



GUÍA DE LA IALA

G1067-1

CONSUMOS ELÉCTRICOS TOTALES DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

Edición 2.0

Diciembre de 2017



Puertos del Estado



HISTORIAL DEL DOCUMENTO

Las revisiones realizadas a este documento de la IALA se anotarán en el siguiente cuadro antes de la puesta en circulación de un documento revisado.

Fecha	Detalles	Aprobación
Mayo de 2009	1ª edición	Consejo 45
Diciembre de 2017	Todos los apartados revisados y actualizados tras la remaquetación del documento según la nueva estructura de documentación de la IALA. Actualizada para reflejar los desarrollos en tecnología y aclaración de los cálculos.	Consejo 65

La revisión de la traducción de este documento ha sido realizada por el grupo de trabajo de Puertos del Estado en el que han participado:

*Luis Martínez (Autoridad Portuaria de Vigo);
Enrique Abati (Autoridad Portuaria de Marín);
Juan Manuel Vidal (Autoridad Portuaria de Gijón);
Carlos Calvo (Autoridad Portuaria de Santander);
Cristina García-Capelo (Autoridad Portuaria de Bilbao);
José Luis Núñez (Autoridad Portuaria de Pasajes);
Juan Antonio Torres (Autoridad Portuaria de Huelva);*

*Septimio Andrés (Autoridad Portuaria de Sevilla);
Germán Gamarro (Autoridad Portuaria de Algeciras);
Santiago Tortosa (Autoridad Portuaria de Ceuta);
Jaime Arenas (Autoridad Portuaria de Baleares);
Antonio Cebrián y Guillermo Segador (Autoridad Portuaria de Barcelona);
José Carlos Díez (Puertos del Estado).*

Coordinación de la edición en español y edición final:

José Carlos Díez (Puertos del Estado)

NOTA: Puertos del Estado no se responsabiliza de los errores de interpretación que puedan producirse por terceros en el uso del contenido de este documento, que corresponde a una traducción del documento original de la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima y Autoridades de Faros (IALA) denominado según aparece en la carátula.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	6
2	CÓMO UTILIZAR ESTA GUÍA	6
3	PERSPECTIVA GENERAL DEL CONSUMO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN	6
3.1	Consumo en reposo	7
3.2	Consumos diurnos/nocturnos	7
3.3	Variación en la demanda de energía	7
4	VARIACIONES DE LOS CONSUMOS DIARIOS Y ESTACIONALES	8
4.1	Cómputo de un consumo diario	8
4.1.1	Ciclo de servicio	8
4.2	Variación estacional de los consumos diarios	8
5	CONSUMOS REALES	10
5.1	fuentes luminosas incandescentes	10
5.2	Fuentes luminosas LED	12
5.2.1	Fuentes luminosas LED complejas	12
5.3	Lámparas de halogenuros metálicos	13
5.4	Destellador / Dispositivo de control	13
5.5	Rotación de la óptica	14
5.6	señal sonora	14
5.7	Detector de niebla	15
5.8	Sistemas de supervisión y control	15
5.8.1	Equipos de control	15
5.8.2	Sistemas de supervisión	15
5.9	Controlador de carga	16
5.10	AIS	17
5.10.1	Generalidades	17
5.10.2	Cálculo de las necesidades de energía	17
5.10.3	Funcionamiento en modo FATDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo para Acceso Fijo)	18
5.11	RACON (Baliza activa de radar)	18
6	OTROS CONSUMOS	18
6.1	Consumos no esenciales	18
6.2	Ayudas estacionales	19
7	CONCLUSIÓN	19
8	ACRÓNIMOS	20
9	REFERENCIAS	20
ANEXO A	EXPLICACIÓN ADICIONAL AL CÁLCULO DE LAS HORAS DE LUZ DIURNA	21
ANEXO B	EJEMPLOS PRÁCTICOS	22



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de figuras

Figura 1	Perspectiva general de la estructura de la guía	6
Figura 2	Potencia de una lámpara en los destellos	10
Figura 3	Picos de potencia, E_{pico}	11

Índice de ecuaciones

Ecuación 1	Cálculo del consumo diario.....	8
Ecuación 2	Ciclo de servicio	8
Ecuación 3	Horas de luz diurna (grados)	9
Ecuación 4	Horas de oscuridad	10
Ecuación 5	Energía total de un destello.....	11
Ecuación 6	Aproximación a E_{pico}	11
Ecuación 7	Energía asociada a la potencia en régimen nominal.....	11
Ecuación 8	Consumo diario de energía durante los destellos	12
Ecuación 9	Energía diaria total de la lámpara de destellos.....	12
Ecuación 10	Consumo diario de una fuente luminosa LED compleja	13
Ecuación 11	Consumo diario de una óptica giratoria	13
Ecuación 12	Consumo diario de un destellador	13
Ecuación 13	Consumo diario de una óptica giratoria.....	14
Ecuación 14	Consumo diario de una óptica giratoria y fuente luminosa	14
Ecuación 15	Consumo diario de una señal sonora	14
Ecuación 16	Consumo diario de un detector de niebla.....	15
Ecuación 17	Consumo diario de un sistema de supervisión.....	15
Ecuación 18	Consumo diario de un sistema de supervisión.....	16
Ecuación 19	Consumo diario de un controlador de carga	16
Ecuación 20	Necesidad energética para el modo de funcionamiento RATDMA	17
Ecuación 21	Estimación del consumo de energía de un dispositivo AIS que transmite mensajes del Tipo 21 y 6.....	18
Ecuación 22	Consumo diario de un RACON	18
Ecuación 23	Ángulo de incidencia.....	21
Ecuación 24	Ángulo horario.....	21
Ecuación 25	Ángulo horario a la salida del sol	21
Ecuación 26	Tiempo entre la salida del sol y la puesta del sol - grados	21
Ecuación 27	Tiempo entre la salida del sol y la puesta del sol	21
Ecuación 28	Consumo diario de un detector de niebla.....	25



ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>Ecuación 29</i>	<i>Consumo diario de un sistema de supervisión.....</i>	<i>26</i>
<i>Ecuación 30</i>	<i>Consumo diario de un controlador de carga</i>	<i>26</i>
<i>Ecuación 31</i>	<i>Necesidad energética para el modo RATDMA</i>	<i>27</i>
<i>Ecuación 32</i>	<i>Estimación del consumo de energía de un dispositivo AIS que transmite mensajes del Tipo 21 y 6.....</i>	<i>27</i>
<i>Ecuación 33</i>	<i>Consumo diario de un RACON</i>	<i>28</i>

1 INTRODUCCIÓN

Al planificar el sistema de alimentación de una ayuda a la navegación marítima existente o nueva, es aconsejable elegir los equipos con el menor consumo energético para cumplir sus requisitos operacionales. Los equipos a alimentar han de considerarse con respecto al consumo y la eficacia e incluyen, pero no se limitan, a:

- Equipos de fuentes luminosas y ópticos;
- Ayudas radioeléctricas a la navegación;
- Señales sonoras;
- Sistemas de supervisión y control.

2 CÓMO UTILIZAR ESTA GUÍA

Este documento forma parte de un conjunto de guías y debe consultarse junto con las siguientes:

Guía G1067-0 de la IALA – Selección de sistemas de energía para ayudas a la navegación y equipos relacionados.

Guía 1067-2 de la IALA - Fuentes de energía.

Guía 1067-3 de la IALA - Almacenamiento de energía eléctrica para ayudas a la navegación.

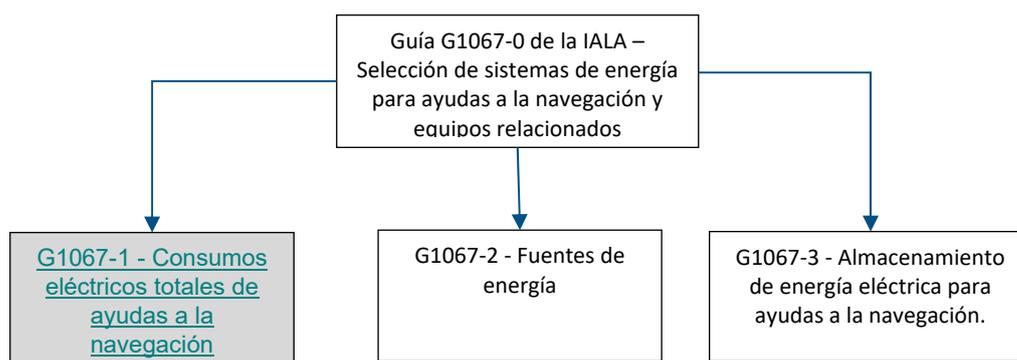


Figura 1 Perspectiva general de la estructura de la guía

3 PERSPECTIVA GENERAL DEL CONSUMO DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

Al determinar los consumos eléctricos totales de un sistema, se debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué necesita alimentación de energía? - Identificación de los equipos y del sistema que se trate.
- ¿Cuánta energía se necesita? - Identificación del consumo de energía de cada elemento en cada modo de funcionamiento.
- ¿Durante cuánto tiempo se necesita? - Cualquier carácter o ciclo de servicio durante los periodos de funcionamiento.
- ¿Cuándo se necesita? - A diario, estacionalmente, en función del tiempo o del tráfico, bajo demanda.

