



Proyecto Energía, Desarrollo y Vida. EnDev/GIZ

Informe técnico

Evaluación de lámparas LED para Sistemas Pico Fotovoltaicos

Elaborado por:

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima
Facultad de Ciencias
Laboratorio de Fotometría

Informe Técnico: Evaluación de Lámparas LED para Sistemas Pico Fotovoltaicos

Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú
Prolongación Arenales 801
Lima 18, Perú
Teléfono: (511)422-9067
giz-peru@pe.giz.de

Esta publicación se realizó en el marco del Proyecto Energía, Desarrollo y Vida - EnDev/GIZ

Autor:

Manfred Horn – Escuela de Física de la Universidad Nacional de Ingeniería

Equipo Técnico

Angel Verástegui

Ana Moreno

Cuidado de edición:

Jossy Verde

Lima, Perú

Informe técnico

Evaluación de lámparas LED para Sistemas Pico Fotovoltaicos

Objetivo / Antecedentes

En apoyo a un proyecto del Ministerio de Energía y Minas de instalar en regiones remotas del Perú 50 000 sistemas Pico Fotovoltaicos, el Laboratorio de Fotometría de la Universidad Nacional de Ingeniería inició evaluaciones eléctricas y fotométricas de diferentes lámparas tipo LED, usadas en estos sistemas Pico FV. El objetivo fue seleccionar lámparas, en base a sus características técnicas medidas en el laboratorio, para ser evaluados después en un proyecto piloto de campo.

Posteriormente la GTZ se ofreció apoyar esta actividad, para lo cual se firmó el 11.11.2010 un contrato entre la GTZ y la UNI, en base al cual la UNI se comprometió evaluar 11 diferentes lámparas LED (de 7 diferentes fabricantes) para sistemas Pico FV. Según este contrato, el informe final era previsto para el 30.11.2010.

Las lámparas a evaluar fueron:

- A. Una lámpara Power Mundo / Nova (portátil)
- B. Una lámpara Phocos (portátil)
- C. Una lámpara Cosmos (portátil)
- D. Una lámpara Sundaya / Phaesun (fijo)
- E. Una lámpara Fosera 4200 (fijo)
- F. Una lámpara Fosera 7000 (fijo)
- G. Una lámpara Suntransfer 2 (portátil)
- H. Una lámpara Suntransfer 10 (fijo)
- I. Una lámpara Barefoot - Firefly 12 (tipo escritorio)
- J. Una lámpara Barefoot fijo
- K. Una lámpara Barefoot portátil

Las lámparas pueden ser clasificadas según su funcionalidad, es decir su posible uso:

- Las lámparas D, E, F, H y J son lámparas para ser instaladas en forma fija, colgando del techo.
- Las lámparas A, B C, G y K son portátiles, para ser usadas como linterna, pero también pueden ser colgados con un gancho desde el techo.
- Las lámparas E, F, H, y J tienen la(s) batería(s) y su circuito electrónico en una caja separada de las luminarias, mientras que en los otros casos las baterías y circuitos electrónicos están en la misma luminaria.
- Los tamaños varían bastante: la lámpara I es una pequeña lámpara de escritorio, con un campo de iluminación reducido, mientras, por el otro lado, la lámpara H representa en realidad un pequeño “Sistema Fotovoltaico Domiciliario”, (SHS: “solar home system”), con una caja con una batería de plomo de 12V, 216 Wh y regulador y con 4 lámparas (con socket E27) con sus respectivos cables e interruptores.

Si estas diferentes funcionalidades son ventajas o desventajas no puede ser evaluado en el laboratorio, sino solamente por un proyecto piloto con un grupo de usuarios.

En acuerdo con el contrato firmado entre la UNI y la GTZ, la UNI entregó el 30.11.2010 un informe a la GTZ, incluyendo los resultados de las mediciones realizadas con las lámparas disponibles. Sin embargo, en ese momento no se podía realizar las evaluaciones de todas las lámparas indicadas en la relación anterior, debido a que en algunos casos las lámparas o baterías entregadas estaban defectuosas.

