF THE USE OF SOLAR ENERGY OF THE UNIVERSITY OF CIENFUEGOS

José Pedro Monteagudo-Yanes¹

E-mail: jpmyanes@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7234-7853>

Reinier Jiménez-Borges¹

E-mail: rmeca89@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-0322>

¹ Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Monteagudo-Yanes, J. P., & Jiménez-Borges, R. (2023). Potencialidades del uso de la energía solar en la sede central de la Universidad de Cienfuegos. *Revista UGC 1(2)*, 45-54.

RESUMEN

El presente trabajo aborda las posibles ventajas de utilización de los sistemas solares de energía en las sedes universitarias, caracterizadas por un alto consumo de energía eléctrica y tener, producto del elevado número de edificaciones, grandes áreas de cubiertas de techo que pueden ser utilizadas para esos fines, sin necesidad de usar áreas de terrenos que pueden ser empleadas en otros menesteres. El trabajo muestra que se puede satisfacer toda la demanda de agua caliente de una residencia estudiantil y de la cocina comedor, además entregar el 85% de la demanda de energía eléctrica de la institución, ello a un costo cercano a unos setecientos mil pesos, con una reducción anual de gastos en el orden de 100 000,00 lo que propicia un Período Simple de Recuperación de la Inversión de siete años. El proyecto propuesto garantiza además una reducción de emisiones de CO₂ en una magnitud de 570 t CO₂/año y la sostenibilidad energética del campus universitario en momentos difíciles de la economía nacional.

Palabras clave:

Sistema fotovoltaico, calentadores de agua, energía, universidad.

ABSTRACT

This paper addresses the possible advantages of using solar energy systems in university campuses, characterized by a high consumption of electricity and having, because of the large number of buildings, large areas of roof coverings that will be used for those ends, without the need to use land areas that can be used in other tasks. The work shows that all the hot water demand of a student residence and the kitchen / dining room will be met, as well as delivering 85% of the electric power demand of the institution. The cost is approximately seven hundred thousand pesos, with an annual reduction of expenses in the order of 100,000.00, which leads to a Simple Investment Recovery Period of seven years. The proposed project also guarantees a reduction of CO₂ emissions by 570 t CO₂ / year and the energy sustainability of the university campus during difficult times in the national economy.

Keywords:

Photovoltaic system, water heaters, university, energy.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias de incremento de los precios del petróleo en los últimos 40 años han puesto en situación muy difícil a las economías de los países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Si bien en el 2004 se consideraba increíble la suma de 50 \$/barril (Naffair & Lepic, 2005), ver oscilar los precios sobre los 70 \$/barril es algo común y cotidiano. El apropiarse del recurso energético constituye, en gran medida, la causa de las actuales guerras de deprecación de las grandes potencias sin tener en cuenta las limitaciones geológicas y las necesidades energéticas crecientes de los países en desarrollo.

La carencia de este importante recurso y los altos precios ponen en seria desventaja a los países insulares de frágiles economías. ¿Qué hacer en este contexto? Una posible vía de mitigación es acudir a las fuentes renovables de energía. Nuestros países reciben enormes cantidades de energía solar y bien utilizada puede propiciar solución a muchas necesidades cotidianas.

¿En qué magnitud el uso de la energía solar puede contribuir al desarrollo de la vida universitaria? El presente trabajo valora las potencialidades de utilización de la energía solar en una sede universitaria de la provincia de Cienfuegos en la República de Cuba.

La necesidad de ir a la utilización de las fuentes renovables de energía y en particular la energía solar está dado por la limitación de recursos energético en mucho de los países insulares y la tendencia a incrementar consumo de combustible fósiles en los próximos años como muestra la figura 1 (Latin American Energy Organization, 2011).

Se observa en la figura 1 que los pronósticos hasta el 2030 es continuar la tendencia ascendente del uso de los combustibles fósiles y no así las fuentes renovables a las que se les predice la tendencia a mantener los consumos de la actual década.

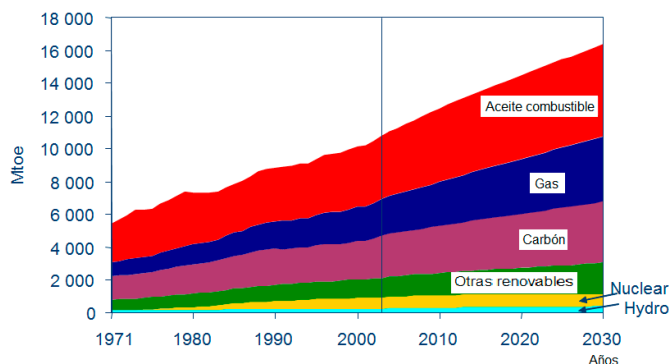


Figura 1. Pronóstico de la demanda mundial de combustible fósil.

