

Trabajo Fin de Grado

Estudio de la influencia de la modelización de las baterías en el diseño de sistemas basados en fuentes renovables aislados de la red eléctrica

Autor:

Sergio Pardos Montón

Director:

Rodolfo Dufo López



Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Sergio Pardos Montón

con nº de DNI 73411177 F en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Estudio de la influencia de la modelización de las baterías en el diseño de
sistemas basados en fuentes renovables aislados de la red eléctrica

_____ es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 31 de enero de 2017

Fdo: Sergio Pardos Montón

Estudio de la influencia de la modelización de las baterías en el diseño de sistemas basados en fuentes renovables aislados de la red eléctrica

RESUMEN

El objetivo de este trabajo consiste en la comparación de distintos modelos para la vida de las baterías de plomo-ácido. Este tipo de baterías son las generalmente utilizadas en instalaciones aisladas fotovoltaicas (PV) e híbridas PV-diésel con almacenamiento energético en baterías.

Los modelos a estudio en este trabajo son tres: dos métodos clásicos, Ah ciclos equivalentes y Ah Rainflow y un método más complejo, Schiffer. Antes de realizar las simulaciones con el programa iHOGA 2.2 +PRO se ha estudiado el funcionamiento de dichos métodos por separado.

Los componentes del suministro de energía a sistemas aislados tales como el generador fotovoltaico, el controlador inversor/cargador y las baterías de plomo-ácido, han sido también analizados en el proyecto.

Por otro lado, se han analizado cinco consumos diferentes en cinco ciudades distintas, en cada caso se ha llevado a cabo la optimización de tres configuraciones diferentes (PV-Baterías, PV-Diésel-Batería y Diésel-Batería).

Para una mejor visualización y comparación de los resultados obtenidos, una vez realizadas y analizadas todas las simulaciones y optimizaciones llevadas a cabo en el trabajo, se exponen figuras detalladas con las principales características de los sistemas óptimos, tales como el precio de la energía suministrada (€/kWh), las emisiones específicas (kgCO₂/kWh), el tamaño del generador fotovoltaico (kWp) y la capacidad del banco de baterías (kWh).

Como conclusión principal del proyecto se deduce que los métodos clásicos son mucho más optimistas y menos realistas que el método Schiffer y que el sistema óptimo en cada caso es prácticamente el mismo en los tres métodos estudiados durante la realización del mismo.

Para finalizar se han realizado tres anexos importantes, el primero de ellos corresponde a un análisis más detallado del funcionamiento del método Schiffer, el segundo recoge los resultados en formato tabla de los distintos casos analizados en las diversas localizaciones, tras llevar a cabo las simulaciones con el programa iHOGA 2.2 +PRO, mientras que el último recoge los componentes comerciales.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 2. ENERGÍA RENOVALBE..... | 6 |
| 2.1 Introducción..... | 6 |
| 2.2 Fotovoltaica aislada..... | 7 |
| 2.3 Fotovoltaica-diésel..... | 8 |
| 2.4 Baterías..... | 8 |
| 3. SUMINISTRO DE ENERGÍA A SISTEMAS AISLADOS MEDIANTE PV-DIÉSEL- BATERÍAS..... | 11 |
| 3.1 Generador fotovoltaico..... | 11 |
| 3.2 Batería..... | 12 |
| 3.3 Controlador inversor/cargador..... | 13 |
| 4. MODELOS DE ENVEJECIMIENTO DE LAS BATERÍAS..... | 16 |
| 4.1 Ah Ciclos equivalentes..... | 17 |
| 4.2 Ah Rainflow..... | 17 |
| 4.3 Schiffer..... | 18 |
| 5. COMPARATIVA ENTRE MODELOS..... | 19 |
| 6. RESULTADOS..... | 22 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 32 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 33 |

| | |
|---|----|
| ANEXO I. MODELO SCHIFFER..... | 36 |
| ANEXO II. TABLAS DE RESULTADOS..... | 40 |
| ANEXO III. COMPONENTES COMERCIALES..... | 53 |

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del proyecto es comparar la vida de las baterías de plomo-ácido en determinadas instalaciones aisladas de la red eléctrica, como instalaciones fotovoltaicas e híbridas fotovoltaico-diésel, todas ellas con almacenamiento energético en baterías.

El alcance del proyecto es, una vez realizado los distintos casos de estudio con los distintos modelos de vida de las baterías de plomo-ácido, obtener conclusiones acerca de en qué casos la utilización de un modelo sencillo es suficientemente precisa en comparación con la utilización de un modelo más complejo.

La metodología del proyecto consiste en realizar una revisión de los modelos de vida de las baterías plomo-ácido. Más tarde, se plantearán distintos casos de estudio en los que se optimizarán los diferentes sistemas analizados, considerando los distintos modelos de vida de dichas baterías. Este estudio se realizará con el software iHOGA 2.2 +PRO.

La revisión bibliográfica principal se realiza a partir del artículo *"Influence of the battery model in the optimisation of stand-alone renewable systems"* [1]. De este artículo derivan un conjunto de informaciones analizadas posteriormente.

A continuación se introducen brevemente las energías renovables utilizadas en sistemas aislados, fundamentalmente los sistemas de energía fotovoltaica así como los sistemas híbridos fotovoltaico-diésel, enfatizando en los tipos de baterías utilizados.

Se realiza un análisis sobre los componentes del suministro de energía a sistemas aislados tales como el generador fotovoltaico, el controlador inversor/cargador y las baterías de plomo-ácido.

Se explica el funcionamiento de los tres modelos de envejecimiento de baterías utilizados. Dos de estos modelos son métodos clásicos, Ah ciclos equivalentes y Ah Rainflow y el otro es un método más complejo, Schiffer.

Finalmente, se ha realizado una comparativa entre los tres métodos de análisis. También se exponen las tres configuraciones diferentes como son: PV-Baterías, PV-Diésel-Batería y Diésel-Batería y los distintos lugares donde se han realizado.

Para ello, se ha utilizado el programa iHOGA 2.2 +PRO para realizar las diferentes simulaciones. Una vez obtenidos los resultados, se han comparado las principales características de los componentes. Se han elaborado distintas figuras para poder hacer una mejor comparación de estos datos.

Por último, se han obtenido varias conclusiones después de llevar a cabo la realización del proyecto como se puede observar en el apartado correspondiente del trabajo.

2. ENERGÍA RENOVABLE

2.1 INTRODUCCIÓN

Además de las energías primarias (petróleo, carbón y gas natural), que son fuentes susceptibles de agotamiento y que además deterioran el medio ambiente, existen otro tipo de energías más seguras y menos contaminantes.

Se trata de las energías renovables, que producen electricidad a partir del sol, el viento y el agua. Son fuentes que se producen de forma natural, cuyo aprovechamiento no agota la fuente de la que se obtiene, es decir, son inagotables y por eso su uso no reduce los recursos existentes en las mismas, pero todavía presentan grandes dificultades de almacenamiento y son menos eficientes ya que las instalaciones tienen poca potencia y el coste de producción es elevado [2].

Las principales ventajas medioambientales son las siguientes:

- Las energías renovables son limpias y no generan residuos de difícil y costoso tratamiento.
- Las energías renovables no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera.

Las ventajas socioeconómicas de las energías renovables son:

- Las energías renovables son autóctonas. A diferencia de los combustibles fósiles que sólo existen en unas zonas determinadas, las energías renovables están disponibles, en mayor o menos medida, en todo el planeta.
- Las energías renovables evitan la dependencia exterior. De esta manera se reducen las pérdidas en transporte y se garantiza un suministro propio de energía.
- Las energías renovables por término medio crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.
- Las energías renovables contribuyen decisivamente al equilibrio interterritorial porque suelen instalarse en zonas rurales [2].

Actualmente, la producción de estas energías está aumentando, pero por debajo de las expectativas.

Existen diferentes fuentes de energía renovable, según los recursos naturales utilizados para la generación de energía.

- | | |
|---------------|-------------------------|
| 1. Biomasa | 5. Solar fotovoltaica |
| 2. Eólica | 6. Solar térmica |
| 3. Geotérmica | 7. Solar termoeléctrica |
| 4. Hidráulica | |

Las energías renovables más importantes son: energía fotovoltaica, energía eólica, energía hidráulica y la biomasa [2].

2.2 FOTOVOLTAICA AISLADA

En sistemas aislados la energía renovable más comúnmente accesible es la fotovoltaica, ya que el recurso solar es adecuado en la mayoría de las localizaciones (salvo en zonas polares o en localizaciones con mucha nubosidad durante largos periodos de tiempo).

La energía solar fotovoltaica aislada utiliza baterías (normalmente de plomo-ácido) para almacenar la energía y utilizarla en los períodos sin luz solar. En muchos casos va hibridada con diésel.

Estas instalaciones fotovoltaicas aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas generalmente se diferencian por su tensión del sistema (corriente continua o corriente alterna). En los sistemas off-grid acoplados en corriente continua, el panel solar se conecta a través de reguladores de carga de CC/CC.

En un sistema aislado realizado en corriente alterna se utiliza un inversor fotovoltaico convencional para inyectar corriente a la red eléctrica. Este sistema fotovoltaico normalmente está compuesto por paneles solares, regulador de carga, acumuladores solares, inversor fotovoltaico, etc. Se recomienda el uso de un monitor de acumulador para controlar el estado de carga de las baterías [3].