La primera tarea para establecer el consumo eléctrico total consiste en estimar el periodo de tiempo en que cada carga estará en funcionamiento. Esta estimación debe ser lo más precisa posible teniendo en cuenta que si la ayuda a la navegación sólo trabaja de noche, el tiempo de funcionamiento cambiará según las estaciones.



Un pequeño error en la estimación del tiempo de funcionamiento de los equipos, se acumulará día tras día, magnificando así el error a lo largo del año, lo que podría resultar crítico para las instalaciones en latitudes elevadas. Si no se dispone de información, se podrá considerar la situación del “peor caso” y diseñar el sistema basándose en la noche más larga del invierno.

El diseño debe garantizar que los dispositivos de conmutación crepuscular enciendan y apaguen la luz al nivel adecuado para que coincidan con los periodos de funcionamiento calculados. En las latitudes más elevadas, habrá un efecto estacional muy marcado en los periodos de encendido de las luces.

Es aconsejable considerar el efecto de un posible fallo en alguno de los subsistemas de la ayuda a la navegación con respecto al consumo total del sistema. Se debe instar a los fabricantes a revelar los tipos de fallo más probables y el escenario correspondiente al consumo de energía en los equipos que han suministrado.

3.1 CONSUMO EN REPOSO

El consumo en reposo es la necesidad energética de un equipo mientras está en estado de reposo, a la escucha o realizando una supervisión. En general, los transceptores (transmisores-receptores) tienen diferentes consumos mientras transmiten y mientras están a la escucha. Los controladores de carga suelen consumir más energía durante el día, cuando efectúan los procesos de control, que de noche o cuando la batería se encuentre totalmente cargada.

3.2 CONSUMOS DIURNOS/NOCTURNOS

Los consumos diurnos o nocturnos pueden oscilar considerablemente de una temporada a otra. A título de ejemplo, una luz que trabaje de noche a 58 grados de latitud norte estará en funcionamiento unas 18 horas en diciembre y menos de 6 horas en junio. Estas diferencias pueden tener un impacto importante en el dimensionado de la fuente de alimentación y el sistema de almacenamiento de energía eléctrica. La eficiencia energética cobra mucha importancia en las latitudes más altas. Por ejemplo, 5 mA de gasto diario en reposo para una linterna puede parecer poco, pero para un periodo de autonomía previsto de 60 días, se genera una capacidad adicional en la batería de 7 Ah para permitir dicha corriente en reposo.

3.3 VARIACIÓN EN LA DEMANDA DE ENERGÍA

La demanda de energía en los emplazamientos de ayudas a la navegación se ve afectada por numerosos factores, que incluyen, pero no se limitan a:

- Temperatura de la región;
- Consumos diurnos/nocturnos;
- Latitud;
- Condiciones meteorológicas;
- Tipos de equipos y el modo de funcionamiento;
- Picos de demanda.

Las temperaturas extremas y las fluctuaciones de tensión también pueden causar variaciones en la energía que se consume. Una carga resistiva disipará más energía a medida que la tensión se incrementa. Muchos otros componentes también podrán mostrar este tipo de comportamiento.

Los sistemas que operan durante el día en ayudas a la navegación con alimentación fotovoltaica suelen estar expuestos a mayores tensiones mientras el conjunto fotovoltaico intenta recargar la batería. Los componentes utilizados deberán soportar dichas variaciones. El consumo de energía se determinará para las tensiones nominales de funcionamiento.

En zonas donde suele haber mucha nubosidad o nieblas, es importante la configuración correcta del umbral de encendido y apagado de luces. Si es demasiado alto, es posible que, en días nublados, se retrase el apagado de la luz muchas horas con respecto a la prevista, lo que aumentará la descarga de la batería.

Los consumos que tienen lugar tanto de día como de noche pueden encontrarse con diferentes tensiones del sistema y, por lo tanto, puede que sea necesario calcular una media para pronosticar con precisión el funcionamiento del mismo. También, el consumo de energía de algunas cargas varía a medida que la temperatura cambia con las condiciones ambientales.

En función de la latitud, se tendrán que ajustar las demandas energéticas para tener en cuenta la variación de los periodos nocturnos, siendo esta variación estacional una consideración de mucho peso con respecto a los consumos en determinadas latitudes.

Un perfil de gasto energético preciso proporcionado por el proveedor y una idea de las condiciones de funcionamiento son muy útiles a la hora de estimar las necesidades reales de energía. Las mediciones (o cálculos) en el emplazamiento de la ayuda a la navegación son vitales para confirmar la idoneidad del diseño del sistema de energía.

Además de los factores anteriores, debe realizarse un cuidadoso diseño de la infraestructura de distribución para garantizar que los picos de corriente o tensión instantáneos sean absorbidos sin ejercer un impacto en el funcionamiento de los equipos. Este factor es cada vez más crítico para las modernas ayudas a la navegación electrónicas y radioeléctricas.

4 VARIACIONES DE LOS CONSUMOS DIARIOS Y ESTACIONALES

NOTA: Este apartado debe leerse junto con la *Guía 1038 de la IALA – Métodos y niveles de luz ambiental para la activación de luces de ayudas a la navegación*.

4.1 CÓMPUTO DE UN CONSUMO DIARIO

El aspecto más importante del diseño de un sistema alimentado por una batería primaria o acumulador es el cálculo del consumo diario (E_{CD}) de cada elemento del sistema, que suele expresarse en vatio-horas al día (Wh/día).

$$E_{CD} = \text{Consumo} \times \text{Duración del funcionamiento al día}$$

Ecuación 1 Cálculo del consumo diario

Donde:

E_{CD} es el consumo diario de energía, medido en vatio-horas (Wh)

Consumo es el gasto energético de los equipos, medido en vatios (W)

Duración es el funcionamiento efectivo por día, medido en horas (h)

4.1.1 CICLO DE SERVICIO

Si el consumo es cíclico, el cálculo del consumo diario de energía se puede modificar mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Ciclo de servicio} = \frac{\text{Tiempo ENCENDIDO}}{\text{Tiempo ENCENDIDO} + \text{Tiempo APAGADO}}$$

Ecuación 2 Ciclo de servicio

4.2 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LOS CONSUMOS DIARIOS

Los consumos controlados por la duración de la luz solar, que funcionan solamente por el día o solo por la noche, son más difíciles de pronosticar. Al cambiar el número de horas de luz de cada día, también cambiará el consumo de un día para otro. La mayoría de los sistemas de alimentación se calculan para el consumo diario de energía más elevado. En el hemisferio norte, esto ocurre en torno al 21 de diciembre para el consumo nocturno y alrededor del 21 de junio para el consumo diurno, mientras que en el hemisferio sur se invierten las fechas. Un método más preciso es utilizar un programa informático, o emplear una hoja de cálculo informática, para calcular

el consumo de cada día del año y, posteriormente, analizar el balance energético durante el periodo de funcionamiento más exigente.

Suponiendo que los equipos encienden o se apagan con la salida o la puesta del sol, el primer paso para determinar los consumos diarios consiste en calcular el número de horas de luz o, alternativamente, de oscuridad. El número de horas de luz diurna, $H_{\text{luz diurna}}$, se define por el número de horas entre la salida y la puesta del sol. El número de horas de oscuridad en un día, $H_{\text{oscuridad}}$, se define por el número de horas entre la puesta y la salida del sol. Se puede emplear la siguiente ecuación para calcular el número de horas de luz diurna. Cabe señalar que la ecuación es una aproximación y que es más precisa en la zona ecuatorial. Se han adoptado las aproximaciones debido al hecho de que la tierra es un esferoide achatado y para tener en cuenta los efectos de la refracción de la atmósfera. Se pueden utilizar diversos métodos alternativos para calcular las horas disponibles de luz diurna, pero será necesario comprobarlos con estas ecuaciones o con los resultados de mediciones.

Si todos los cálculos se hacen en grados, será:

$$H_{\text{luz diurna}} = \left(\frac{2}{15}\right) \text{arc cos} \left[\frac{-0,0151 - \sin L \times \sin D}{\cos L \times \cos D} \right]$$

Ecuación 3 Horas de luz diurna (grados)

Donde:

$H_{\text{luz diurna}}$ es el número de horas entre la salida y la puesta del sol.

L es la latitud del emplazamiento; valores positivos para latitudes del norte y negativos para las del sur.

D es la declinación del sol; valores positivos para declinaciones del norte y negativos para las del sur.

Nota: El número -0,0151 se aplica para corregir en el cálculo los efectos del semidiámetro y la refracción.

Nota sobre la declinación:

La declinación del sol oscila entre 23,45° S (-23,45°) y 23,45° N (+23,45°). El día con el mayor número de horas de oscuridad coincide con el solsticio de invierno. La declinación en la fecha del solsticio de invierno del hemisferio norte es 23,45° S (-23,45°). La declinación en la fecha del solsticio de invierno del hemisferio sur es 23,45° N (+23,45°).