La matriz eléctrica cubana a la que se aspira, dada en la figura 2 (Cuba. Ministerio de Energía y Minas, 2018) muestra que hoy resulta pobre el uso de las fuentes renovables de energía y que el salto esperado de 4 al 24% a alcanzar en el 2030 está sujeto a un proceso inversionista donde la energía solar tiene un papel poco significativo.

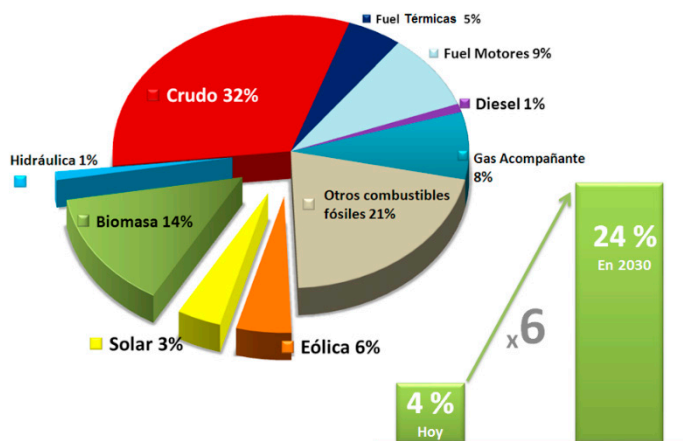








Figura 2. Matriz eléctrica de Cuba.

La tabla 1 ofrece los niveles de utilización esperados hasta el año 2030 de las fuentes renovables de energía en Cuba (Cuba. Ministerio de Energía y Minas, 2018) y observe en ella que no está prevista la utilización de la energía solar fotovoltaica en dependencias o edificaciones de la producción o los servicios públicas o privadas.

Los autores consideran que en las actuales condiciones política y económica del mundo es una estrategia sabia el considerar la utilización de la energía solar fotovoltaica en dependencias administrativas, productivas, educacionales y de salud, siempre instaladas sobre las cubiertas de las edificaciones, si el balance energético económico de la inversión así lo justifican.

Es por ello que en el trabajo que se presenta se muestran los cálculos preliminares técnico y económico del uso de tecnologías de la energía solar, fotovoltaica y térmica, en una de las sedes de la Universidad de Cienfuegos.

Tabla 1. Balance de las fuentes renovables de energía previsto para Cuba hasta el año 2030.

	Tecnologías	Instalado	Instalaciones
	Biomasa cañera	470 MW	57 Centrales Azucareros
	Eólica	11,1 MW	4 Parques Eólicos
	Solar Fotovoltaica	22 MW	14 Parques Solares Fotovoltaicos
		5 543 u	Escuelas Rurales
		467 u	Consultorios médicos
		1 882 u	Salas TV Rurales
		1 101 u	Viviendas aisladas
	Hydroenergía	64 MW	147 Hidroeléctricas
	Biogás	0,82 MW	5 Plantas
	Biomasa no cañera	0,50 MW	4 Plantas

DESARROLLO

El sistema eléctrico de la sede universitaria suministra energía a 26 edificios, entre áreas administrativas, docentes y laboratorios, biblioteca, cocina-comedor, talleres y otros. Se abastece la institución a 13,3 kV desde el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Cuenta de dos transformadores a la entrada en conexión estrella-delta ($Y\Delta$) que alimenta a todos los edificios. Otro de conexión estrella-estrella (YY) está destinado a la alimentación de las neveras y bombas de agua.

El sistema eléctrico universitario involucra un contador y un interruptor totalizador a la entrada de cada edificio para realizar el control del consumo de energía de cada instalación de forma independiente y tenerlo protegido contra sobre cargas que pudieran existir.

La potencia instalada y la energía consumida por las edificaciones en el período estudiado está dado en la tabla 2. Los registros son los reales perceptibles en el metro y no responden al producto del consumo diario multiplicado por los días del mes.