La instalación de un sistema fotovoltaico aislado debe ser debidamente planificada, estudiada y diseñada, teniendo en cuenta estos cinco factores:

- La potencia de conexión necesaria.
- El consumo de energía.
- El tipo de consumo (corriente continua, alterna, monofásica, trifásica, etc.).
- El período de uso.
- La localización y el clima.

Aplicaciones de fotovoltaica aislada:

- Electrificación rural: bombeo de agua, regadío, cámaras de refrigeración, etc.
- Señalización terrestre: alumbrado, señales de advertencia, semáforos, etc.
- Aplicaciones industriales: torres de telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia en las refinerías de petróleo y gas.
- Actividades de ocio: en refugios de montaña, casas de jardín, barcos o caravanas [3].

2.3 FOTOVOLTAICA-DIÉSEL

Una solución híbrida combinada con un grupo electrógeno genera un ahorro muy importante comparado con el coste creciente del combustible, ya que el sol es gratis.

Los grupos electrógenos en combinación con la energía solar pueden ser de dos tipos:

- Instalaciones solares híbridas fotovoltaica-diésel con baterías.
- Instalaciones solares híbridas fotovoltaica-diésel sin baterías.

Las instalaciones híbridas fotovoltaica-diésel, siendo combinación de ambas tecnologías, permiten compensar estas desventajas, pues ofrecen atractivas oportunidades y se pueden utilizar de forma productiva dentro de micro-redes [4]:

1. Optimización del rendimiento de los componentes de la instalación fotovoltaica.

Respecto al grupo electrógeno: mejora el rendimiento del generador diésel evitando su funcionamiento con cargas bajas, reduce el número de horas que está en marcha, aumenta su vida útil.

Referente a los acumuladores solares: disminuye considerablemente su capacidad y, por tanto, la inversión inicial, incorpora la posibilidad de programar una carga compensatoria cada cierto número de ciclos, según lo recomendado en este tipo de sistemas, evita descargas profundas y alarga la vida útil de los acumuladores solares con el arranque automático por SOC.

2. Disponibilidad energética.

Además de haber dos fuentes de generación, la solar fotovoltaica y la diésel, que pueden funcionar independientemente una de la otra, hay que añadir que la fiabilidad de los grupos electrógenos es muy alta ya que se trata de una tecnología muy madura, ofrece la opción de sumar la potencia del generador diésel a la del inversor solar de onda senoidal.

3. Mayor independencia frente a subidas de los precios del combustible.

2.4 BATERÍAS.

Las baterías plomo-ácido son el tipo de baterías predominante en los sistemas fotovoltaicos y en los sistemas híbridos fotovoltaicos-diésel. Otros tipos de baterías como las de níquel-cadmio o las de litio tienen un segmento de mercado muy residual.

Dentro de este grupo de plomo-ácido destacan dos tipos de baterías [5]:

- De electrolito inundado o ventiladas (VLA) donde los electrodos se encuentran sumergidos en exceso de electrolito líquido.

Arranque, iluminación y encendido (SLI, Starting, Lighting and Ignition Batteries).

De ciclo profundo o de tracción.

Estacionarias.

Es el tipo de baterías tradicional y forma el grueso del mercado.

- Selladas o reguladas por válvula (VRLA), donde el electrolito se encuentra inmovilizado en un separador absorbente o en un gel.

Absorbed Glass Mat (AGM).

Gelled electrolyte VRL.

Presentan un ciclo de vida más corto, elevadas temperaturas e intolerancia al abuso.

En las siguientes tablas se muestra las características técnicas de las baterías (Tabla 1) y la vida útil de las mismas (Tabla 2).

| Tipo celda | SLI | Ciclo profundo | Estacionaria |
|---|-------------|--------------------|--------------------|
| Tensión nominal (V_{DC}) | 2 | 2 | 2 |
| Tensión en circuito abierto (V_{DC}) | 1.90 ~ 2.15 | 1.90 ~ 2.15 | 1.90 ~ 2.15 |
| Tensión final de la carga (V_{DC}) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Tensión final de la descarga (V_{DC}) | 1.75 | 1.75 | 1.75 |
| Eficiencia (DC-a-DC) | 75% ~ 85% | 75% ~ 85% | 75% ~ 85% |
| Temperatura de trabajo ($^{\circ}C$) | -40 ~ 55 | -20 ~ 40 | -10 ~ 40 |
| Energía específica (Wh/kg) | 35 | 25 | 10 ~ 20 |
| Densidad de energía (Wh/L) | 70 | 80 | 50 ~ 70 |
| Densidad de potencia | Alta | Moderadamente alta | Moderadamente alta |

Tabla 1. Características técnicas de las baterías plomo-ácido [5].

| Batería | Expectativa de vida [años] | Expectativa de vida [ciclos] |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| SLI | 5 – 7 | 200 – 700 |
| De ciclo profundo | 3 – 5 | 1500 |
| Estacionarias | 15 – 30 | - |
| VRLA | 5 – 10 | 250 – 500 |

Tabla 2. Vida útil de las baterías de plomo-ácido [5].

Existe un tipo de baterías estacionarias optimizado para aplicaciones fotovoltaicas, denominadas OPzS, con muchos más ciclos de vida que las normales aunque con un precio superior. El equivalente en gel son las OPzV.

A la hora de la elección de la batería se debe tener en cuenta distintos aspectos, como por ejemplo, el precio y el número de ciclos de vida esperados.

El número de ciclos de vida esperados es un valor que suministra el fabricante, obtenido en ensayos controlados de laboratorio. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones las baterías funcionan en condiciones muy distintas a las de los ensayos (distintos valores de temperatura, corrientes de carga/descarga, estado de carga bajo durante períodos prolongados, etc.). Esto implica que la duración real de las baterías puede ser muy inferior a la prevista según el número de ciclos esperado según el fabricante. Modelos complejos como el de Schiffer permiten estimar con bastante fiabilidad la duración real de las baterías. Es muy importante la predicción correcta de su duración para determinar el coste total del sistema a lo largo de su vida.

Ventajas:

- Bajo coste.
- Tecnología conocida Rápida disponibilidad (cantidades, tamaños y diseños).
- Comportamiento moderadamente bueno a bajas y altas temperaturas.
- Celdas de voltaje elevado (en comparación con otro tipo de celdas).
- Componentes fácilmente reciclables.

Desventajas:

- Energía específica baja.
- Potencia específica baja.
- Ciclo de vida relativamente corto Mantenimiento elevado.
- Amenaza medioambiental (plomo y ácido sulfúrico) [5].

3. SUMINISTRO DE ENERGÍA A SISTEMAS AISLADOS MEDIANTE PV-DIÉSEL-BATERÍAS

El modelo del sistema fotovoltaico autónomo utilizado se describe en esta sección. La figura 1 muestra el sistema donde se suministrará una carga de AC, y puede estar compuesto por fotovoltaico (PV), un banco de baterías, un generador diésel y un controlador inversor/cargador [6].

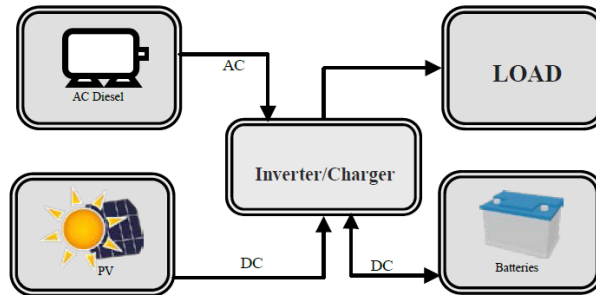


Figura 1. Sistema PV-Diésel-Baterías [1].

3.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO

El cálculo de la generación de electricidad por hora del generador fotovoltaico requiere el conocimiento de la radiación incidente por hora en un año típico. En los casos en que no exista la irradiación de datos horarios disponibles, hemos utilizado la radiación media diaria en una superficie horizontal para cada mes del año como los datos de entrada solar [1].

Los datos son convertidos en el índice medio de la claridad de cada mes utilizando la ecuación de Rietveld [7]. Entonces, se obtiene el índice de claridad para cada día del año y la irradiación global por hora sobre la superficie de los paneles PV es calculada según el modelo de Graham [8]. El método de Graham es adecuado porque tiene en cuenta la incertidumbre asociada a los datos de irradiación disponibles.

Si ningún sistema de rastreo de toma de corriente máximo (MPPT) es incluido en el sistema PV, la corriente suministrada por los paneles durante la hora t se calcula como (Fig. 2, izquierda):

$$I_{PV}(t) = I_{SC} \cdot \frac{G(t)}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (1)$$

Donde I_{SC} es la corriente de acceso directo del generador fotovoltaico [A] y $G(t)$ es la irradiancia media de la superficie de los paneles fotovoltaicos durante la hora t [KW/m²].

La temperatura de la célula PV, T_c [°C], se puede calcular usando:

$$T_{(c)}(t) = T_{(a)}(t) + \left(\frac{NOCT-20}{0.8} \right) \cdot G(t) \quad (2)$$

Donde T_a es la temperatura ambiente [°C] y NOCT es la temperatura nominal de la célula de operación [°C] (44-47 °C). Para temperaturas de la célula altas ($T_c > 40$ °C) y valores medio-altos de irradiación ($G > 0,5$ kW / m²), la salida de corriente del PV, $I_{PV}(t)$, es menor que el valor de la ecuación (1), y debe ser corregida de la siguiente manera (Fig. 2, derecha):

$$I_{PV}(t) = I_{SC} \cdot \frac{G(t)}{1 \text{ kW/m}^2} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{100} (T_c(t) - 25) \right] \quad (3)$$

Donde α es el coeficiente de temperatura [%/°C] (0,43 a 0,47%/ °C).