Para determinar D para su utilización en la Ecuación 3 y la Ecuación 4, deben considerarse tres diferentes escenarios en función de la fecha del calendario Juliano que se vaya a utilizar. Se puede aproximar la declinación del sol (D) en grados como:

$$D = 23,45 \sin(1.008(n-80)) \quad \text{para } n = 1 - 80$$

$$D = 23,45 \sin(0.965(n-80)) \quad \text{para } n = 81 - 266$$

$$D = -23,45 \sin(0.975(n-266)) \quad \text{para } n = 267 - 365$$

Donde n es la fecha juliana y todos los cálculos se hacen en grados.

Nota sobre las latitudes altas

El cálculo teórico anterior (Ecuación 3 y la Ecuación 4) no es posible matemáticamente para latitudes superiores a 65,6° durante ciertos periodos del año y, por lo tanto, la siguiente relación de cálculo debe sustituirse por el valor de 1 o -1. Así, el siguiente factor de la ecuación de $H_{\text{luz diurna}}$ (ver ecuación 3)

$$\left[\frac{-0,0151 - \sin L \times \sin D}{\cos L \times \cos D} \right]$$

será inferior a -1 para una parte del año y mayor de +1 para otra parte diferente del año. Durante estos periodos del año, $H_{\text{luz diurna}}$ se convierte en:

Si $\left[\frac{-0,0151 - \sin L \times \sin D}{\cos L \times \cos D} \right] < -1$, entonces $H_{\text{luz diurna}} = 24$ (el sol no se pone).

El número de horas entre la puesta y la salida del sol, $H_{\text{oscuridad}}$, se puede calcular con facilidad.

Si $\left[\frac{-0,0151 - \sin L \times \sin D}{\cos L \times \cos D} \right] > -1$, entonces $H_{\text{luz diurna}} = 0$ (el sol no sale).

empleando $H_{\text{luz diurna}}$:

$$H_{\text{oscuridad}} = 24 - H_{\text{luz diurna}}$$

Ecuación 4 Horas de oscuridad

Horas de funcionamiento

Las horas de funcionamiento suelen corresponder a las horas de oscuridad ($H_{\text{oscuridad}}$), pero se podría alargar el número de horas de funcionamiento debido a legislaciones nacionales, por ejemplo. Cuando así suceda, aplicaremos un factor de corrección para modificar $H_{\text{oscuridad}}$.

Ésta es una cifra teórica, ya que las ayudas a la navegación apagan y encienden en la práctica mediante una fotocélula. Es posible que el valor real supere esta cifra en función de las condiciones climáticas, las condiciones locales, las sombras y los ajustes de la fotocélula. Para tener en cuenta estas variaciones, particularmente en latitudes altas, se puede aplicar a la ecuación un factor de seguridad.

5 CONSUMOS REALES

5.1 FUENTES LUMINOSAS INCANDESCENTES

NOTA: Bajo el epígrafe “Fuentes Luminosas”, sólo se tratan las lámparas de incandescencia. Las luces LED se tratan en el apartado 5.2. Se examinará la inclusión de otras fuentes y, si fuera necesario, se modificará el cálculo.

El consumo más característico de todo tipo de ayuda a la navegación es el de la luz. Las lámparas se clasifican según la tensión, intensidad o potencia de las mismas. Las lámparas que trabajan con una tensión regulada procedente de un destellador o un regulador de tensión consumen la intensidad de corriente nominal o teórica. Por ejemplo, una lámpara incandescente de 12 voltios a 100 vatios consumirá 8,33 amperios a la tensión nominal. Dicho cálculo se aplica a lámparas incandescentes con un régimen de funcionamiento fijo. Aunque se ahorre energía durante las ocultaciones, las lámparas durante el destello consumen más intensidad de corriente que la nominal a causa de las extracorrientes de pico, tal y como se muestra en la Figura 2

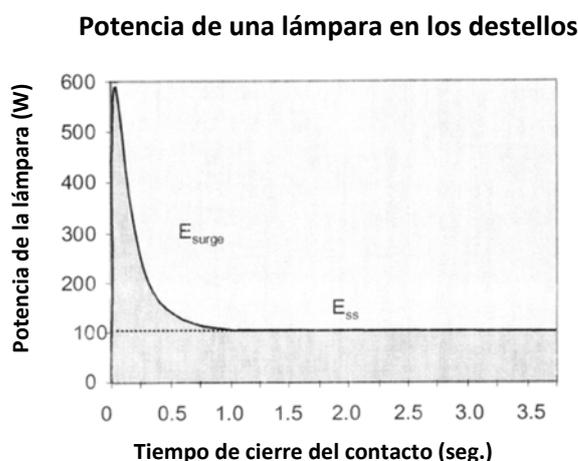


Figura 2 Potencia de una lámpara en los destellos

La zona por debajo de la curva representa la energía (E). La energía consumida durante un destello (E_1) se puede dividir en 2 partes:

$$E_1 = E_{\text{pico}} + E_n$$

Ecuación 5 Energía total de un destello

Donde:

E_1 es la energía consumida durante un destello.

E_{pico} es la parte de la energía consumida asociada con los picos, representada por la zona superior de la curva en la Figura 3.

E_n es la energía asociados con la potencia nominal, representada por la zona rectangular en la Figura 3.

Consideremos E_{pico} para cualquier lámpara dada. E_{pico} puede considerarse como un constante. En la Figura 3, se muestra una gráfica del factor de pico de las lámparas incandescentes características de las ayudas a la navegación.

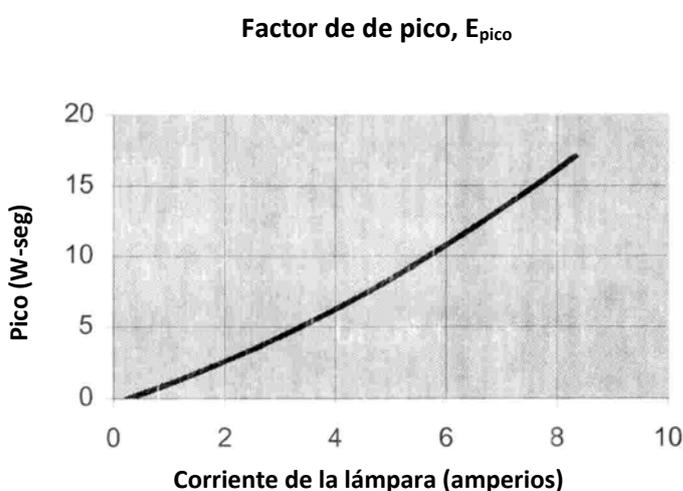


Figura 3 Factor de pico, E_{pico}

La E_{pico} se calcula de manera aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$E_{\text{pico}} = 0,1019 \times I^2 + 1,24 \times I - 0,3341$$

Ecuación 6 Aproximación a E_{pico}

Donde:

I es la corriente de la lámpara en amperios

E_{pico} se expresa en vatios-segundo

Ahora, consideremos E_n :

$$E_n = P_n \times T_{\text{destello}}$$

Ecuación 7 Energía asociada a la potencia en régimen nominal

Donde:

P_n representa la potencia nominal(vatios)

T_{destello} es el tiempo de duración del destello/s

E_n se expresa en vatios-segundos

Para calcular la energía consumida durante un día (consumo diario), sólo hay que multiplicar por el número de destellos en un día:

$$E_{CD} = E_1 \times \frac{H}{T_{period}}$$

Ecuación 8 Consumo diario de energía durante los destellos

Donde:

E_1 es la energía consumida por destello en vatio-segundos, donde $E_1 = E_{pico} + E_n$

H representa las horas de funcionamiento de la luz al día (horas)

$T_{periodo}$ es el periodo de la característica (seg)

Note que E_{CD} , el consumo diario, se expresa en Wh/día.

Al combinar la Ecuación 6 y la Ecuación 7 en Ecuación 8, obtenemos:

$$E_{CD} = [E_{pico} + E_n] \times \frac{H}{T_{periodo}}$$

Ecuación 9 Energía diaria total de la lámpara de destellos.

Los cálculos arriba relacionados para la energía de una lámpara son aproximaciones basadas en datos empíricos, que se pueden emplear en lugar de mediciones reales. Los proveedores de lámparas tendrían que facilitar los valores de la corriente media de las lámparas para los ritmos de destello más comunes. Estos datos nos permiten realizar un cálculo más sencillo del consumo diario.

NOTA: Los efectos de las extracorrentes disminuyen en caracteres de destellos múltiples.

5.2 FUENTES LUMINOSAS LED

Existen diferentes principios para generar la luz visual y diferentes niveles de complejidad de los circuitos utilizados para alimentar un diodo emisor de luz (LED). Algunos ejemplos de estos métodos de alimentación son:

- Fuentes de alimentación pasivas
- Fuentes de alimentación activas
- Fuentes de alimentación conmutadas

La alimentación de las fuentes de luz basadas en LED puede ocasionar problemas que requieran atención durante el proceso de integración en un sistema de supervisión remota de ayudas a la navegación. Un ejemplo de esto es la posibilidad de que cualquier linterna LED se convierta en una fuente de interferencia electromagnética (EMI, del inglés, *Electromagnetic Interference*) y pueda, a su vez, ser susceptible a la interferencia electromagnética producida por otros equipos.