Para satisfacer la demanda total de energía eléctrica con un sistema solar fotovoltaico, sería necesario disponer de un sistema solar fotovoltaico que dotado de baterías pudiera enfrentar las cargas las 24 horas, lo que por una razón económica no es viable. Se valora equipar el campus universitario de un sistema solar fotovoltaico instalado en las cubiertas de los 26 edificios con el fin de no utilizar áreas aledañas que pueden aprovechar en jardines u otras edificaciones en un futuro.

El cálculo de los consumos energético se realizó a partir de las cargas instaladas en las edificaciones y el tiempo estimado de uso empleando el programa Audipre (Suelo Solar, 2019). En el anexo 1 se muestra una de las pantallas de cálculo.

Tabla 2. Potencia instalada y consumos de energía del campus universitario.

Edificios N°	Potencia instalada (kW)	Consumo diarios (kWh)	Consumos mensuales (kWh)
1 y 2	11,04	47,2	932,69
3 y 4	18,87	98,28	2 409,072
5	21,90	142,83	3 407,95
6	35,72	244,86	5 535,58
7	31,07	182,27	4 179,39

8	49,32	291,05	6 189,28
11	1,85	8,22	183,39
12	6,56	34,37	710,74
13	7,09	84,29	2 322,19
14	38,33	194,88	3 062,5
15	14,59	102,61	2 390,96
16	23,26	207,77	6 104,39
17	11,24	90,26	2 225,58
18	51,78	453,78	1 3459,92
19	9,27	73,23	1 733,42
20	7,55	46,04	1 135,27
21	25,89	65,47	1504,2
22	11,12	72,05	1 745,3
23	9,27	58,83	1 358,3
24	9,34	71,57	1 694,83
25	9,17	58,25	1 384,6
26	13,01	90,13	2 121,53
Total	417,24	2 718,24	65 791,09

Consumo de energía por calentamiento y cocción de alimentos en la residencia estudiantil.

Los mayores consumos de energía en el sector de la residencia estudiantil están dados por el uso de equipos de cocción y calentamiento de agua. La tabla 3 resume los consumos por los conceptos anteriores.

Tabla 3. Consumo energético mensual por calentamiento en la residencia estudiantil.

Equipos	Consumo mensual (kWh)
Calentadores	5 541,50
Cocinas	4173,65
Teteras	300,63
Ollas arroceras	168,00
Total	10 183,78

El consumo de energía por cocción y calentamiento de agua en la cocina comedor está dado en la tabla 4.

Tabla 4. Consumo de energía mensual por cocción y calentamiento de agua en la cocina comedor.

Equipos	Consumo GJ/mes
Tacho de 600 litros	106,56
Tacho de 500 litros	92,38
Fregadora de 140 litros	37,50
Total	236,44

El calentamiento mostrado en la tabla 4 representa un gasto de combustible en el generador de vapor de la cocina comedor en el orden de 3 300,00 litros de combustible mensuales. Como se aprecia en los datos anteriores, el uso de la energía solar puede satisfacer gran parte de la demanda de energía eléctrica y calentamiento de agua requerido por las edificaciones universitarias y la cocina comedor.

La Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” está ubicada en la Carretera a Rodas, Cuatro Caminos, en el km 3 1/2, en la ciudad de Cienfuegos. Cuenta con un número de veintiséis edificios distribuidos entre el Rectorado, Facultades Docente, Administrativos, Biblioteca, Cocina Comedor y Residencia Estudiantil. En la figura 3 se muestra la vista superior del campus universitario enmarcado dentro del borde rojo de línea discontinua (Tabla 5).



Figura 3. Vista satelital de la Universidad de Cienfuegos. Sede: “Carlos Rafael Rodríguez”.

El cálculo para determinar el aprovechamiento de las áreas de los techos para el montaje de los sistemas fotovoltaicos se realiza a partir del esquema dado en la figura 4. En ella se representan las edificaciones y el número para identificar sus funciones.