Si el controlador de carga incluye un sistema MPPT, los paneles fotovoltaicos Siempre trabajarán en el punto de máxima potencia de la curva $I=f(V)$, por lo que la corriente de salida del generador fotovoltaico es:

$$I_{PV}(t) = I_{SC} \cdot \frac{P_{STC}}{U_{PV}(t)} \cdot G(t) \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{100} (T_c(t) - 25) \right] \quad (4)$$

Donde P_{STC} es la potencia de salida en condiciones de prueba estándar [pico de vatio, Wp] y la $U_{PV}(t)$ es la tensión de salida del generador fotovoltaico [V]. Es la tensión en lugar de la caída de corriente que conduce a la reducción de la potencia de salida [1].

3.2 BATERÍA

Para cada hora, la corriente de la batería se calcula como:

$$\begin{aligned} I_{bat}(t) &= I_{LOAD}(t) - I_{PV}(t) = I_{invDC}(t) + I_{DC}(t) - I_{PV}(t) \\ &= \frac{I_{AC} \cdot U_{AC} \cdot \cos\phi}{U_{DC}(t) \cdot \eta_{inv}(I_{AC}(t))} + I_{DC}(t) - I_{PV}(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Donde U_{AC} es la tensión alterna [V], $U_{DC}(t)$ [V] es la tensión de DC (que varía con el tiempo, fijado por las baterías y el regulador de carga), $\cos\phi$ es el factor de potencia de la carga de corriente alterna, y η_{inv} es la eficiencia del inversor (que depende de la corriente de salida suministrada por el convertidor). $I_{BAT} > 0$ significa carga; $I_{BAT} < 0$: descarga.

Cuatro modelos diferentes se han considerado para el cálculo de la de tensión y el estado de carga (SOC):

- El modelo Ah [9]
- El modelo KiBaM [10].
- Una versión simplificada del modelo Copetti [11,12] se muestra en [13].
- El modelo Schiffer [14]

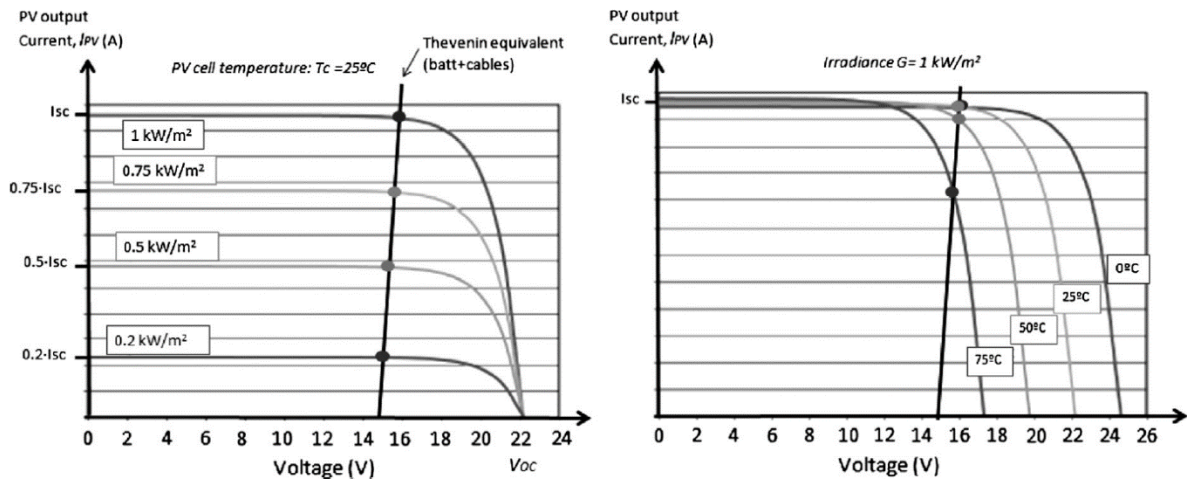


Figura 2. Intersección de la curva $I=f(V)$ del generador PV y el equivalente Thévenin que se ve cuando la batería está totalmente cargada. Izquierda: curvas para una temperatura de célula del PV constante ($T_c=25^\circ\text{C}$) e irradiación variable de G . Derecha: curvas para una $G=1 \text{ kW/m}^2$ y variable T_c [6].

3.3 CONTROLADOR INVERSOR/CARGADOR

La corriente de la batería y la tensión son controladas por el controlador (prevenir la sobrecarga o sobre-descarga).

3.3.1 La prevención de exceso de carga.

- El encendido/apagado del controlador de carga.
El funcionamiento on/off del controlador se muestra en la Fig. 3. Durante el proceso de carga, cuando el voltaje de la célula de la batería aumenta por encima del umbral superior HVD, punto de ajuste, la corriente de carga está desactivada, desconectando la batería del generador fotovoltaico. Cuando el voltaje cae por debajo del umbral HVR, punto de ajuste, la corriente de carga se enciende de nuevo [6].

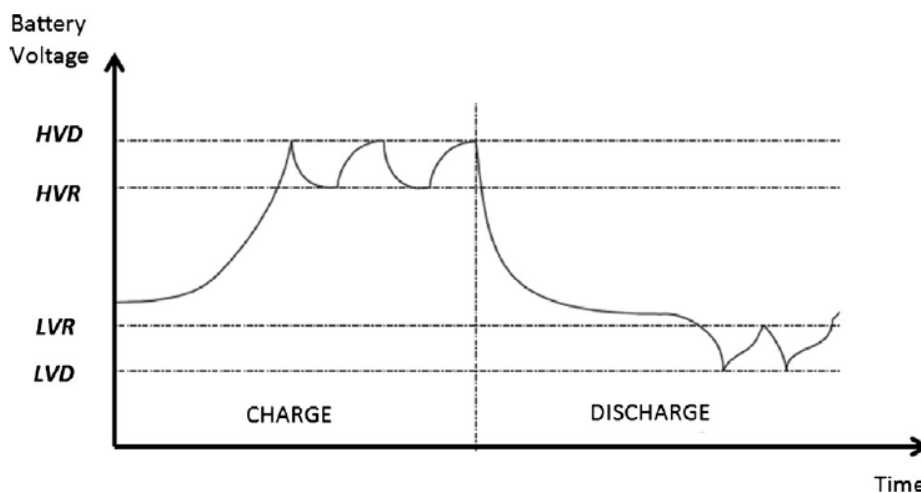


Figura 3. Voltaje de batería vs tiempo durante la carga y procesos de descarga controlados por un controlador on/off [6].

- El controlador de carga PWM.

Muchos cargadores PWM tienen tres etapas: bulto, impulso y flotación (Fig. 4).

1. Durante la primera etapa, la carga se produce en cualquier corriente que el generador PV es capaz de proporcionar.
2. En la segunda etapa, cuando la batería alcanza "la tensión de elevación" (BV), la corriente se ajusta para mantener el voltaje en BV, punto de ajuste.
3. Cuando la corriente de la batería llega a un cierto nivel o ha pasado un tiempo específico en el punto de ajuste BV (BTime), el punto de ajuste se reduce a un "voltaje de flotación" (FV) más bajo, lo que permite una pequeña corriente en la batería, asegurando una carga completa, mientras no cause un gaseo excesivo.

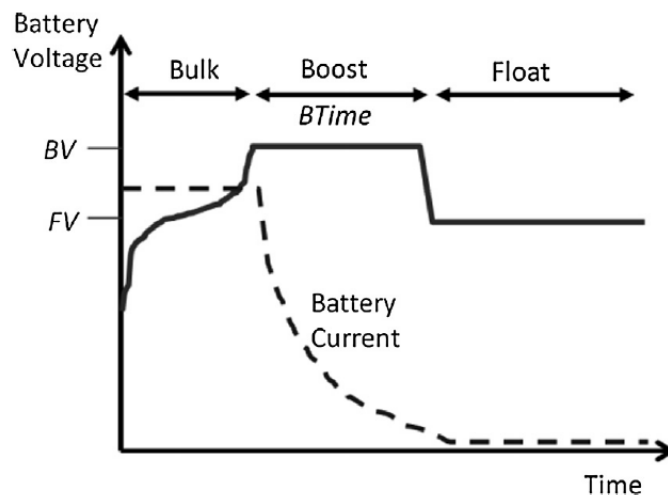


Figura 4. Voltaje de batería y corriente vs tiempo durante el proceso de carga controlada por un controlador [6].

Los controladores PWM intencionadamente sobrecargan la batería en intervalos regulares (típicamente 30 días) o aplicando un punto de ajuste superior, llamado "el voltaje de compensación" (EV), durante un tiempo especificado (E_{time}), mezclando el electrolito (de-estratificación) y asegurando que todas las celdas de la batería son "igualadas" en un estado de carga completa [1].

Algunos controladores utilizan un algoritmo de alto rendimiento con el cual el estado de carga (SOC) se puede calcular con un grado suficiente de precisión y la batería puede ser protegida de manera óptima. Este tipo de controlador también aplica valores de ajuste del SOC. La carga incluirá una etapa de impulso de carga si la batería ha disminuido desde la última carga completa se llama a un SOC "SOC para el impulso" (SOC_{boost}), de lo contrario la carga de impulso no se utilizará. Si la batería se ha reducido desde la última carga completa se llama a un "SOC para la igualación" (SOC_{equal}), la equalización será realizado [1].