Posteriormente hemos recibido nuevas lámparas y baterías en reemplazo de los equipos defectuosos anteriores, y, en algunos casos, nos entregaron versiones mejoradas.

El presente “Informe Técnico” presenta los resultados de las diferentes mediciones y evaluaciones que se han realizado con los últimos modelos de las once lámparas pico FV recibidos hasta el 18.01.2011, incluyendo cuadros comparativos de los resultados obtenidos. Los detalles (condiciones e incertidumbres de las mediciones, presentaciones gráficas de los resultados, etc.) están incluidos en anexos individuales para cada lámpara.

Lámparas evaluadas y sus especificaciones técnicas

En la Tabla 1 están indicadas las once lámparas LED a ser evaluadas y sus especificaciones técnicas según la información que hemos recibido de los respectivos fabricantes o sus representantes en el Perú. Los campos en blanco indican que no disponemos de la información respectiva, una x significa que no corresponde un valor en este campo. En algunos casos esta información está muy completa, en otros existe poca información técnica, particularmente en relación al flujo luminoso y el tiempo de encendido de las lámparas con sus baterías completamente cargadas.

En la columna 1 se indica el tipo de batería usada en cada lámpara: algunas usan baterías de plomo ácido (SLA: "Sealed Lead Acid" o Gel- Pb), otras de NiCd o Ni - MH, y otras usan baterías de Li - Ion, entendiéndose que estas últimas son las más modernas y más convenientes (con mayor vida útil y menor costo específico de energía almacenada), y las primeras las menos convenientes, particularmente por su vida útil menor (pero, por otro lado, con un costo inicial menor).

Las columnas 2, 3, 4 y 5 dan, respectivamente, el voltaje (en V), la capacidad de carga (en Ah), la energía almacenada (en Wh), y el número de baterías. Si hay más que una batería, la capacidad y energía indicadas se refieren a la capacidad y la energía del conjunto de baterías. Se observa una gran variedad de capacidad de las baterías de las diferentes lámparas, desde 3,2 Wh hasta 216 Wh.

En la mayoría de los casos la lámpara LED es vendido, como un kit, junto con un pequeño panel fotovoltaico. En estos casos, las columnas 6 - 10 indican los parámetros del panel fotovoltaico: su potencia nominal (W), voltaje y corriente en punto de máxima potencia, voltaje en circuito abierto y corriente en corto circuito, respectivamente.

Las columna 11 indica el número de diferentes intensidades luminosas que se puede seleccionar con cada lámpara (apretando varias veces un interruptor), la columna 12 da la potencia eléctrica de la lámpara, la columna 13 el flujo luminoso (en lumen, lm), la columna 14 el número de LEDs que tiene la lámpara y las columnas 15 - 18 los tiempos que la lámpara queda encendida en los diferentes niveles de intensidad luminosa (con la batería completamente cargada inicialmente).

TABLA No. 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS LÁMPARAS SEGÚN SUS FABRICANTES