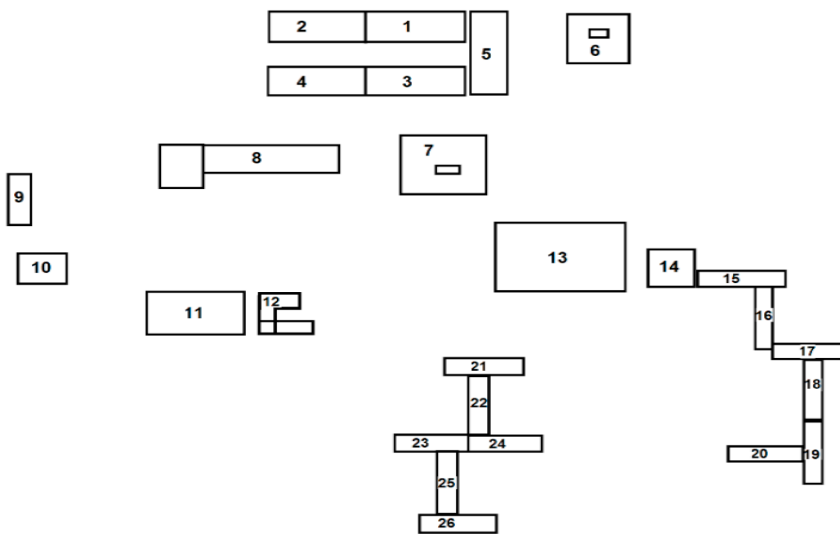


Figura 4. Denominación y funciones de los edificios del campus universitario.

Tabla 5. Edificios del campus universitario y funciones.

Edificio N°	Nombre	Funciones
1;2;3 y 4	Edificios docentes	Sala de conferencias y aulas. Teatro Universitario
5	Facultad Ciencias Económicas y Empresariales.	Decanato, Dptos. Docentes, Administrativos, Sec. Facultad etc.
6	Rectorado	Locales administrativos, Departamento Jurídico, Vicerrectorados, locales de consultores, asesores y auditores.
7	Edificios de la Biblioteca (CRAI) y Laboratorios de Informática	Gestión de la información científica y labores de informática

8	Facultad de Ingeniería.	Decanato, Laboratorios; Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente y Dptos. Docentes de Ing. Mecánica e Informática.
9	Laboratorio motores de combustión interna.	Prueba de motores y aula de clases.
10	Edificio laboratorio	Construcción paralizada.
11	Oficina de transporte, talleres y parqueo.	Administración y mantenimiento del parque automotor.
12	CENAN	Centro Nacional de Automatización Neumática (CENAN).
13	Cocina-Comedor	Cocción de alimentos y servicios.
14	Cafetería y Extensión Universitaria	Servicios de cafetería y el área de recreación estudiantil.
15,17,19,23,24, 25, 26	Residencia estudiantil	En los primeros pisos áreas administrativas y mantenimiento.
16	Residencia estudiantil extranjeros	Servicio de alojamiento a estudiantes.
20	Facultad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte.	Decanato, departamentos docentes y laboratorios
21	Facultad de Ciencias Humanísticas	Decanato, departamentos docentes y laboratorios
22	Facultad de Ciencias Agronómicas	Decanato, departamentos docentes y laboratorios
Nota: Todas las edificaciones son de 3 o 4 plantas.		

En la tabla 6 están dadas las dimensiones de cada edificio del campus universitario, mostrando largo y ancho en metros y el valor del área total en metros cuadrado. Además, se tiene en cuenta el espacio necesario para el mantenimiento y limpieza de los módulos y se ofrece el valor del área útil de cada superficie.

Tabla 6. Dimensiones de los edificios y área útil.

Edificios N°	Largo (m)	Ancho (m)	Área total del edificio (m ²)	Área útil del edificio (m ²)
1 y 2	90,8	11,4	1035,12	792
3 y 4	67,16	6,9	463,40	256
5	36,92	6,9	254,75	206,02
6	24	6	144	83,37
7	24,9	16,95	422,05	286
8	48,85	10,65	520,16	447,24
11	41,6	30	1248	702
12	23,77	11,96	284,45	200,96
15,17,20,21,23,24,26	42,32	8,15	345,07	226,19
16,18,19,22,25	42,32	8,15	345,07	226,19

El cálculo del sistema solar fotovoltaico se realiza siguiendo el método dado por López (López Seguel & al, 2013) y que de forma resumida aparecen los principales pasos en la tabla 7.

El inversor escogido para la instalación es el Sunny Tripower 25000LT, de fabricación alemana de 25 kW de potencia nominal, adecuado para el arreglo escogido para los paneles en forma de cadenas con una potencia de salida en cada cadena cercana a la potencia nominal del inversor, lo que define el uso de 1 inversor conectado a las 3 cadenas de 23 módulos en serie cada una, para cada subsistema. La unión de 4 subsistemas forma un sistema de 4 inversores y 273 módulos FV.

En las tablas 8 y 9 están dado los resultados de los cálculos del grado de inclinación de los paneles y los paneles e inversores por edificios y total.