3.3.2 La prevención de exceso de descarga.

Durante el proceso de descarga (Fig. 3), si la tensión del terminal de la célula de la batería se descarga tan profundamente que su tensión alcanza un umbral mínimo llamado "desconexión por baja tensión" (LVD), la carga se desconecta de la batería. Después de recargar y llegando a un umbral LVR, punto de ajuste, se vuelve a conectar la carga.

Como el voltaje se cambia en relación con la carga y las corrientes de descarga y el estado de carga, los valores fijos LVD y LVR no son óptimos ya que, en el proceso de descarga, el voltaje de la batería depende de la corriente (corrientes de descarga altas implican voltajes de batería bajos).

Para resolver este problema, muchos controladores de carga utilizan algoritmos para calcular el SOC de manera que el controlador es capaz de desconectar la carga en un específico "SOC para desconectar la carga" punto de ajuste ($SOC_{\text{disconnect_carga}}$) y se vuelve a conectar la carga cuando la batería ha alcanzado un "SOC para volver a conectar la carga" punto de ajuste ($SOC_{\text{reconnect_load}}$) [1].

4. MODELOS DE ENVEJECIMIENTO DE LAS BATERÍAS.

El componente con el coste más alto es el banco de batería, considerando el coste de adquisición, el coste de la operación y el mantenimiento (O&M) y los reemplazos del componente cuando este alcanza su vida durante la vida útil de sistema. La estimación correcta de la vida útil de la batería es muy importante ya que determina el número de reemplazos del banco de baterías durante la vida útil del sistema (que generalmente se considera como 20 o 25 años, lo mismo que el tiempo de vida paneles fotovoltaicos) [6].

Por ejemplo, si la estimación de la vida útil de las baterías es de 5 años y el tiempo de vida del sistema es de 25 años, se espera que el banco de baterías tenga que ser sustituido 5 veces. Sin embargo, si el curso de la vida real es de 2,5 años, será reemplazado 10 veces, y el costo total real actual neto del sistema y el coste normalizado de la energía (€/kWh) sería mucho más alto que los esperados [6].

Los procesos de envejecimiento más importantes son la corrosión anódica, la degradación de la masa activa positiva y la pérdida de adherencia a la red, la formación irreversible de sulfato de plomo en la masa activa, corto circuito, la pérdida de agua y la estratificación del electrolito [15].

La vida real de las baterías depende en gran medida de las condiciones de funcionamiento, teniendo en cuenta la pérdida de capacidad por la degradación de la masa activa (con la influencia del estado de carga (SOC), el tiempo que las baterías están en un estado de baja carga, el tiempo transcurrido desde la última carga completa, la estratificación del ácido ...) y la pérdida de capacidad por la corrosión (con la influencia de la tensión de la célula, la temperatura y otros factores) [16].

El tiempo de vida ciclo de la batería que se muestra en la hoja de datos de las baterías (varios cientos de ciclos completos) se obtiene en pruebas de laboratorio en condiciones estándar. Sin embargo, las condiciones reales pueden ser muy diferentes de las condiciones estándar. Es decir, el envejecimiento por la degradación de la masa activa y la vida útil puede ser muy diferente de la esperada.

En el caso de las baterías estacionarias (que operan bajo condiciones de carga flotante), el mecanismo de envejecimiento más importante es corrosión de la rejilla positiva. Las condiciones reales de baterías estacionarias pueden ser diferentes de las pruebas de laboratorio, por lo que la vida de flotación real pueden ser muy diferentes (por lo general menor) que la vida flotante que se muestra en la hoja de datos (que se encuentra a 20 o 25º C). El efecto de la temperatura sobre la vida de flotación es de aproximadamente una reducción del 50% para cada 8,3 ºC de aumento de la temperatura de las baterías de plomo-ácido [17].

A continuación se explican tres métodos diferentes para poder estimar la vida útil de las baterías.

4.1 Ah CICLOS EQUIVALENTES

Este método es ampliamente utilizado por muchas herramientas de simulación y optimización [18]. Este modelo tiene en cuenta la cantidad de energía por ciclo de las baterías y no tiene en cuenta las condiciones de funcionamiento [5].

Se define el final de la vida útil de la batería cuando un número especificado de ciclos de carga-descarga son completos. La norma IEC [19] define el número de ciclos (Z_{IEC}), que cada fabricante suministra en su hoja de características. La estimación de la vida útil consiste en añadir la carga (Ah rendimiento) por ciclo de la batería y el cálculo del número de ciclos completos (Z_N) se calcula como:

$$Z_N(t + \Delta t) = Z_N(t) + \frac{|I_{disch_{bat}}(t)| \cdot \Delta t}{C_N} \quad (6)$$

Donde $|I_{disch_{bat}}(t)|$ es el valor absoluto de la corriente de descarga. Cuando $Z_N(t)=Z_{IEC}$, se alcanza el final de la vida útil de la batería.

4.2 Ah RAINFLOW

Este modelo es más complejo y preciso que la anterior. Está basado en el algoritmo de Downing [20] que se utiliza por HYBRID2 [21] e iHOGA [22]. Este método se basa en el recuento de los ciclos de carga-descarga Z_i correspondientes a cada rango de la profundidad de descarga (DOD) dividida en intervalos m durante un año. Para cada intervalo existe un número de ciclos hasta la rotura (CF_i) obtenido a partir de la Fig. 5.

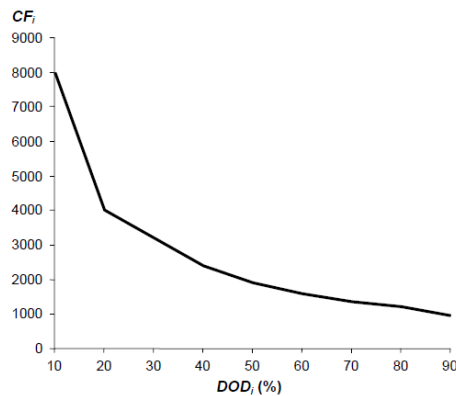


Figura 5. Ciclos de fallo vs profundidad de descarga [5].

La autonomía de la batería, en años, se puede calcular como sigue [5]:

$$Life_{bat} = \frac{1}{\sum_{i=CF_i}^m \frac{Z_i}{CF_i}} \quad (7)$$

Este modelo tiene en cuenta la profundidad de descarga de los ciclos, pero no tiene en cuenta otras condiciones de funcionamiento como por ejemplo el tiempo que las baterías están en un SOC baja, el tiempo desde la última carga completa, la estratificación del ácido corriente, voltaje, temperatura...

4.3 SCHIFFER

Este es un modelo Ah-rendimiento ponderado propuesto por Schiffer et al. [14]. Se consideran las condiciones reales de funcionamiento. El rendimiento real Ah se multiplica de forma continua por un factor de peso que representa las condiciones reales de funcionamiento.

Este modelo calcula la pérdida de capacidad debido a la corrosión y la pérdida de la capacidad de degradación. La capacidad de la batería restante es la capacidad de la batería inicial normalizada menos la pérdida de capacidad debido a la corrosión y la degradación. El final de la vida útil de la batería se alcanza cuando su capacidad restante es el 80% de la capacidad nominal [5].

Este modelo tiene en cuenta la influencia del SOC, el tiempo que las baterías están en un estado de bajo costo, el tiempo transcurrido desde la última carga completa, la corriente, la estratificación del ácido, el voltaje de la célula, la temperatura y otros factores. Mediante el uso de este modelo, el efecto de los límites del corte de tensión de la batería del controlador puede ser modelada, y también otros parámetros que se pueden ajustar en el controlador de la batería [16].

Es un modelo complejo que utiliza muchas ecuaciones, la información detallada se puede ver en el anexo I donde se da más información sobre este modelo [14] y [16].

5. COMPARATIVA ENTRE MODELOS.

Varios modelos de rendimiento de la batería y del envejecimiento se han comparado en la simulación de sistemas fotovoltaicos aislados. A continuación se hace una comparativa entre ellos.

Los modelos clásicos (Ah ciclos equivalentes y Ah Rainflow) utilizados para estimar la vida útil de las baterías son muy simples y pueden implicar errores. Se ha demostrado que el modelo Schiffer es mucho más preciso y predice las baterías de vida mucho mejor que los otros modelos [16].

Los modelos clásicos no estiman correctamente el envejecimiento de las baterías en muchos casos. La vida útil de la batería predicha es dos o tres veces mayor que la vida útil obtenida en el sistema real. Sin embargo, utilizando el modelo Schiffer, las predicciones son muy similares a los tiempos de vida reales, que son importantes en la técnica y evaluación económica y por lo tanto en la optimización de estos tipos de sistemas.

El coste total neto actualizado del sistema incluye todos los costes a lo largo de su vida útil (que suele considerarse 25 años, la misma que la de los paneles fotovoltaicos):

- Adquisición inicial de todos los componentes, e instalación
- Reposición de los distintos componentes cuando finaliza su vida útil (la vida de las baterías depende de su funcionamiento y, dependiendo del modelo utilizado, puede dar valores muy distintos).
- Operación y mantenimiento.

Todos estos costes se actualizan al momento inicial de la instalación (coste actual neto actualizado). El coste de la energía suministrada a lo largo de la vida útil del sistema (€/kWh) es el coste total neto actualizado dividido por la energía total que suministra el sistema a los consumos eléctricos durante la vida útil.