El consumo de energía de un conjunto de LED o de un solo LED con la energía de entrada regulada, se podrán calcular de forma similar a la de una lámpara incandescente. Sin embargo, las fuentes luminosas LED no tienen los picos de arranque reflejados en la Figura 2 y, por motivos prácticos, la E_{pico} se considera cero.

5.2.1 FUENTES LUMINOSAS LED COMPLEJAS

Muchas de las fuentes luminosas LED complejas tienen varios subsistemas, integrando en un mismo equipo luces LED, destelladores, receptores GPS y módulos de medición y supervisión, alimentándose de una única fuente de energía. En tal caso, se deberá calcular el consumo de energía del equipo en función de la información suministrada por el fabricante sobre todos los modos de energía que se espera que se produzcan en el escenario de la aplicación.

En la mayoría de los casos, los LED se integran en una linterna que aloja un sistema de alimentación de energía y un destellador, que se suele denominar “linterna compacta”. El consumo en esta clase de equipos puede dividirse en el consumo de energía durante el destello, el consumo de energía entre destellos y el consumo de energía diurno, cuando está en reposo.

$$E_{CD} = \left[P_{dl}(W) \times \frac{T_{destello}}{T_{periodo}} + P_{edl}(W) \times \left(1 - \frac{T_{destello}}{T_{periodo}} \right) \right] \times H_{oscuridad} \left(\frac{h}{día} \right) + P_{reposito}(W) \left(24 - H_{oscuridad} \left(\frac{h}{día} \right) \right)$$

Ecuación 10 Consumo diario de una fuente luminosa LED compleja

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{dl} es el consumo de energía durante el destello, en vatios.

P_{edl} es el consumo de energía entre destellos, en vatios.

$P_{reposito}$ es el consumo diurno de energía, en vatios.

$H_{oscuridad}$ representa las horas de oscuridad (también, horas de funcionamiento al día)

Para obtener la energía consumida en un día (consumo diario), se necesitan algunas cifras adicionales:

$T_{periodo}$ es el periodo del carácter de la luz (seg)

$T_{destello}$ es la duración total de los destellos en un periodo (seg)

5.3 LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS

Sólo se utilizan las lámparas de descarga de halogenuros metálicos con ópticas giratorias, y requieren un balasto asociado para encender y mantener el arco ionizado de la lámpara. Dichos dispositivos pueden consumir más que el nominal de la lámpara, así que, al calcular el consumo, hay que tener en cuenta el del balasto. De nuevo, se debe consultar a los fabricantes para determinar las necesidades de energía en relación con la tensión y temperatura nominales del sistema, que deberán confirmarse midiendo en los dispositivos en una configuración real.

$$E_{CD} = P_{lb}(W) \times \text{Horas de funcionamiento al día (h/día)}$$

Ecuación 11 Consumo diario de una óptica giratoria

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{lb} es el valor medido o del fabricante del consumo de energía de lámpara y balasto, en vatios.

5.4 DESTELLADOR / DISPOSITIVO DE CONTROL

El dispositivo empleado para que la fuente luminosa destelle o para controlarla también requiere energía. Los fabricantes de destelladores / controladores deben ser capaces de proporcionar información sobre las necesidades energéticas de sus dispositivos y para los de alta eficiencia, es posible que sea suficiente un valor medio. De lo contrario, puede que se necesite conocer la demanda de energía durante el destello, la ocultación y el tiempo de parada (diurna) para calcular el perfil de consumo. En general, la demanda energética se calcula como consumo diario de la siguiente manera:

$$E_{CD} (media) = P_r \times H_{luz\ diurna} + P_{edl} \times (1 - \text{Ciclo de servicio}) \times H_{oscuridad} + P_{dl} \times \text{Ciclo de servicio} \times H_{oscuridad}$$

Ecuación 12 Consumo diario de un destellador

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_r es el consumo de energía en reposo, en vatios.

$H_{luz\ diurna}$ representa las horas de luz diurna en horas al día

P_{edl} es el consumo de energía entre destellos, en vatios

$H_{oscuridad}$ representa las horas de oscuridad (u horas de funcionamiento al día)

P_{dl} es el consumo de energía durante el destello, en vatios.

5.5 ROTACIÓN DE LA ÓPTICA

Las ópticas giratorias tienen un consumo asociado con el mecanismo utilizado para accionar el conjunto de la plataforma giratoria. En general, los servicios de faros dejan que la plataforma giratoria rote de manera continua, tanto de noche como de día, para evitar que los rayos del sol se focalicen en un punto a través de de las lentes de la óptica, dañando así las lámparas o el cambiador de lámparas. Por lo tanto, la necesidad de energía del mecanismo de rotación se considerará como un consumo continuo, que podrá variar de manera significativa según la temperatura y, por consiguiente, es importante determinar las condiciones ambientales de operación cuando se solicite al fabricante información sobre la demanda de energía.

$$E_{CD} = P_{motor}(W) \times \text{Horas de funcionamiento al día (h/día)}$$

Ecuación 13 Consumo diario de una óptica giratoria

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{motor} es el consumo de energía del motor y su sistema de control, en vatios.

En algunas balizas con óptica giratoria se emplea también el destellador para regular la tensión y activar el cambiador de lámparas; por lo tanto, la demanda de energía es:

$$E_{CD} = [P_{lámpara}(W) \times H_{oscuridad}(h/día)] + E_{destellador}(Wh/día) + E_{motor}(Wh/día)$$

Ecuación 14 Consumo diario de una óptica giratoria y fuente luminosa

5.6 SEÑAL SONORA

Las señales sonoras funcionan dentro de una gama muy amplia de tensiones y temperaturas. Al fabricante se le debe solicitar información sobre el consumo de energía a la tensión de trabajo prevista y en el rango de temperatura de funcionamiento previsto.

$$E_{CD} = [P_{bocina}(W) \times \text{Ciclo de servicio} + P_{silencio}(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio})] \times \text{Horas de funcionamiento/día}$$

Ecuación 15 Consumo diario de una señal sonora

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{bocina} es el consumo de energía de la señal sonora y del sistema de accionamiento durante el tiempo que suena la bocina, en vatios.

$P_{silencio}$ es el consumo de energía de la señal sonora y del sistema de accionamiento cuando estén en silencio, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el periodo de emisión de sonido y el periodo total de la característica, expresado como un valor decimal.

Para pronosticar los tiempos de funcionamiento de las señales sonoras, son necesarios los datos históricos de las horas de baja visibilidad.

5.7 DETECTOR DE NIEBLA

Estos detectores se pueden emplear para reducir la contaminación acústica que ocasionan las señales sonoras. Estos dispositivos utilizarán calentadores en las ventanas de proyección y recepción para evitar la condensación en tiempo frío. La temperatura a la que se encienden estos calentadores varía de un modelo a otro. Se debe determinar este umbral de encendido teniendo acceso a los datos de temperaturas correspondientes a la zona. A partir de estos datos, se tendrá una idea de cuánto tiempo se activarán los calentadores (ciclo de servicio). Un dispositivo de recogida de datos es una herramienta muy útil para determinar el ciclo de servicio de los calentadores. No obstante, la posibilidad de un frío excepcionalmente severo puede producir un fallo en la alimentación, ya que el consumo será mucho mayor. El dispositivo de recogida de datos también puede aportar información útil sobre cuántas horas estará en funcionamiento la señal sonora.

$$E_{CD} = P_{calentador}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times \frac{24h}{\text{día}} + P_{proyector}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24h/\text{día}$$

Ecuación 16 Consumo diario de un detector de visibilidad

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

$P_{calentador}$ es el consumo de energía del calentador, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el periodo de funcionamiento y el periodo total, expresado como un valor decimal

$P_{proyector}$ es el consumo de diario energía del cabezal del sensor y del sistema de control

5.8 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

5.8.1 EQUIPOS DE CONTROL

Los equipos utilizados para controlar las ayudas a la navegación también consumen energía. En general, el consumo nominal de energía se fija para cuando el sistema funciona normalmente, es decir, la ayuda a la navegación está operativa y utiliza el sistema principal de energía. Los consumos asociados con estos dispositivos se calcularán como consumos continuos.

$$E_{CE} = P_{activo}(W) \times \text{Horas de funcionamiento} + P_{respaldo}(W) \times \text{Horas de funcionamiento}$$

Ecuación 17 Consumo diario de un sistema de supervisión

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{activa} es el consumo de energía de todos los equipos activos cuando esté en funcionamiento la ayuda a la navegación, en vatios.