El cálculo de los calentadores solares se realiza según Guevara Vásquez (2003); y Bériz Pérez & Alvarez González (2008). Los resultados obtenidos son datos en la tabla 10.

Tabla 7. Cálculo del sistema solar fotovoltaico.

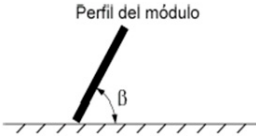
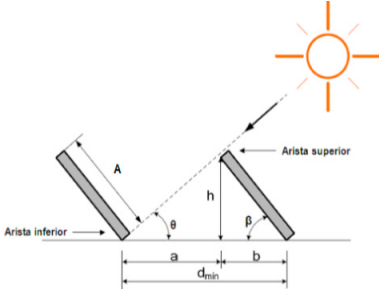
	Parámetro	Ecuación	Gráfico	Resultado
1	Carga y energía eléctrica consumida	Programa Audipre. Anexo 1	-----	Tabla 2
2	Calculo de las áreas útiles	Dimensiones edificios	-----	Tabla 6
3	Selección del módulo fotovoltaico, inversor y número de paneles. Módulo DSM-250. 60 celdas solares de 156X156 mm Policristalinas. Dimensiones del panel 690x992x35 mm. potencia de 250 Wp tolerancia ±3%, a condiciones estándar de radiación.	Selección según oferta	---	Catálogo
4	Selección inversor: Sunny Tripower 25000LT, de fabricación alemana de 25 kW.	Selección según oferta	---	Catálogo
5	Inclinación de los paneles	---		Tabla 8
6	Distancia mínima entre paneles			
7	Número máximo de filas de paneles (# filas paneles)		-----	Tabla 9
8	Cálculo de número total de paneles	-----	-----	Tabla 9
9	Cálculo del número de inversores	-----	-----	Tabla 9
10	Determinación de la energía generada (kWh/día)		-----	2 309

Tabla 8. Efecto del grado de inclinación de los paneles.

Grados de inclinación de los paneles							
5°	10°	15°	22°	25°	30°	35°	40°
Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			Inclinación adecuada para la provincia de Cienfuegos	Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			
-176	-59	-18		-23	-63	-103	-143
Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp				Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp			
-32,4	-11,4	-5,0		-6,4	-17,4	-28,5	-39,6

Tabla 9. Paneles e inversores por edificios y total.

Edificios No	Número de filas	Paneles por fila	Total de paneles	Inversores
1 y 2	7	53	357	11
3 y 4	3	39	114	4
5	27	3	78	3
6	3	12	60	2
7	10	13	130	4
8	7	29	189	6
11	14	23	320	10
12	7	13	140	4
15,17,20,21,23,24,26	4	24	616	20
16,18,19,22,25	31	3	450	15
Total			2 454	79

Tabla 10. Resultados del cálculo de los calentadores solares para el edificio 8 de la residencia estudiantil y la cocina comedor.

Estación	Radiación (kWh/m ² día)	N° de colectores
Residencia estudiantil		
Invierno	4,407	27
Cocina comedor		
Invierno	4,407	9

El uso de los calentadores solares al vacío para suministrar agua caliente a la residencia estudiantil (veintisiete) y los nueve calentadores a usar en la cocina comedor reducen el consumo de fuel oíl en el generador de vapor en 39 toneladas anuales que al costo a la fecha de \$446,23/ tonelada representa una un ahorro anual en el orden de 17 000,00 \$.

La capacidad calculada de generación del sistema fotovoltaico de 2 300 kWh/día puede satisfacer cerca del 85 % del consumo eléctrico diario del campus universitario cuyo valor medio es de 2 718 kWh/día. Asumiendo el menor valor del consumo específico de las centrales termoeléctricas cubanas en 270 g/kWh (Cuba. Oficina Nacional de Estadística e Información, 2016) ello representa dejar de combustionar en las centrales térmicas cubanas cerca de 223 toneladas de combustible al año que representan un ahorro de 99 400,00 \$ anuales.

La contaminación ambiental por emisión de CO₂ de las centrales térmicas cubanas está en el orden de 0,70 kg/kWh lo que para la cantidad de energía dejada de generar en la central representa una reducción de emisión de 570 t CO₂/año.