Modelo de Lámpara	Fotos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		BATERIA					PANEL SOLAR					LED			Tiempo Encendido (h)					
		Química Tipo	Voltaje (V)	Capacidad (mAh)	Energía (Wh)	# de Bat.	Pm (W)	Vmpp (V)	Imp (A)	Voc (V)	Isc (A)	# Pos. Int.	P (W)	Po. Lu ¹ (Lumen s)	# de LEDs	Alta	Media	Baja	Muy Baja	
A	Nova		SLA	6	1300	7.8	1	1.3	8.5	0.153			4		1	6	10	20	200	
B	Phocos		Ni-MH	5	2100	10.5	4						3		120	1	6	17	55	x
C	Cosmos		Ni-MH	3.6	2050	7.4	3	2.8	4.8	0.580			3	1		1				x
D	Sundaya		Li-Ion	7.4	2250 ^{**}	16.7	2	3.6	17.0	0.210	21.3	0.260	3		200	12	6	12	60	x
E	Fosera 4200		Li-Ion	3.2	4200	13.4	3	2.5	4.3	0.578	5.2	0.636	1	1	100	4		x	x	x
F	Fosera 7000		Li-Ion	3.2	7000	22.4	5						1	1	200	8		x	x	x
G	Suntransfer 2 ^{***}		Gel-Pb	6	4500	27.0	1	5/2	9	0.55/0.22	10.8	0.61/0.25	3	1	100	1	6	15	150	x
H	Suntransfer 10		Gel-Pb	12	18000	216.0	1	10.0	17.4	0.570	21.0	0.630	1	1.3		4		x	x	x
I	Firefly 12		Ni-Cd	3.6	900	3.2	3	1.5	5.7	0.263	7.0	0.284	3	1.5	40	12	4	7	50	x
J	Barefoot Fijo		SLA	12	5000	60.0	1	5.0	17.0	0.290	21.6	0.340	1			12		x	x	x
K	Barefoot Móvil		Li-Ion	3.2	1500	4.8	1	1.5	5.7	0.263	7.0	0.284	1			12		x	x	x

¹ Flujo luminosa en la posición de máximo intensidad

^{**} Referencia de Fábrica = 30000 J que equivale a 2250 mAh a 3.7 V

^{***} Presenta 2 paneles solares de diferente potencia de 5 y 2 W con las que se puede cargar el equipo.

Medidas realizadas

Los resultados de todas las mediciones realizadas, con sus condiciones de medida e incertidumbres respectivas, están en ficheros individuales para cada lámpara, presentados como anexos al presente informe. En forma resumida, estos resultados están presentados en las Tablas 2 y 3.

En la Tabla 2 están resumidas las mediciones realizadas con las diferentes baterías: sus capacidades, en Ah y en Wh, sus eficiencias y su profundidad de descarga (DOD) en el uso normal. Las capacidades indicadas (columnas 1 y 3) se refieren a toda la carga eléctrica, y energía, almacenada en la batería, que es extraída inicialmente por el circuito y los LEDs propios de la lámpara y, una vez que la electrónica del equipo ha desconectado las LEDs, conectando una resistencia equivalente como carga hasta descargar por completo a la batería. La eficiencia de Coulomb (columna 5) indica el cociente entre carga eléctrica extraída (columna 1) y carga requerida para recargar nuevamente a la batería (columnas 2) y, en forma similar se define la eficiencia de energía (columna 6 = columnas 3 / columna 4). La profundidad de descarga, DOD (depth of discharge), columna 7, indica el porcentaje de la carga eléctrica de la batería que está usada hasta que la electrónica de la lámpara desconecta las LEDs de la batería.

En relación a las características de las baterías medidas, hay que anotar que sus capacidades están razonablemente cerca a sus valores nominales, observándose, como era de esperar, que las capacidades son mayores en regímenes de descarga lenta. El DOD de 60 % de la batería de la lámpara A indica una buena protección contra descargas profundas de esta batería de Pb, mientras que el alto DOD de las baterías G (Suntransfer 2), H (suntransfer 10) y J (Barefoot Fijo), también de Pb, nos hace pensar que estas baterías tendrán una vida bastante más corta. (Baterías de plomo ácido se "sulfatan" si están descargadas, resultando en una reducción de su capacidad de carga.) Por otro lado, los altos valores del DOD de las baterías de Li-Ion y Ni-MH de las otras lámparas B (Phocos), C (Cosmos), D (Sundaya), E (Fosera), F (Fosera), I (Firefly) y K (Barefoot Móvil) son razonables para este tipo de baterías.