$P_{respaldo}$ es el consumo de energía diario de todos los equipos de respaldo que no estén en funcionamiento, en vatios

5.8.2 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN

Los sistemas de supervisión varían mucho en cuanto a su complejidad, medios de transmisión y demanda de energía. Para las señales alimentadas con energía solar existen modelos de bajo consumo energético. Los métodos de transmisión afectan a los consumos de energía de manera considerable. Las líneas telefónicas y los enlaces de radio y de satélite tienen diferentes necesidades energéticas, que pueden ser importantes durante la transmisión de datos. Para controlar el tiempo en que esté en funcionamiento el enlace, debe establecerse un régimen estricto de transmisiones. En general, la demanda de energía del dispositivo de transmisión se puede

obviar si el contacto se establece sólo una o dos veces al día. En tal caso, la demanda en reposo se calcula como un consumo continuo y puede emplearse para calcular el consumo diario. Muchos sistemas de supervisión permiten la interrogación desde el centro de supervisión, y un número excesivo de solicitudes de datos a una estación remota concreta por parte del operador podría hacer que el consumo de energía supere los parámetros de diseño. Se debe consultar al fabricante del dispositivo para determinar el consumo real de energía de la aplicación elegida. Sin embargo, debe medirse la corriente en el emplazamiento para confirmar los datos de diseño, especificando el consumo estacionario en reposo y en el modo comunicación cuando se transmitan o reciban datos con el ciclo de funcionamiento previsto.

$$E_{CD} = [P_{coms}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24h/día + (P_{reposito}(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio}) \times 24h/día)]$$

Ecuación 18 Consumo diario de un sistema de supervisión

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{coms} es el consumo de energía durante un intercambio típico de datos, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el tiempo total de comunicación y un periodo de 24 horas, expresado como un valor decimal

$P_{reposito}$ es el consumo de energía estacionaria en reposo al día

Los dispositivos de supervisión pueden ofrecer funciones adicionales, como recepción de señales GPS, sincronización de destellos, mediciones, etc. Es aconsejable establecer el perfil de consumo de energía específico a la aplicación del producto, considerando todos los factores relevantes tales como las temperaturas ambientales, las tensiones del suministro de energía y la distancia de las estaciones en tierra, etc.

5.9 CONTROLADOR DE CARGA

[1] Los controladores de carga se emplean para gestionar la energía y los perfiles de carga desde una fuente de alimentación al sistema de baterías. Proporcionan protección contra sobrecargas, desconexión en el caso de una tensión baja de batería y protección contra corrientes inversas en sistemas fotovoltaicos. Los controladores de carga están sujetos a requisitos de eficiencia y de consumo en reposo. El valor de eficiencia indicada por los fabricantes es variable en función de la energía convertida en carga proveniente del conjunto de paneles solares. Una cifra habitual es de un 98% de eficiencia a carga completa. Como el valor de eficiencia no es constante y cambia en función de la demanda de carga, este consumo se refleja como un factor variable (eficiencia de la batería) en el modelo solar de la IALA *Métodos y niveles de luz ambiental para la activación de luces de ayudas a la navegación*

Guía 1039 de la IALA – Diseño de sistemas de energía solar para ayudas a la navegación (Herramienta de dimensionamiento solar)[2].

Sólo consideraremos el consumo en reposo para el controlador, que suele ser una constante y normalmente suele ser <20mA.

$$E_{CD} = P_{reposito}(W) \times H_{funcionamiento}(h/día)$$

Ecuación 19 Consumo diario de un controlador de carga

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

$P_{reposito}$ es el consumo de energía estacionaria en reposo al día

$H_{funcionamiento}$ representa las horas de funcionamiento al día

5.10 AIS

5.10.1 GENERALIDADES

Además de prestar un servicio de ayuda a la navegación por sí mismo, el Sistema de Identificación Automática (AIS) tiene la capacidad de reemplazar o mejorar los sistemas de supervisión y control existentes. Recomendación A-126 - Uso de *Sistemas de Identificación Automática (AIS) en ayudas a la navegación marítima* [4].

El consumo de energía de una estación AIS AtoN depende del tipo de estación (1, 2 o 3) en cuestión, además de la configuración de ciertos parámetros que se pueden fijar en el dispositivo. Los parámetros ofrecidos a continuación se han optimizado para minimizar el consumo de energía.

- El método de acceso VDL – FATDMA ofrece un consumo de energía mucho menor que RATDMA
- Selección de espacios de mensaje FATDMA – Los espacios de mensaje de los Canales A y B deben estar próximos en el tiempo para minimizar el periodo de actividad del dispositivo AIS AtoN (suponiendo que se utiliza el Modo B recomendado);
- Intervalo de actualización – Un periodo prolongado entre actualizaciones reducirá sustancialmente el consumo de energía, pero el intervalo debe cumplir con las pautas establecidas en la Recomendación A-126 de la IALA¹;
- Debe diseñarse o configurarse el dispositivo AIS AtoN para que entre en modo “reposo” cuando no esté activo;
- Número y tipos de mensajes transmitidos;
- Potencia del transmisor.

5.10.2 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA

La energía que necesita un dispositivo AIS AtoN, que transmite los mensajes Tipo 21 (AtoN) y Tipo 6 (supervisión), puede estimarse utilizando los siguientes criterios:

5.10.2.1 Funcionamiento en modo RATDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo para Acceso Aleatorio)

$$E_{RX} = [P_s + ((T_s + 60) \times (P_w - P_s))/T_r] \times 24 \text{ Wh/día}$$

Donde:

E_{RX} es el consumo de energía en reposo o a la espera de transmitir

P_s es la energía utilizada por el dispositivo cuando está en reposo (vatios)

T_s es el tiempo que tarda el dispositivo en adquirir el mapa de espacios de mensaje (trama) tras activarse (segundos)

P_w es la energía utilizada por el dispositivo cuando está activo, pero no transmitiendo (vatios).

T_r es el intervalo de actualización (segundos)

Ecuación 20 Necesidad de energía para el funcionamiento RATDMA

$$E_{T21} = \left[P_t \times (4/2250) \times \left(\frac{60}{T_r} \right) \times 24 \text{ Wh/día} \right]$$

¹ La repetición de los mensajes AIS AtoN por una estación base AIS durante el intervalo de actualización permitirá aumentar la duración de este en el dispositivo AIS AtoN. Por ejemplo, si el dispositivo AIS AtoN tuviera un intervalo de actualización de 10 minutos, la estación base AIS local repetirá los mensajes AIS AtoN durante cada trama, p.ej. cada minuto.

$$E_{T6} = \left[P_t \times (2/2250) \times \left(\frac{60}{T_m} \right) \times 24Wh/día \right]$$

$$E_{DL} = E_{RX} + E_{T21} + E_{T6}Wh/día$$

Ecuación 21 *Estimación del consumo de energía de un dispositivo AIS que transmite mensajes del Tipo 21 y 6*

Donde:

E_{T21} es el consumo de energía de la transmisión de mensajes Tipo 21

P_t es la energía utilizada por el dispositivo cuando está transmitiendo (vatios)

T_r es el intervalo de actualización (segundos)

E_{T6} es el consumo de energía de la transmisión de mensajes Tipo 6

T_m es el intervalo de actualización para el mensaje de supervisión Tipo 6 (segundos)

E_{CD} es el consumo total de energía al día

5.10.3 FUNCIONAMIENTO EN MODO FATDMA (ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO PARA ACCESO FIJO)

Se utilizan las mismas fórmulas anteriores, pero el parámetro T_s corresponderá al tiempo que tarda el receptor GPS en obtener un posicionamiento tras activarse. (Si se instala un receptor DGPS, T_s será el tiempo que tarda en obtener una posición DGPS corregida tras activarse.)

Cabe señalar que P_w será sustancialmente menor cuando se utiliza el modo FATDMA, ya que no es necesario encender los receptores VHF.

5.11 RACON (BALIZA ACTIVA DE RADAR)

Es difícil pronosticar el consumo de energía de las balizas de radar, porque vendrá determinado por el número de interrogaciones a la baliza. La mayoría tienen un número de respuestas limitadas que pueden emitir si la unidad está sometida a una interrogación continua, a causa de un buque fondeado que deja el radar encendido o en un canal muy transitado. En cuanto a estos dispositivos, se deben consultar al fabricante los valores de demanda alta, media y baja de energía, así como a los Prácticos de la zona para determinar el nivel de tráfico en la vía navegable. Alternativamente, se pueden realizar mediciones de demanda energética con un medidor que integra amperios-hora con vatios-hora a lo largo de dos meses durante la época de mayor tráfico para obtener un perfil fidedigno de consumo.

$$E_{CD} = [P_t(W) \times \text{Ciclo de servicio} + P_q(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio})] \times 24h/día$$

Ecuación 22 *Consumo diario de un Racon*

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_t es la energía utilizada por el dispositivo cuando está transmitiendo, en vatios

P_q es la energía utilizada por el dispositivo entre periodos de transmisión, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el tiempo total de transmisión y un periodo de 24 horas, expresado como un valor decimal

6 OTROS CONSUMOS

6.1 CONSUMOS NO ESENCIALES

Los consumos no esenciales, como las luces interiores de la señal, deberían estar bajo algún tipo de control automático para garantizar que no se puedan dejar encendidas y agotar el sistema de almacenamiento de



energía. Dicho consumo no esencial debe estar alimentado por un sistema de baterías independiente al de la ayuda a la navegación, y suficientemente dimensionado.

6.2 AYUDAS ESTACIONALES

Las ayudas estacionales están operativas durante una parte del año y se retiran o se almacenan durante el periodo en que no vayan a trabajar.