Las emisiones de CO₂ incluyen las emisiones de todo el ciclo de vida:

- Emisiones del generador diésel a lo largo de la vida útil del sistema (en casos PV-diésel).
- Emisiones debidas a la fabricación, transporte, montaje, desmontaje y reciclado de todos los componentes del sistema.

Las emisiones específicas (kgCO₂/kWh) son las emisiones del ciclo de vida divididas por la energía total que suministra el sistema a los consumos eléctricos durante la vida útil.

Los modelos clásicos obtienen estimaciones muy similares durante la vida útil de la batería y por tanto el coste total neto actualizado y el coste de la energía suministrada (€/kWh) son muy similares. Estos resultados son demasiado optimistas.

Sin embargo, el modelo Schiffer obtiene resultados más realistas de la vida útil de las

baterías (mucho más bajos que los valores obtenidos con los modelos clásicos), y por tanto el coste total neto actualizado y el coste de la energía suministrada (€/kWh) son más realistas (superior a los valores obtenidos con los otros modelos).

Con el modelo Schiffer se han logrado mejores resultados y las predicciones son muy similar a tiempos de vida reales.

El modelo Schiffer se ha añadido en software iHOGA [23], que es el único software para la simulación y optimización de sistemas renovables híbridos que incorpora un modelo tan preciso.

Se va a comparar tres modelos de envejecimiento de las baterías que se utilizarán en la simulación y optimización de sistemas híbridos renovables.

Dos modelos son simples y clásicos:

- Ah ciclos equivalentes.
- Ah Rainflow.

Y el tercero es un modelo más complejo.

- Schiffer.

Se va a optimizar tres tipos de sistemas:

- PV-Baterías.
- PV-Diésel-Baterías.
- Diésel-Baterías.

Las tres configuraciones serán optimizados con el fin de alimentar la carga con el costo más bajo. Se han utilizado las siguientes cargas:

1. Consumo residencial convencional (AC), 6.49 kWh/día
2. Consumo bajo (AC), 3.63 kWh/día
3. Consumo de oficinas (AC), 13.66 kWh/día
4. Granja (AC), 40.95 kWh/día
5. Estación de telecomunicación (DC), 2.88 kWh/día

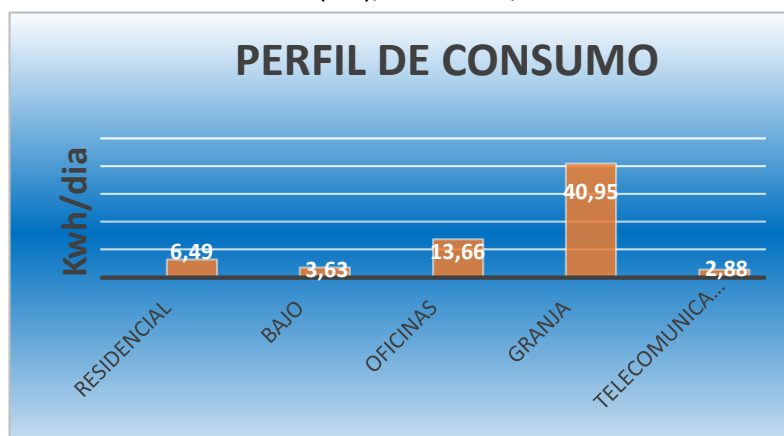


Figura 6. Perfiles de consumo de los casos analizados.

Las distintas localizaciones donde se va optimizar los sistemas son:

1. Sabiñanigo, España.
2. Tenerife, España.
3. Nueva Delhi, India
4. Yakarta, Indonesia.
5. Johannesburgo, Sudáfrica.

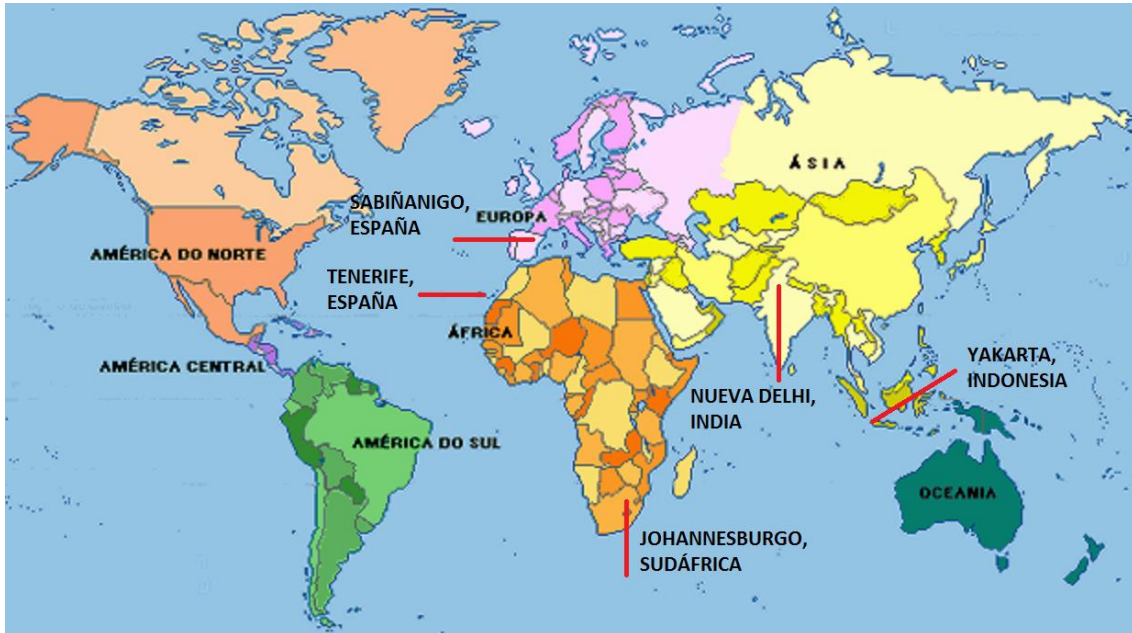


Figura 7. Localización de las ciudades donde se han optimizado los sistemas.

En el anexo II se muestran las tablas de resultados (tablas 1 a 25) donde se observa el sistema óptimo encontrado para las diferentes configuraciones (PV-baterías, PV-Diésel-Baterías), utilizando para cada configuración los tres modelos de envejecimiento de la batería.

En el siguiente apartado, se muestran diferentes gráficas de las configuraciones óptimas encontradas para cada uno de los distintos casos (gráficos 1 al 20) tales como: coste de la energía suministrada (€/kWh), emisiones de CO₂ (kgCO₂/kWh) y tamaño de los componentes tanto de los paneles fotovoltaicos como de las baterías.

En el sistema PV-Diésel-Baterías el generador será un generador de gasolina de 0.5 kVA en los cinco casos estudiados. Sin embargo, en el sistema Diésel-Baterías el generador es un generador diésel de 1.9 kVA en todos los casos menos en la granja que es un generador de 7 kVA.

Con la comparación de los resultados para las diferentes optimizaciones, se llega a la conclusión que en los casos estudiados todos los modelos obtienen mismo sistema óptimo (excepto para el caso de Diésel-Baterías, donde el modelo Schiffer obtiene un banco de baterías más bajo en el sistema óptimo).

6. RESULTADOS.

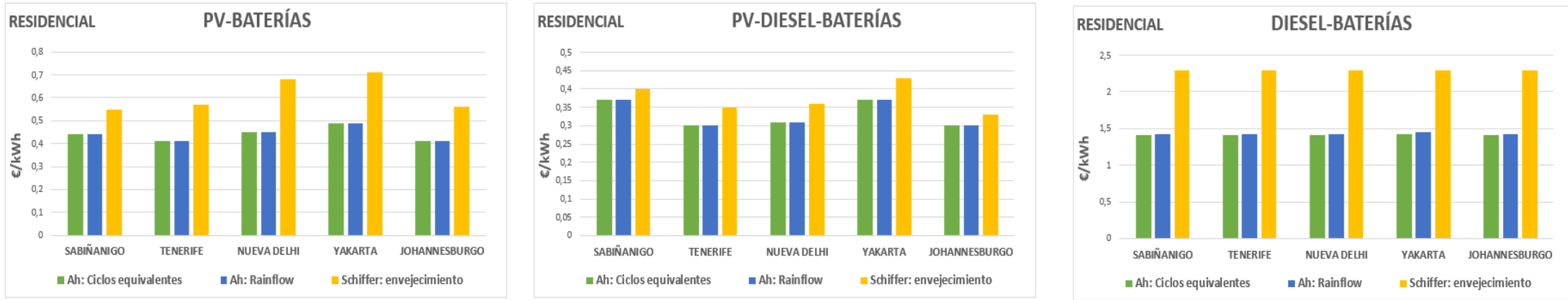


Figura 8. Precio de la energía suministrada (€/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo residencial en los diferentes sistemas.