TABLA No. 2: MEDICIONES DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS

	Lámpara	Fotos	Intensidad	1	2	3	4	5	6	7
				Carga (Ah)		Energía (Wh)		Eficiencia Carga Medidos		DOD (%)
				Descarga	Carga	Descarga	Carga	Coulomb	Energía	
A	Nova		Alta	1.34	1.45	7.99	9.53	0.92	0.83	0.60
B	Phocos		Media	1.98	1.99	9.86	11.93	0.99	0.83	0.99
C	Cosmos		Alta	2.00	2.09	7.20	9.14	0.96	0.79	0.99
D	Sundaya		Alta	2.17	2.17	16.43	17.18	1.00	0.96	0.86
E	Fosera 4200		4 LEDs	4.73	4.77	14.86	15.19	0.99	0.97	0.99
F	Fosera 7000		8 LEDs	7.71	7.77	24.60	25.95	0.99	0.95	0.98
G	Suntrasfer 2		Media	5.46	5.75	33.09	38.79	0.95	0.85	0.91
H	Suntrasfer 10		x	18.40	18.80	222.20	242.40	0.98	0.92	0.97
I	Firefly 12		Alta	0.67	0.78	2.36	3.38	0.86	0.70	0.97
J	Barefoot Fijo		x	4.89	4.96	58.41	63.50	0.99	0.92	0.95
K	Barefoot Móvil		x	0.96	1.53	2.98	5.19	0.63	0.57	0.97

En la tabla 3 están resumidas las mediciones fotométricas y eléctricas de las diferentes lámparas (una x significa que no corresponde un dato a este lugar): En las columnas 1 - 4 se indica los flujos luminosos (en lumen, lm) en los diferentes niveles de intensidad elegibles (en los casos que corresponde). Las lámparas fueron alimentadas a través de su propio circuito electrónico y por sus respectivas baterías, completamente cargadas. Las lámparas fueron colgadas en un fotómetro de esfera integradora (“esfera Ulbricht” de 1m de diámetro), midiendo los flujos luminosos con un espectrofotómetro y comparándolos con los obtenidos por lámparas patrón. Se corrigió el error que se produce por la absorción de la luz en la misma lámpara (importante especialmente en el caso de luminarias con partes de color oscuro), usando una lámpara auxiliar.

En las columnas 5 - 8 se indica las potencias eléctricas extraídas de las baterías (en Watt, W), para los diferentes niveles de intensidad, es decir se indica, en cada caso, el consumo total de las LEDs y sus circuitos electrónicos respectivos. En las columnas 9 - 12, se presentan las correspondientes eficacias, medidas en lm/W (columna 9 = columna 1 / columna 5, etc.). En las columnas 13 - 16 se da los tiempos que las lámparas quedan encendidas hasta que se apaguen automáticamente, en sus diferentes niveles de intensidad y con las baterías inicialmente completamente cargadas.

En la columna 18 se indica la iluminación máxima, I_b , medido en lux (lx), que se puede obtener en el borde de una mesa de 1 m², colocando la lámpara a h centímetros encima del centro de la mesa (h: en columna 19). h es ajustado para obtener un I_b máximo. La columna 17 indica la iluminación I_c que se mide en este caso en el centro de la mesa.

Las columnas 20 - 23 indican la reducción del flujo luminoso, en %; que se observa durante el tiempo que las lámparas están encendidas (columnas 13 - 16).

Una evaluación de estos datos indica:

Las diferentes lámparas tienen marcadas diferencias en su flujo luminoso y también en su eficacia luminosa.

- Los flujos luminosos más altos tienen las lámparas D: Sundaya (211 lm), B: phocos (129 lm) y F: Fosera 7000 (122 lm, con lámpara de 8 LEDs). En el caso de Sundaya y phocos, estos valores son ligeramente mayores que los indicados por sus fabricantes, en el caso de Fosera es menor (la lámpara está indicada con 200 lm). Las otras lámparas tienen flujos luminosos en el rango de 34 – 77 lm (en la posición “alta”).
- Las mejores eficacias luminosas, tienen las lámparas D: Sundaya, con 119 lm/W (en baja intensidad y 110 lm/W en los otros niveles de intensidad), F: Fosera 7000 (con lámpara de 8 LEDs), también con 119 lm/W, E: Fosera 4200 (con lámpara de 4 LEDs), de 111 lm/W y B: phocos, con 104 lm/W, en su posición de media potencia. Estos valores representan hoy en día el estado de arte. Le sigue K: Barefoot Móvil con

83 lm/W, J: Barefoot Fijo (75 lm/W) y B: phocos, con 72 lm/W en alta intensidad.