Es aconsejable asegurarse de que los equipos que se apagan durante un período de tiempo prolongado no tengan almacenamiento interno de energía. Este tipo de almacenamiento se utiliza a veces para mantener la energía de los dispositivos de respaldo de memoria y si se agota, esta podría borrarse durante el período de inactividad. Además, es importante que estos sistemas, cuando se arranquen por control remoto, no generen un consumo excesivo una vez encendidos.

7 CONCLUSIÓN

Una vez que se haya caracterizado por completo cada gasto energético, las sumas de los consumos diurno y nocturno determinarán la demanda energética diaria y, por tanto, el balance energético del sistema, el nivel mínimo de carga diaria de la batería y el nivel mínimo de carga estacional.

Para el diseño de un sistema solar fotovoltaico, se pueden utilizar estos cálculos de consumos totales junto con los *Métodos y niveles de luz ambiental para la activación de luces de ayudas a la navegación Guía 1039 de la IALA – Diseño de sistemas de energía solar para ayudas a la navegación (Herramienta de dimensionamiento solar)*[2] para desarrollar un diseño solar eficaz.

Empleando E_{CD} , se puede elaborar un diseño conservador del sistema con pocos cálculos. Utilizando un programa de cálculo para la E_{CD} de cada día del año y comparándolo con la capacidad de la batería o con la energía generada a partir de la fuente energética renovable, permitirá que se genere un sistema algo menos conservador, pero más barato.

Los factores más críticos en la estimación de las necesidades energéticas son:

- La definición del consumo total;
- La definición de las características de la carga.



8 ACRÓNIMOS

Ah	Amperio hora/s
AIS	(<i>Automatic Identification System</i>) Sistema de Identificación Automática
AtoN	(<i>Aid(s) to Navigation</i>) Ayuda/s a la navegación marítima
D	Ángulo de declinación del sol (en grados)
DGPS	(<i>Differential Global Positioning System</i>) sistema diferencial de posicionamiento global
°C	Grados centígrados
FATDMA	(<i>Fixed Access Time Division Multiple Access</i>) Acceso múltiple por división de tiempo para acceso fijo
GPS	(<i>Global Positioning System</i>) Sistema de Posicionamiento Global
h/día	Horas al día
L	Latitud (en grados)
LED	(<i>Light emitting diode</i>) Diodo emisor de luz
mA	miliamperios
mW	milivatios
n	Número del día del calendario juliano
N	Norte
RACON	Baliza activa de radar (RADar beaCON)
RATDMA	(<i>Random Access Time Division Multiple Access</i>) Acceso múltiple por división de tiempo para acceso aleatorio
s	segundo
S	Sur
V	Voltio
VDL	(<i>VHF Data Link</i>) Enlace de datos VHF
W	Vatio
Wh / día	Vatios hora al día
Ws	Vatios segundo

9 REFERENCIAS

- [2] Guía 1038 de la IALA – Métodos y niveles de luz ambiental para la activación de luces de ayudas a la navegación
- [3] Guía 1039 de la IALA – Diseño de sistemas de energía solar para ayudas a la navegación (Herramienta de dimensionamiento solar)
- [4] Recomendación A-126 - Uso de Sistemas de Identificación Automática (AIS) en ayudas a la navegación marítima

ANEXO A EXPLICACIÓN ADICIONAL AL CÁLCULO DE LAS HORAS DE LUZ DIURNA

Utilizamos la siguiente ecuación astronómica básica, establecida como una aproximación:

$$\cos\theta_h = \cos L \cos D \cos\omega + \sin L \sin D$$

Ecuación 23 Ángulo de incidencia

Donde:

θ_h es el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie horizontal = distancia cenital = ángulo entre los rayos solares y una línea vertical

L es la latitud del lugar

D es la declinación solar

ω es el ángulo horario

(Nota: Todos los ángulos se expresan en grados)

De la Ecuación 23

$$\omega = \arccos \left[\frac{(\cos\theta_h - \sin L \sin D)}{(\cos L \cos D)} \right]$$

Ecuación 24 Ángulo horario

La salida del sol se define como el momento en que el limbo superior del sol queda visible. En ese momento el centro del sol está a 52 minutos de arco por debajo del horizonte, por causa de lo siguiente: el semidiámetro del sol subtende un ángulo de 16 minutos de arco y el efecto de refracción de la atmósfera representa un arco adicional de 36 minutos. Por lo tanto, la salida del sol se dará cuando en la ecuación (24), $\theta_h = 90^\circ 52'$. Fijando $\theta_h = 90^\circ 52'$ en la Ecuación 24 permite el cálculo de la $\omega_{\text{salida del sol}}$.

$$\begin{aligned} \omega_{\text{salida del sol}} &= \arccos \left[\frac{(\cos 90^\circ 52' - \sin L \sin D)}{(\cos L \cos D)} \right] \\ &= \arccos \left[\frac{(-0,0151 - \sin L \sin D)}{(\cos L \cos D)} \right] \end{aligned}$$

Ecuación 25 Ángulo horario a la salida del sol

El tiempo que pasa entre la salida del sol y el mediodía local aparente se obtiene mediante la conversión de ω al tiempo (15° de arco de longitud corresponden a 1 hora):

$$H_{\text{salida del sol-mediodía}} = \omega_{\text{salida del sol}} / 15^\circ$$

Donde:

$H_{\text{salida del sol-mediodía}}$ se expresa en horas

El tiempo que transcurre entre la salida y la puesta del sol es el doble que el de la salida del sol y el mediodía local aparente:

$$H_{\text{salida del sol-puesta del sol}} = 2\omega_{\text{salida del sol}} / 15^\circ$$

Ecuación 26 Tiempo entre la salida del sol y la puesta del sol - grados

Combinando la Ecuación 25 y la Ecuación 26:

$$= \frac{2}{15} \arccos \frac{(-0,0151 - \sin L \sin D)}{(\cos L \cos D)}$$

Ecuación 27 Tiempo entre la salida del sol y la puesta del sol

ANEXO B EJEMPLOS PRÁCTICOS

B 1. CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO

Para un consumo continuo de 1 vatio, por ejemplo, el cálculo se expresa de la siguiente manera (véase la Ecuación 1):

$$E_{CD} = 1W \times 24h = 24 Wh/día$$

Esto significa que la fuente de energía tiene que suministrar 24 vatios-hora cada día que esté un funcionamiento.

B 2. CÁLCULO DEL CICLO DE TRABAJO

Por lo tanto, una carga de 1 vatio, funcionando 24 horas al día y con un carácter de 3 segundos de ENCENDIDO y 3 segundos de APAGADO, tiene un consumo diario de (véase la Ecuación 2):

$$E_{CD} = 1W \times \frac{24h}{día} \times \left[\frac{3 \text{ seg } ENCENDIDO}{3 \text{ seg } ENCENDIDO + 3 \text{ seg } APAGADO} \right] = 12 Wh/día$$

En este caso el consumo diario es la mitad que el del ciclo de trabajo del 100%. Este es un aspecto importante en cuestión de ahorro de energía.

B 3. CÁLCULO DE LAS HORAS DE OSCURIDAD

Para obtener el consumo máximo diario de una carga de 1 vatio que funciona de noche, con un carácter de 3 segundos de ENCENDIDO y 3 segundos de APAGADO, y ubicado a 42 grados latitud N, se procederá según se detalla a continuación:

Como el ciclo de trabajo es nocturno, el consumo máximo coincidirá con el tiempo del solsticio de invierno, cuando la declinación del sol es $-23,45^\circ$: $D = -23,45^\circ$. Realice todos cálculos en grados (véase la Ecuación 3):

$$H_{luz\ diurna} = \left(\frac{2}{15} \right) \text{arc cos} \left[\frac{-0,0151 - \sin(42) \times \sin(-23,45)}{\cos(42) \times \cos(-23,45)} \right] = 9,1 h/día$$

que resulta

$$H_{oscuridad} = 24 - H_{luz\ diurna} = 24 - 9,1 = 14,9 \text{ hours/día}$$

Por tanto, el máximo consumo diario (E_{CD}) es:

$$E_{CD} = 1W \times \frac{14,9h}{día} \times \left[\frac{3 \text{ seg } ENCENDIDO}{3 \text{ seg } ENCENDIDO + 3 \text{ seg } APAGADO} \right] = 7,45 Wh/día$$

$$D = 23,45 \sin(1.008(n - 80)) \text{ con } n = 45 \text{ (la fecha juliana del 14 de febrero es 45)}$$

Para determinar el consumo diario del 14 de febrero, se procede según se detalla a continuación ($D = -13,54^\circ$):

Con todos los cálculos en grados:

$$H_{luz\ diurna} = \left(\frac{2}{15} \right) \text{arc cos} \left[\frac{-0,0151 - \sin(42) \times \sin(-13,54)}{\cos(42) \times \cos(-13,54)} \right] = 10,5 h/día$$

resulta

$$H_{oscuridad} = 24 - H_{luz\ diurna} = 24 - 10,5 = 13,5 \text{ horas/día}$$

Por tanto, el consumo diario es:

$$E_{DL} = 1W \times 13,5 \frac{h}{día} \times \left[\frac{3 \text{ seg } ENCENDIDO}{3 \text{ seg } ENCENDIDO + 3 \text{ seg } APAGADO} \right] = 6,75 Wh/día$$