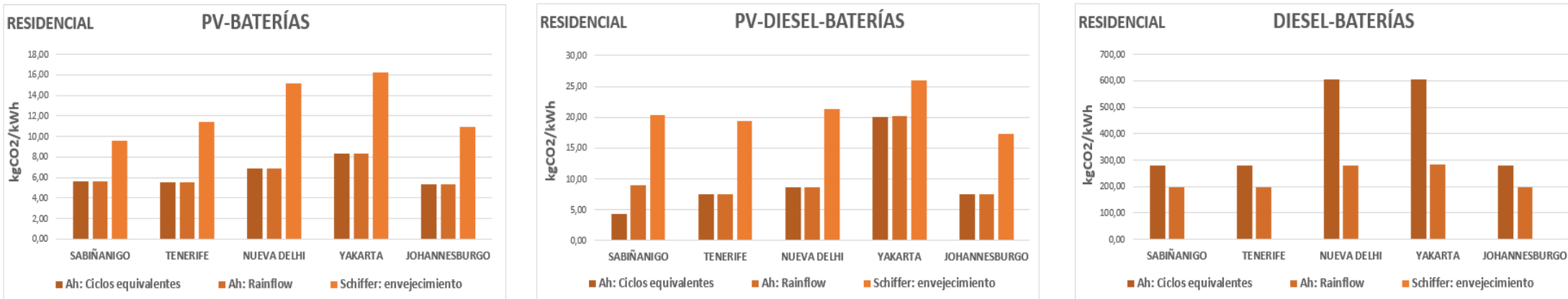


Figura 9. Emisiones específicas (kgCO₂/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo residencial en los diferentes sistemas.

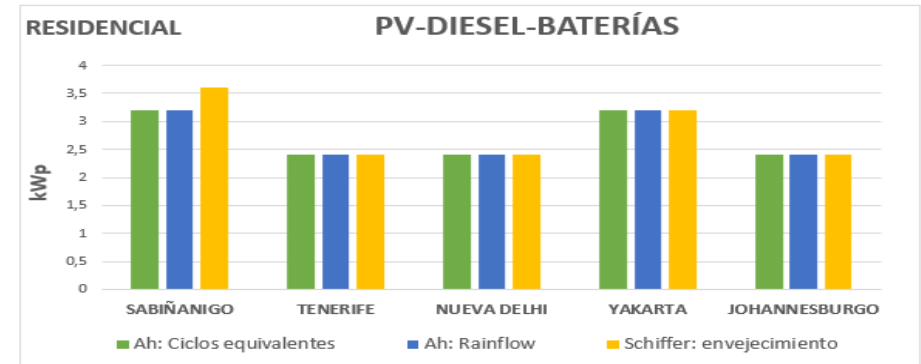
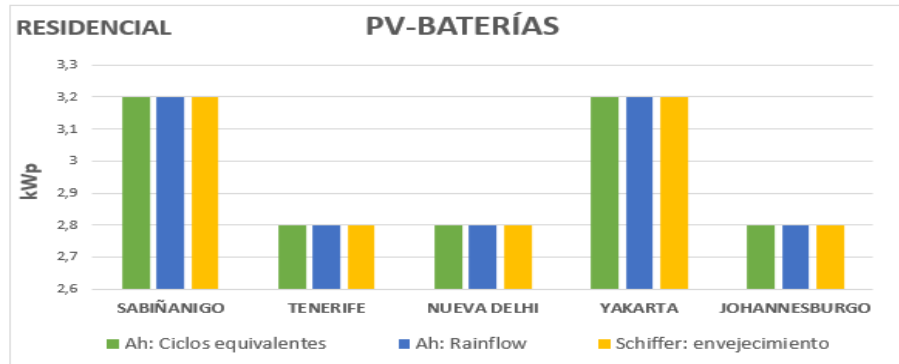


Figura 10. Potencia del generador fotovoltaico (kWp) vs localización y tipo de modelo en consumo residencial en los diferentes sistemas.

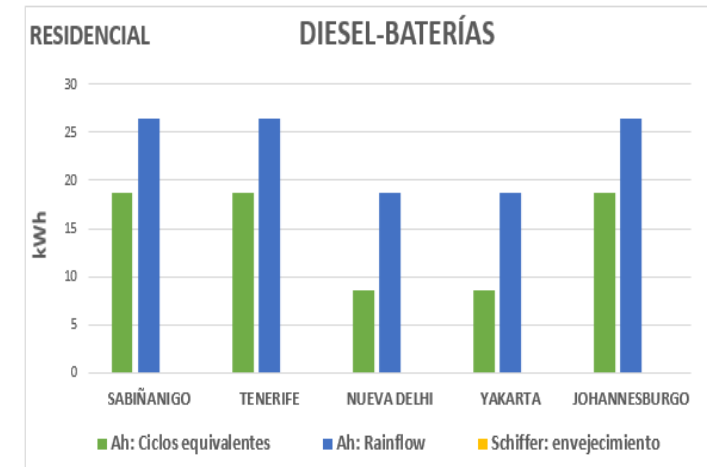
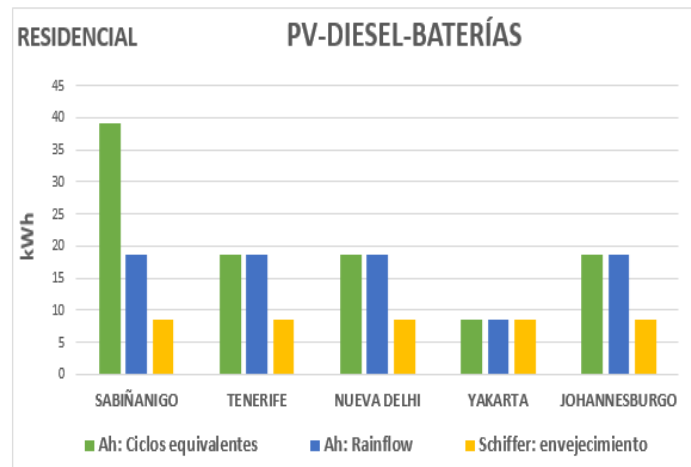
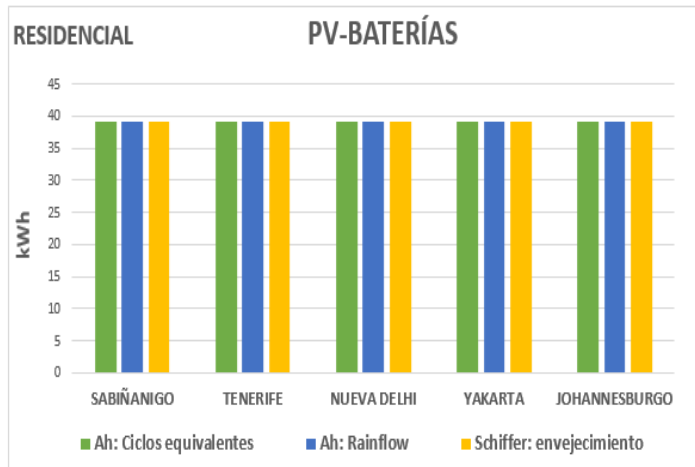


Figura 11. Capacidad de las baterías (kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo residencial en los diferentes sistemas.

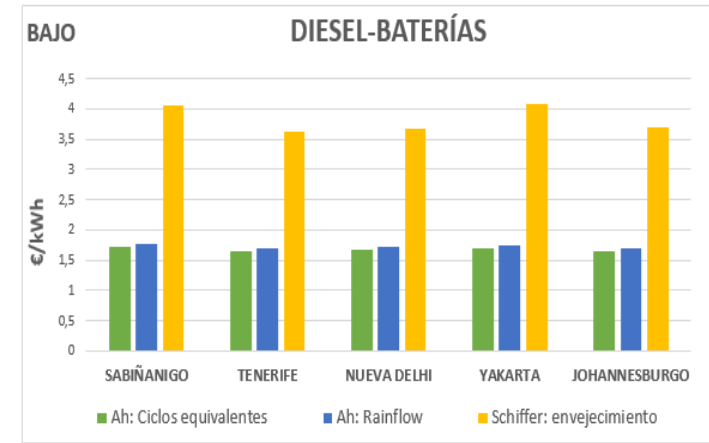
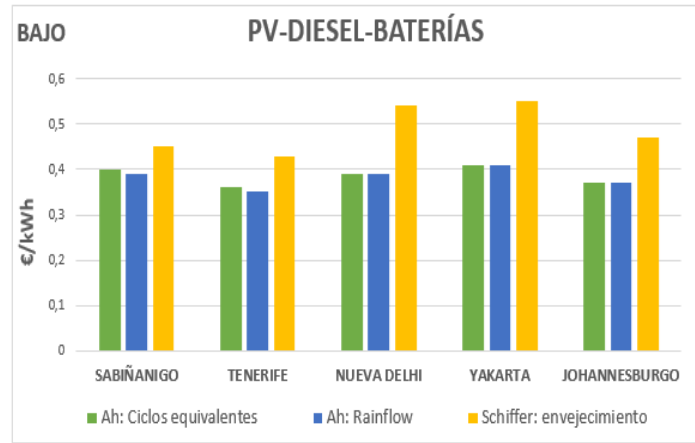
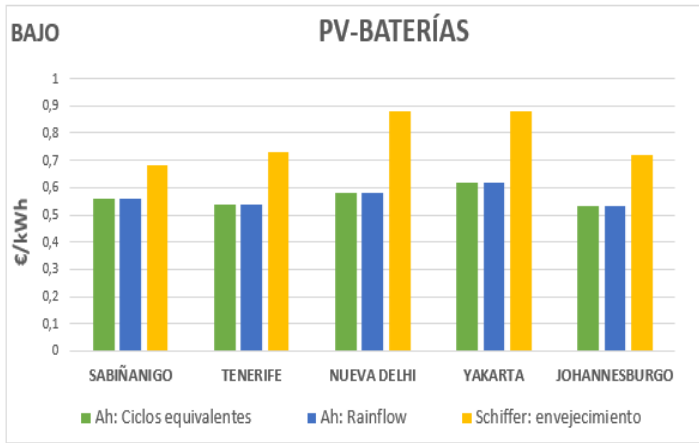


Figura 12. Precio de la energía suministrada (€/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo bajo en los diferentes sistemas.