Se nota que las lámparas con varias LEDs de poca potencia cada uno (Sundaya y Fosera) tienen una mayor eficacia que las lámparas con una sola LED de potencia. Asimismo, la eficacia de una LED aumenta normalmente si se reduce su potencia. Esto es particularmente notorio en el caso de la lámpara B: phocos.

- Las eficacias luminosas más bajas, menos de 60 lm/W (lo que tiene una buena LFC), tienen las lámparas C: Cosmos (34 lm/W) A: Nova (47 - 56 lm/W), G: Suntransfer2 (29 - 50 lm/W), H: Suntransfer 10 (40 lm/W) y I: Firefly (43 - 53 lm/W).

El tiempo de encendido de estas lámparas es muy alto para Suntransfer 10 (30,5 h) y Suntransfer 2 (15,5 h), debido a la gran capacidad de las baterías de Pb de estos sistemas, seguido por Sundaya (7,6 h), Firefly 12 (5,6 h) y phocos (5,3 h). Todos los tiempos indicados corresponden a la intensidad más alta.

En relación a la iluminación que se puede obtener sobre una mesa de 1 m², con la Sundaya se obtiene una iluminación de 41 - 63 lx, con Fosera 7000 (8 LEDs) se obtiene 19 - 173 lx (20 - 66 lx con 4 LEDs), con phocos 25 - 134 lx, con Cosmos 21 - 85 lx, con Suntransfer 10 se obtiene 19 - 71 lx y con Barefoot fijo, 23 - 47 lx, siendo la iluminación con Sundaya la más uniforme. La iluminación obtenible con las otras lámparas no llega a 15 lx en todos puntos de la mesa.

Finalmente, la intensidad del flujo luminosa queda prácticamente constante durante todo el tiempo del encendido de las lámparas, con excepción de las lámparas Fosera 4200 y 7000 y la lámpara J: Barefoot fijo, cuyos flujos disminuyen paulatinamente hasta alcanzar, 56%, 74% y 43% de su flujo inicial. (En el caso de las lámparas Fosera, después de haber alcanzado estos flujos, hay en poco tiempo una reducción muy fuerte del flujo luminoso, sin que las lámparas se apagan por completo, sino que quedan prendidas con muy baja luminosidad hasta que las baterías se han descargado completamente.)

TABLA No. 3: MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS Y ELÉCTRICAS DE LAS LÁMPARAS