B 4. CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE DE DESTELLOS

En un día de 13,9 horas de oscuridad, ¿cuál es el consumo diario de una lámpara de 1,15 amperios (13,8 vatios) cuya característica de destello es de un segundo de ENCENDIDO y de un segundo de APAGADO? Empleando la Ecuación 9:

$$E_{CD} = [E_{pico} + E_n] \times \frac{H}{T_{periodo}}$$

Se calcula E_{pico} Ecuación 6 Ecuación 6, donde $I = 1,15$ amperios

$$E_{pico} = 0,1019(1,15)^2 + 1,24(1,15) - 0,3341$$

$$E_{pico} = 1,2 \text{ Ws}$$

Se calcula E_n a través de la Ecuación 6, donde $P_n = 13,8\text{W}$ y $T_{destello} = 1\text{seg}$

$$E_n = 13,8 \times 1$$

Se calcula E_{CD} a través de la Ecuación 6, donde $H = 13,9$ h/día y $T_{periodo} = 2\text{seg}$

$$E_{CD} = [1,2 + 13,8 \text{ Ws}] \times \frac{13,9 \text{ h}}{2 \text{ seg}}$$

$$E_{CD} = 104 \text{ Wh/día}$$

B 5. CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO DE UNA LINTERNA LED DE DESTELLOS

En un día de 13,9 horas de oscuridad, ¿cuál es el consumo diario de una lámpara LED de 2 vatios, cuya característica de destello es de $\frac{1}{2}$ segundo de ENCENDIDO y de $2\frac{1}{2}$ segundo de APAGADO? El consumo de energía entre destellos es 150 mW y el consumo de energía en reposo es 10 mW. Empleando la Ecuación 10:

$$E_{CD} = \left[P_{dl} \times \frac{T_{destello}}{T_{periodo}} + P_{edl} \times \left(1 - \frac{T_{destello}}{T_{periodo}} \right) \right] \times H_{oscuridad} + P_{reposo} \times (24 - H_{oscuridad})$$

Donde

$$P_{dl} = 2\text{W}$$

$$P_{edl} = 0,15\text{W}$$

$$P_{reposo} = 0,01\text{W}$$

$$H = 13,9\text{h}$$

$$T_{periodo} = 3\text{s}$$

$$T_{destello} = 0,5\text{s}$$

$$E_{CD} = \left[2 \times \frac{0,5}{3} + 0,15 \times \left(1 - \frac{0,5}{3} \right) \right] \times 13,9 + 0,01 \times (24 - 13,9)$$

$$E_{CD} = [0,333 + 0,125] \times 13,9 + 0,101 \approx 6,5 \text{ Wh/día}$$

Este ejemplo demuestra que el consumo de energía entre destellos puede llegar a ser una parte considerable del consumo diario total de las linternas LED de baja potencia.

B 6. CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO DE UN DESTELLADOR / CONTROLADOR DE LÁMPARA

Véase la Ecuación 12 para un ejemplo que muestra un cálculo sencillo para un sistema de control que emplea los datos medios de potencia:

$$E_{CD(\text{medio})} = P_{\text{media}} \times H_{\text{funcionamiento}}$$

Donde

$E_{CD(\text{medio})}$ es el consumo diario medio, en Wh al día

P_{media} es la potencia media del sistema de control, en vatios = 240mW continuos, de los datos del fabricante

$H_{\text{funcionamiento}}$ representa las horas de funcionamiento al día

$$E_{CD} = 0,240 \times 24 = 5,8 \text{ Wh/día}$$

Al combinar la demanda energética de la lámpara de destellos (ejemplo B 4) y del controlador (véase arriba) para conseguir la demanda total del sistema, obtenemos lo siguiente:

$$E_{CD \text{ total}} = 104 + 5,8 = 109,8 \text{ Wh/día}$$

B 7. CÁLCULO DEL CONSUMO DIARIO DE UNA ÓPTICA GIRATORIA

A título de ejemplo, una baliza giratoria, que funciona de noche, en 42 grados de latitud norte, equipada con un lámpara de 12 voltios, 2,03 amperios, luz fija y ~~con~~ un motor de 1,2 mW trabajando continuamente tendrá una demanda energética de:

Empleando la Ecuación 13:

$$E_{CD} = P_{\text{motor}}(W) \times \text{Horas de funcionamiento al día (h/día)}$$

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{motor} es el consumo de energía del motor y del sistema de control, en vatios.

$$E_{CD} = 1,2 \text{ W}^2 \times 24 \text{ (h/día)} = 28,8 \text{ Wh/día}$$

Las ópticas giratorias pueden emplear el destellador para la luz fija, para regular la tensión y activar el cambiador de lámparas; por lo tanto, la demanda de energía es:

$$E_{CD} = [P_{\text{lámpara}}(W) \times H_{\text{oscuridad}}(h/día)] + E_{\text{destellador}}(Wh/día) + E_{\text{motor}}(Wh/día)$$

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

$P_{\text{lámpara}}$ es el consumo de energía de la lámpara, en vatios.

$H_{\text{oscuridad}}$ representa las horas de oscuridad al día

$E_{\text{destellador}}$ es la energía diaria para el destellador o el sistema de control, en vatios-hora al día.

E_{motor} es la energía diaria para el motor de rotación y el sistema de control, en vatios-hora al día.

A partir de los parámetros anteriores se calcula:

² Suponiendo que los requisitos diurnos y nocturnos de energía sean los mismos

$P_{lámpara} = 24,4 \text{ W}$ a partir de los datos anteriores

$H_{oscuridad} = 14,9 \text{ h/día}$ a partir del Cálculo de las horas de oscuridad mediante el ejemplo B 3

$E_{destellador} = 5,8 \text{ Wh/día}$ a partir del Cálculo del consumo diario de un destellador / controlador de lámpara mediante el ejemplo B 6

$$E_{CD} = [24,4 \times 14,9] + 5,8 + 28,8 = 398,16 \text{ Wh/día}$$

B 8. CÁLCULO DEL CONSUMO DE UNA SEÑAL SONORA

Por ejemplo, una señal sonora con un consumo de energía de 21,6 vatios cuando emite un sonido y de 0,24 vatios en silencio con un ritmo de un sonido de 3 segundos cada 30 segundos y que funciona 6 horas al día tendrá una demanda energética de:

Empleando la Ecuación 15

$$E_{CD} = [P_{bocina}(W) \times \text{Ciclo de servicio} + P_{silencio}(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio})] \times \text{Horas de funcionamiento/día}$$

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{bocina} es el consumo de energía de la señal sonora y del sistema de accionamiento durante el tiempo que suena la bocina, en vatios.

$P_{silencio}$ es el consumo de energía de la señal sonora y del sistema de accionamiento cuando estén en silencio, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el periodo de encendido y el periodo total del carácter, expresado como un valor decimal

$$\text{Ciclo de servicio} = \frac{3\text{seg ENCENDIDO}}{3\text{seg ENCENDIDO} + 27\text{seg APAGADO}} = 0,10 \text{ o el } 10\%$$

$$E_{CD} = [21,6(W) \times 0,1 + (0,24(W) \times 0,9)] \times 6$$

$$E_{CD} = 14,256 \text{ Wh/día}$$

B 9. CÁLCULO DEL CONSUMO DE UN DETECTOR DE NIEBLA

A título de ejemplo, un detector de visibilidad tiene una demanda de energía de 6 vatios con un consumo del calentador de 24 vatios. Los calentadores se encienden cuando la temperatura ambiente es inferior a 10°C. Los datos de temperatura de la zona indican que la temperatura mínima media es inferior a 10° C entre noviembre y marzo, y se estima que los calentadores estarán activados el 50% del tiempo durante este período. Las demandas energéticas son:

Empleando la Ecuación 16

$$E_{CD} = [P_{calentador}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24\text{h/día} + (P_{proyector}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24\text{h/día})]$$

Ecuación 28 Consumo diario de un detector de visibilidad

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

$P_{calentador}$ es el consumo de energía del calentador, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el periodo de encendido y el periodo total, expresado como un valor decimal

$P_{proyector}$ es el consumo de energía del cabezal del sensor y del sistema de control al día



$$E_{CD \text{ nov-mar}} = [24W \times 0,50 \times 24h/día + (6W \times 1,0 \times 24h/día)] = 432 \text{ Wh/día}$$

$$E_{CD \text{ abr-oct}} = [6W \times 24h/día] = 144 \text{ Wh/día}$$

B 10. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Por ejemplo:

Un sistema de telemetría de 12 V tiene una corriente en reposo de 110 mA y supervisa todas las entradas de forma continua. Al cambiar de estado, el dispositivo enciende el modem y se comunica con el centro de supervisión. Las comunicaciones suelen durar 3 minutos y la corriente del equipo aumenta a 305 mA durante este periodo. El dispositivo suele comunicarse 12 veces al día.