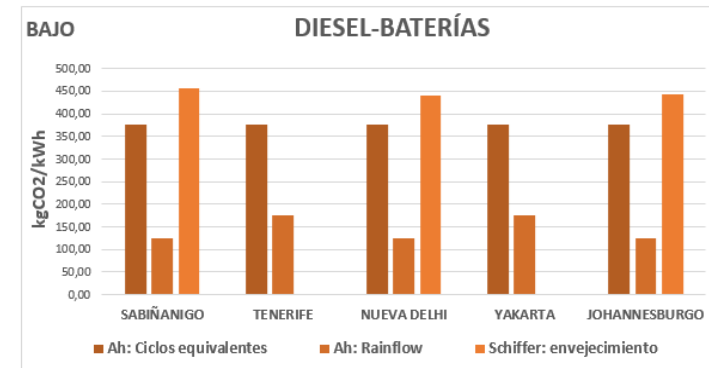
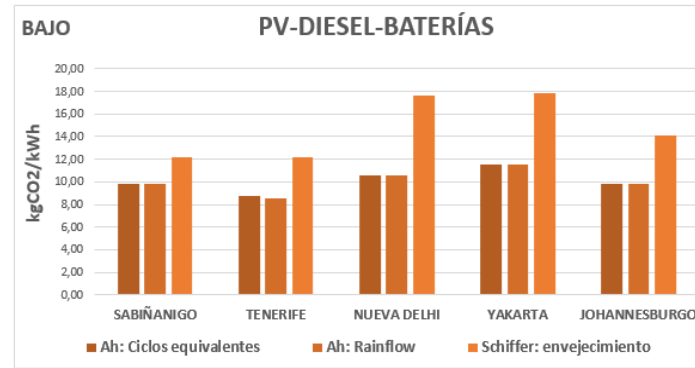
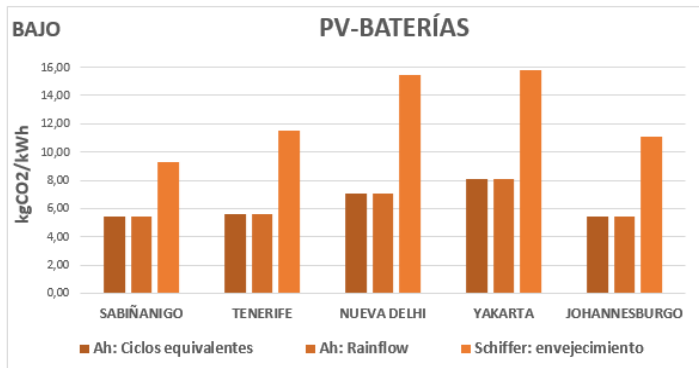


Figura 13. Emisiones específicas (kgCO₂/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo bajo en los diferentes sistemas.

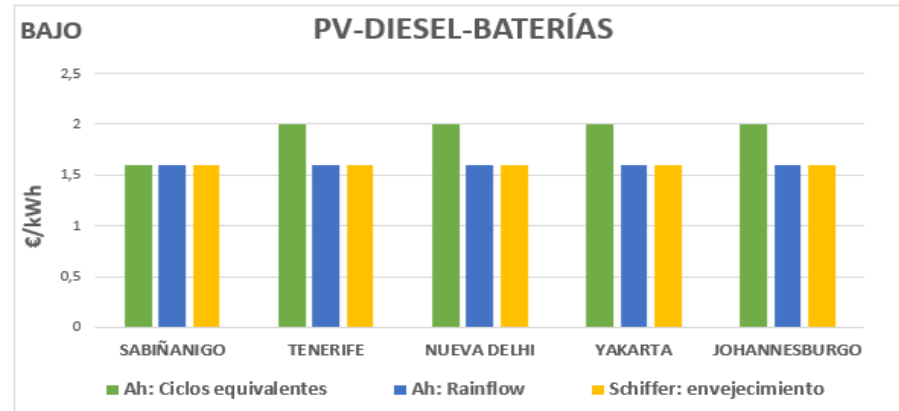
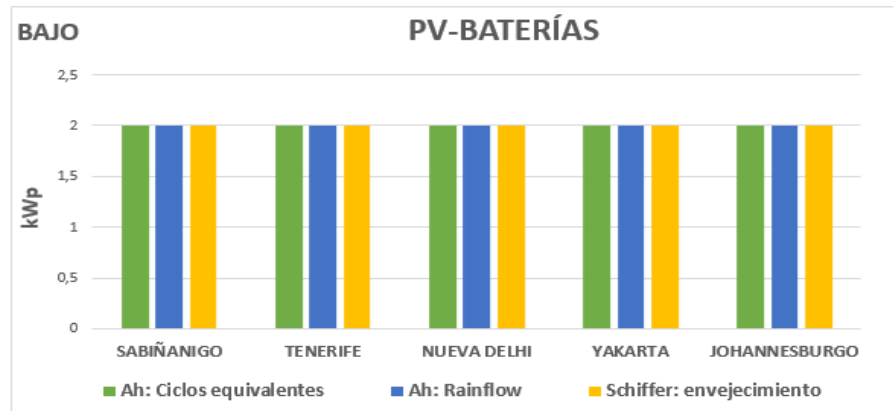


Figura 14. Potencia del generador fotovoltaico (kWp) vs localización y tipo de modelo en consumo bajo en los diferentes sistemas.

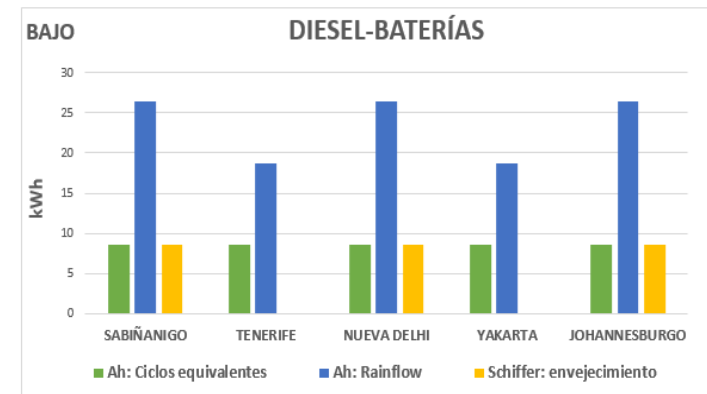
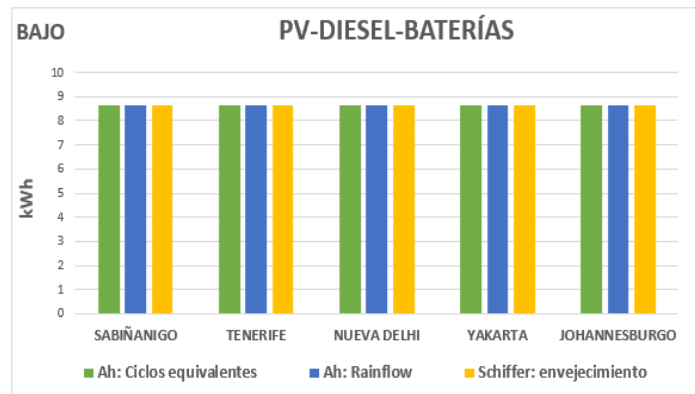
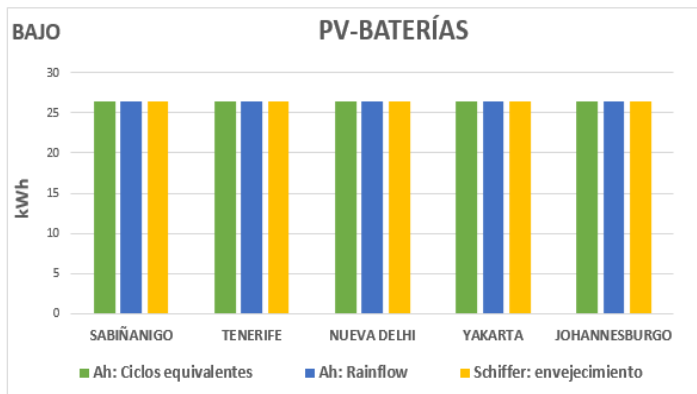


Figura 15. Capacidad de las baterías (kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo bajo en los diferentes sistemas.