Modelo de Lámpara	Fotos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Flujo Luminoso (lm)				Potencia (W)				Eficacia (lm/W)				Tiempo Encendido (h)				Iluminación*			Δ I (%) **				
		Alta	Media	Baja	Muy Baja	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Alta	Media	Baja	Muy Baja	lc (lx)	lb (lx)	h (cm)	Alta	Media	Baja	Muy Baja	
A	Nova		49.0	32.3	17.5		1.04	0.64	0.31	0.03	47.1	50.5	56.4		4.8	8.4	21.0	302.0	53.2	12.1	53	92.6	97.5	97.0	80.0
B	Phocos		128.7	59.5	13.7	x	1.80	0.67	0.15	x	71.5	104.4	93.8	x	5.3	18.3	72.5	x	134.6	25.1	63	98.4	85.5	94.1	x
C	Cosmos		76.8	58.0	27.7	x	2.22	1.74	0.81	x	34.6	33.3	34.2	x	2.6	3.7	11.4	x	85.0	20.9	71	77.7	75.9	85.7	x
D	Sundaya		211.4	102.0	23.7	x	1.93	0.93	0.20	x	109.5	109.7	118.5	x	7.6	16.8	65.5	x	63.4	40.8	61	97.4	99.0	94.5	x
E	Fosera 4200		61.0	x	x	x	0.55	x	x	x	110.9	x	x	x	8.8	x	x	x	66.4	20.2	78	55.6	x	x	x
F	Fosera 7000		122.4	x	x	x	1.03	x	x	x	118.8	x	x	x	13.8	x	x	x	173.0	19.0	62	74.0	x	x	x
G	Suntransfer 2		75.4	35.7	5.1	x	1.60	0.71	0.15	x	47.2	50.3	28.8	x	15.5	46.2	222.8	x	86.9	12.4	78	96.6	84.2	99.0	x
H	Suntransfer 10		67.5	x	x	x	1.75	x	x	x	38.6	x	x	x	30.5	x	x	x	70.5	19.3	61	91.4	x	x	x
I	Firefly 12		34.0	18.3	2.2	x	0.64	0.33	0.05	x	38.6	55.4	43.6	x	5.6	10.5	x	x	x	x	x	14.1	18.4	x	x
J	Barefoot Fijo		53.8	105.8	x	x	0.72	1.37	x	x	74.7	77.3	x	x	x	47.9	x	x	47.1	22.6	96	x	42.7	x	x
K	Barefoot Móvil		53.3	x	x	x	0.64	x	x	x	83.2	x	x	x	4.6	x	x	x	50.7	11.4	93	95.4	x	x	x

x: no corresponde

* Iluminación máxima en lux, sobre una mesa de trabajo de 1 m² con la lámpara en la posición óptima

** Disminución en la intensidad de flujo luminoso a lo largo del tiempo de encendido en referencia al valor inicial (100%)

Al margen de las mediciones previstas en el contrato e indicadas en las Tablas 2 y 3, hemos evaluado si las lámparas producen interferencias con señales de TV o radio. Estas evaluaciones hemos hecho porque un proveedor de las lámparas que usa el equipo Suntransfer 10 (lámparas sin marca o identificación, tipo bola de vidrio pavonado, con socket de rosca E 27, para 12 V DC) nos informó de quejas de usuarios. Hemos verificado que las lámparas que hemos recibido con el equipo Suntransfer 10, efectivamente producen ruido de radiofrecuencias (producido por el balasto electrónico ubicada en la base de las lámparas) que interfiere con la señal VHF de estaciones TV de señal abierta. Con ninguna de las otras diez lámparas hemos observado esta interferencia.

Conclusiones

En primer lugar hay que anotar que los datos de las mediciones reportados en este informe corresponden a lámparas concretas que hemos recibido y no necesariamente representan los valores que se debe asignar a los modelos de las respectivas lámparas. Para obtener estos valores habría que evaluar varias lámparas, elegidas al azar, de cada modelo.

En segundo lugar, se observa que la tecnología de las lámparas pico FV está actualmente en pleno desarrollo tecnológico. Así, las nuevas lámparas, que hemos recibido durante la realización de estas medidas en reemplazo de lámparas anteriores del mismo modelo, son significativamente mejores, sobre todo en su eficacia luminosa.

A pesar de lo dicho anteriormente, considero que las mediciones realizadas permiten hacer algunas conclusiones y recomendaciones, tomando todas las mediciones en su conjunto:

- Para la evaluación de campo, con usuarios rurales, sería recomendable proponerles varios tipos de lámparas, es decir lámparas para colgar del techo como también lámparas portátiles tipo linterna.
- En el caso de lámparas para iluminación de una habitación, sería recomendable hacer una evaluación de campo con las lámparas Sundaya, Phocos y Fosera.
- En el caso de lámparas portátiles, sería recomendable hacer el estudio de campo con las lámparas phocos y Barefoot móvil.
- Como complemento se puede evaluar la aceptación de la lámpara Firefly 12.

Lima 31 de enero 2011



Manfred Horn
Profesor, Responsable del Laboratorio de Fotometría