Considerando un costo medio de 1 400 \$USD/kWp (Stolik, 2019) que incluye la adquisición, montaje, software y otros servicios, la adquisición del parque fotovoltaico puede estar en el orden de 700 000 \$USD para el ahorro de cerca de 100 000,00 \$/año, el Periodo Simple de Recuperación de la Inversión (PSRI) está cerca de los 7 años, valor aceptable por el efecto combinado de satisfacer la demanda eléctrica con una alta reducción del impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad energética del campus universitario. .

CONCLUSIONES

Los parques solares propuesto para calentamiento de agua y generación de energía eléctrica para el campus universitario, puede satisfacer toda la demanda de agua caliente y cerca del 85 % de la demanda eléctrica.

La instalación de ambos sistemas debe propiciar a la universidad un ahorro anual en portadores energéticos cercano a los 100 000 pesos anuales. El campo solar propuesto puede representar para el país una reducción de emisiones de CO₂ en una magnitud de 570 t CO₂/año.

El parque propuesto debe tener un costo cercano a un millón de pesos, producir energía eléctrica que genera un ahorro 100 000,00 \$/año y tener un PRSI cercano a los siete años. También debe garantizar la sostenibilidad energética en momentos difíciles de la economía nacional y tener una vida útil superior a los 25 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bérriz Pérez, L., & Alvarez González, M. (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. Cubasolar.
- Cuba. Ministerio de Energía y Minas. (2018). Desarrollo de las fuentes renovables de energía y eficiencia energética. *Universidad 2018*. La Habana, Cuba.
- Cuba. Oficina Nacional de Estadística e Información. (2016). *Anuario Estadístico de Cuba 2015. Minería y Energía. Edición 2016*. ONEI.
- Guevara Vásquez, S. (2003). *Teoría para el diseño de calentadores solares de agua*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Latin American Energy Organization. (2011). *Statistical Review of World Energy*. OLADE. <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/goldenstein1/docs/bp2011.pdf>
- López Seguel, J., Seleme Junior, S. I., Donoso-García, P. F., Ferreira Morais, L. M., Cabaleiro Cortizo, P., & Severo Mendes, M. A. (2013). Methodology for the design of a stand-alone photovoltaic power supply. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21(3),380-393.
- Naffair, J., & Lepic, A. (2005). *El poder del petróleo en el siglo XXI*. Obtenido de Voltairenet.org. Red de Prensa No Alineados. <https://www.voltairenet.org/article124338.html>
- Stolik, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. Editorial Cubasolar.
- Suelo Solar. (2019). *Energías renovables*. <https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6496>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de consumo eléctrico teórico en acondicionamiento.

Título	Aires de Ventana Baja Efic.	Aires de Ventana Alta Efic.	Aires Centrales Baja Efic.	Aires Centrales Alta Efic.	Ventiladores	Televisores	Cocinas	Neveras		
Freezer	Lavadoras	Secadoras	Microondas	Motores Monofásicos	Motores Trifásicos	Oficina	Refrigeración	Equipos Adicionales	Luminarias	Total General

DESCRIPCIÓN	FECHA	AUDITOR	INCLUIR EN LOS RESUMENES
CÓDIGO			NO

PARTE I REGISTRO DE CONSUMO ELECTRICO TEÓRICO EN ACONDICIONAMIENTO													
VENTANA	BAJA EFICIENCIA												
	Capacidad del Equipo (BTU/h)	Eficiencia EER (BTU/h / W)	Potencia del Equipo (KW)	Cantidad de Equipos	Tiempo de Uso al Día				Horas diarias (Hrs / día)	Días de uso mensual (Días / mes)	Consumo Diario (KWH / día)	Consumo Mensual (KWH / mes)	Carga Conectada (KW)
					Hora 1 (0:00 - 24:00)		Hora 2 (0:00 - 24:00)						
					Encendido	Apagado	Encendido	Apagado					
5,000	7.50	0.667	3	0.01	16.30			16.29	30	32.58	977.40	2.00	
6,000	7.50	0.800						0.00		0.00	0.00	0.00	
9,000	7.50	1.200						0.00		0.00	0.00	0.00	
12,000	7.50	1.600						0.00		0.00	0.00	0.00	
15,000	7.50	2.000						0.00		0.00	0.00	0.00	
18,000	7.50	2.400						0.00		0.00	0.00	0.00	
21,000	7.50	2.800						0.00		0.00	0.00	0.00	
24,000	7.50	3.200						0.00		0.00	0.00	0.00	
36,000	7.50	4.800						0.00		0.00	0.00	0.00	
TOTAL ENERGÍA CONSUMIDA										32.58	977.40		
											Carga Conectada Total	2.00	