De la Ecuación 18

$$E_{CD} = [P_{coms}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24h/día + (P_{reposo}(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio}) \times 24h/día)]$$

Ecuación 29 Consumo diario de un sistema de supervisión

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{coms} es el consumo de energía durante el intercambio de datos, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el tiempo total de comunicación y un periodo de 24 horas, expresado como un valor decimal

P_{reposo} es el consumo de energía en reposo al día

$$E_{CD} = [P_{coms}(W) \times \text{Ciclo de servicio} \times 24h/día + (P_{reposo}(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio}) \times 24h/día)]$$

$$E_{CD} = [3,66(W) \times 0,025 \times 24h/día + (1,32(W) \times (1 - 0,025) \times 24h/día)]$$

$$E_{CD} = 2,196 + 30,88 = 33,084 \text{ Wh/día}$$

B 11. CÁLCULO DEL CONSUMO DE UN CONTROLADOR DE CARGA

A título de ejemplo, un pequeño controlador de carga de un sistema solar tiene un pico de eficiencia a carga completa del 96% y una corriente en reposo de 10 mA en un sistema de 24 V. La demanda energética de este sistema es la siguiente:

Empleando la Ecuación 19

$$E_{CD} = P_{reposo}(W) \times H_{funcionamiento}(h/día)$$

Ecuación 30 Consumo diario de un controlador de carga

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_{reposo} es el consumo de energía estacionaria en reposo al día

$H_{funcionamiento}$ representa las horas de funcionamiento al día

$$E_{CD} = 0,24(W) \times 24(h/día) = 0,576 \text{ Wh/día}$$

B 12. CÁLCULO DE UN DISPOSITIVO AIS QUE UTILIZA EL MÉTODO DE ACCESO RATDMA (ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO PARA ACCESOS ALEATORIOS)

A título de ejemplo, un dispositivo AIS instalado en una boya tiene una demanda de energía en reposo de 12 mW y se activa cada 3 minutos, durante los cuales la demanda de energía es de 0,6 W. A continuación, el dispositivo tarda 4 segundos para determinar en qué espacios de mensaje realizará la transmisión. El dispositivo transmite en los canales A y B y la potencia de transmisión es de 30 W.

Empleando la Ecuación 20

$$E_{RX} = [P_s + ((T_s + 60) \times (P_w - P_s))/T_r] \times 24 \text{ Wh/día}$$

Ecuación 31 Necesidad energética para el modo RATDMA

Donde:

P_s es la energía utilizada por el dispositivo cuando está en reposo (vatios)

T_s es el tiempo que tarda el dispositivo en adquirir el mapa de espacios de mensaje (trama) tras activarse (segundos)

P_w es la energía utilizada por el dispositivo cuando está activo, pero no transmitiendo (vatios).

T_r es el intervalo de actualización (segundos)

$$E_{RX} = [P_s + ((T_s + 60) \times (P_w - P_s))/T_r] \times 24 \text{ Wh/día}$$

$$E_{RX} = [0,012 + ((4 + 60) \times (0,6 - 0,012))/180] \times 24 \text{ Wh/día}$$

$$E_{RX} = 5 \text{ Wh/día}$$

Para el mensaje 21, la demanda de energía es:

$$E_{T21} = \left[P_t \times (4/2250) \times \left(\frac{60}{T_r} \right) \times 24 \text{ Wh/día} \right]$$

$$E_{T21} = \left[30 \times (4/2250) \times \left(\frac{60}{180} \right) \times 24 \text{ Wh/día} \right]$$

$$E_{T21} = 0,43 \text{ Wh/día}$$

Para el mensaje 6, la demanda de energía es:

$$E_{T6} = \left[P_t \times (2/2250) \times \left(\frac{60}{T_m} \right) \times 24 \text{ Wh/día} \right]$$

$$E_{T6} = \left[30 \times (2/2250) \times \left(\frac{60}{180} \right) \times 24 \text{ Wh/día} \right]$$

$$E_{T6} = 0,213 \text{ Wh/día}$$

Para el consumo diario total:

$$E_{CD} = E_{RX} + E_{T21} + E_{T6} \text{ Wh/día}$$

$$E_{CD} = 5 + 0,43 + 0,213 \text{ Wh/día}$$

$$E_{CD} = 5,643 \text{ Wh/día}$$

$$E_{CD} = E_{RX} + E_{T21} + E_{T6} \text{ Wh/día}$$

Ecuación 32 Estimación del consumo de energía de un dispositivo AIS que transmite mensajes del Tipo 21 y 6

Donde:

E_{CD} es el consumo total de energía al día

E_{RX} es el consumo de energía en reposo o a la espera de transmitir

E_{T21} es el consumo de energía de la transmisión de mensajes del Tipo 21

E_{T6} es el consumo de energía de la transmisión de mensajes del Tipo 6

$$E_{CD} = E_{RX} + E_{T21} + E_{T6} Wh/día$$

$$E_{CD} = 5 + 0,43 + 0,213 Wh/día$$

$$E_{CD} = 5,643 Wh/día$$

B 13. CÁLCULO DEL CONSUMO DE UN RACON

El cálculo efectuado a continuación es un ejemplo basado en un modelo determinado. Al calcular el consumo, deben considerarse debidamente los datos del fabricante.

Por ejemplo, un RACON tiene una corriente de 24 mW en reposo y de 8,4 W cuando transmite. El ciclo de servicio se limita al 50%. Por lo tanto, como peor escenario se considera una interrogación continuada al RACON:

Empleando la Ecuación 22:

$$E_{CD} = [P_t(W) \times \text{Ciclo de servicio} + P_q(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio})] \times 24h/día$$

Ecuación 33 Consumo diario de un RACON

Donde:

E_{CD} es el consumo diario, en Wh al día

P_t es la energía utilizada por el dispositivo cuando está transmitiendo, en vatios

P_q es la energía utilizada por el dispositivo entre periodos de transmisión, en vatios.

El ciclo de servicio es la relación entre el tiempo total de transmisión y un periodo de 24 horas, expresado como un valor decimal

$$E_{CD} = [P_t(W) \times \text{Ciclo de servicio} + P_q(W) \times (1 - \text{Ciclo de servicio})] \times 24h/día$$

$$E_{CD} = [8,4(W) \times 0,5 + 0,024(W) \times (1 - 0,5)] \times 24h/día$$

$$E_{CD} = 101,1 Wh/día$$

B 14. CÁLCULO DE UNA AYUDA A LA NAVEGACIÓN ESTACIONAL

Para calcular la demanda energética de una boya estacional, desplegada entre el 1 de abril y el 31 de octubre, que opera a 42 grados N, equipada con una lámpara de 1,15 amperios, 12V, con un ritmo de operación nocturna de FL 6s y una duración del destello de 1s, tendrá la demanda energética detallada a continuación:

Según el apartado 4.2, se calcula la declinación del sol (D) para los límites del calendario.

$$D_{1abr} = 23,45 \sin(0,965(91 - 80)) = 4,320^\circ$$

$$D_{31oct} = 23,45 \sin(0,95(308 - 266)) = 14,125^\circ$$

Empleando la Ecuación 3 y, al sustituir los valores de D calculados anteriormente y L para la latitud, se determinan las horas de luz diurna y, por consiguiente, las de oscuridad.

$$H_{luz\ diurna\ 1\ abr} = \frac{2}{15} \operatorname{arc\ cos} \left[\frac{-0,015 - \sin 42^\circ \times \sin 4,32^\circ}{\cos 42^\circ \times \cos 4,32^\circ} \right] = 12,7\ h/día$$

$$H_{oscuridad\ 1\ abr} = 24\ h/día - 12,7\ h/día = 11,3\ h/día$$

$$H_{luz\ diurna\ 31\ oct} = \frac{2}{15} \operatorname{arc\ cos} \left[\frac{-0,015 - \sin 42^\circ \times \sin -14,125^\circ}{\cos 42^\circ \times \cos -14,125^\circ} \right] = 10,4\ h/día$$

$$H_{oscuridad\ 31\ oct} = 24\ h/día - 10,4\ h/día = 13,6\ h/día$$

Por lo tanto, el consumo nocturno más alto coincidirá con el 31 de octubre.

A continuación, se calcula la demanda energética media empleando la Ecuación 9:

$$E_{lámpara} = (E_{pico} + P_n \times T_{destello}) \times \frac{H}{T_{periodo}}$$

$$E_{lámpara} = \left[(1,2\ Ws + (13,8\ W) \times (1\ seg)) \times \frac{13,6\ h/día}{6\ seg} \right] = 34,0\ Wh/día$$

Donde:

$$E_{pico} = 1,2\ Ws$$

$$P_n = 13,8\ W$$

$$T_{destello} = 1\ seg$$

$$H = 13,6\ h/día$$

$$T_{periodo} = 6\ seg$$

Ahora, la determinación del máximo consumo total diario, empleando la demanda de energía del destellador a partir del ejemplo B 6, es:

$$E_{CD} = 34,0\ Wh/día + 5,8\ Wh/día\ (disipación\ del\ destellador) = 39,8\ Wh/día$$