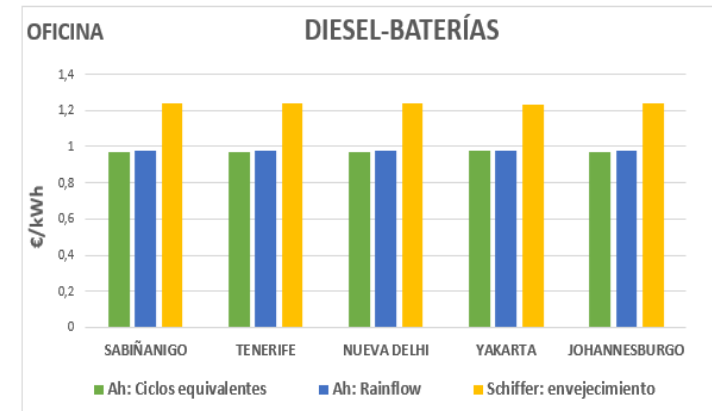
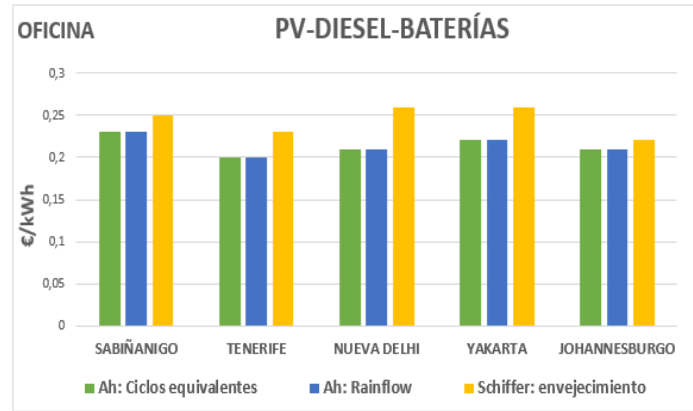
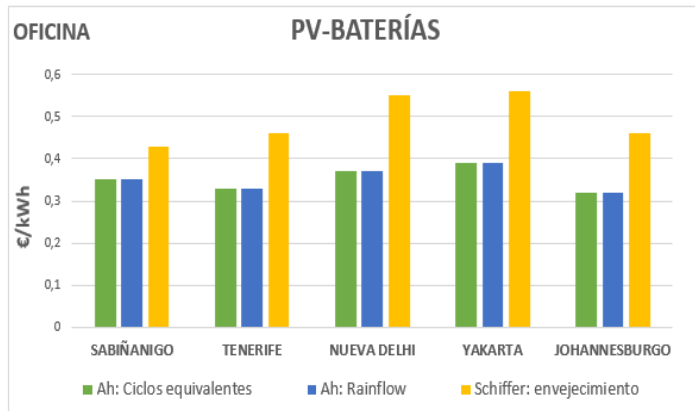


Figura 16. Precio de la energía suministrada (€/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo de oficina en los diferentes sistemas.

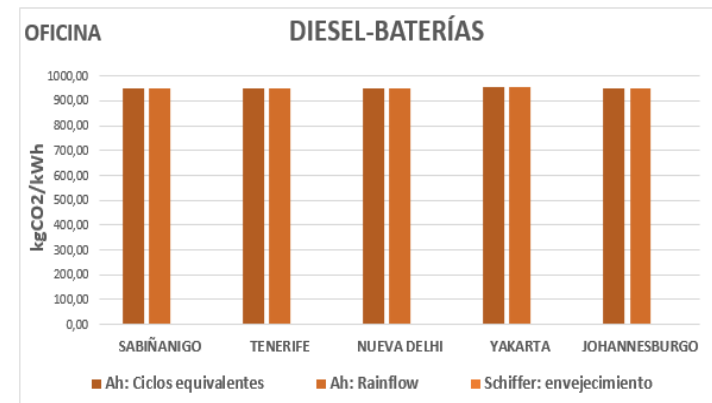
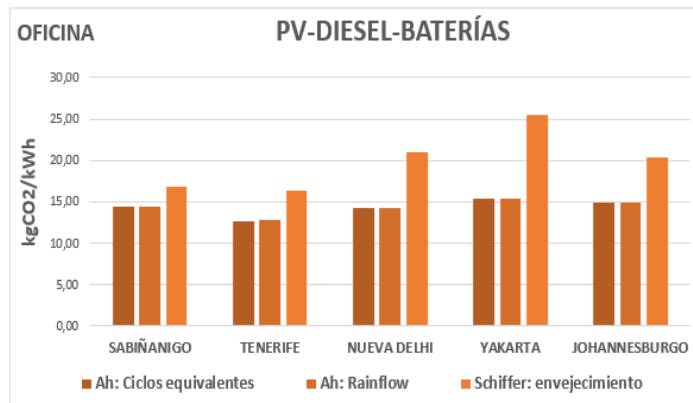
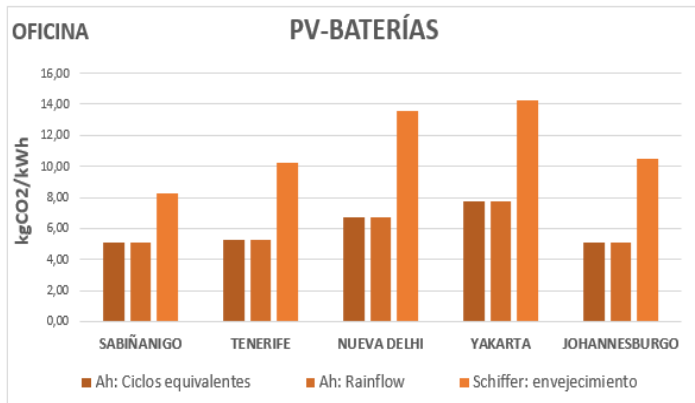


Figura 17. Emisiones específicas (kgCO₂/kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo de oficina en los diferentes sistemas.

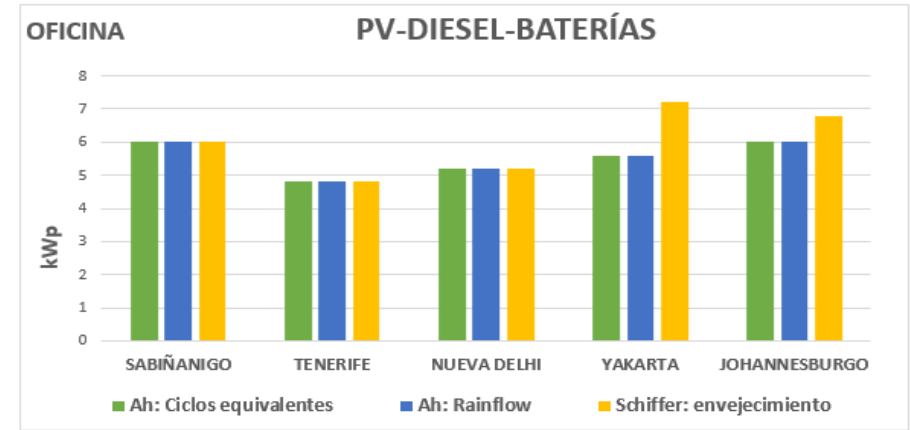
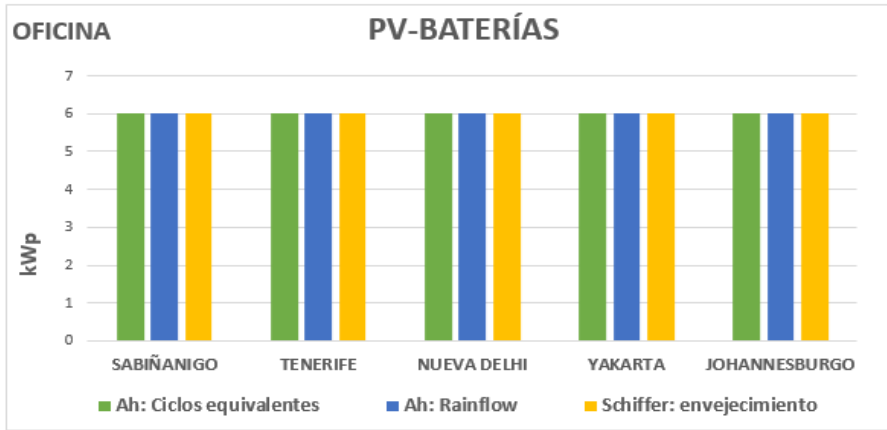


Figura 18. Potencia del generador fotovoltaico (kWp) vs localización y tipo de modelo en consumo de oficina en los diferentes sistemas.

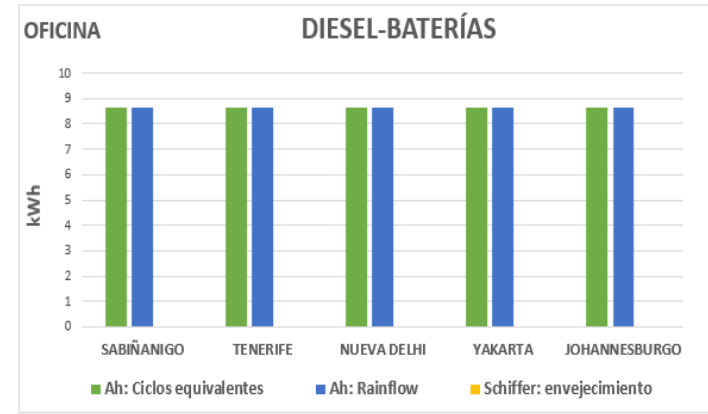
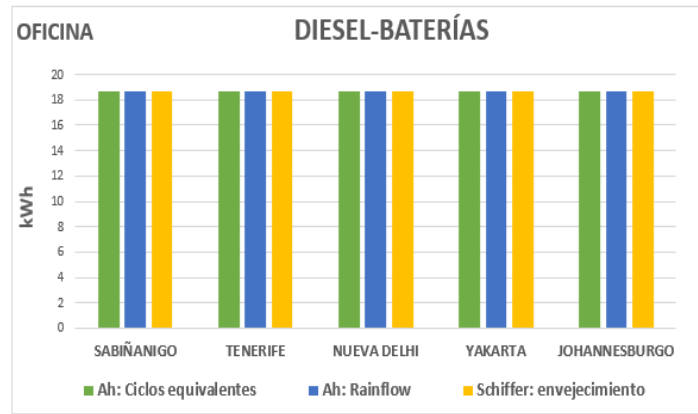
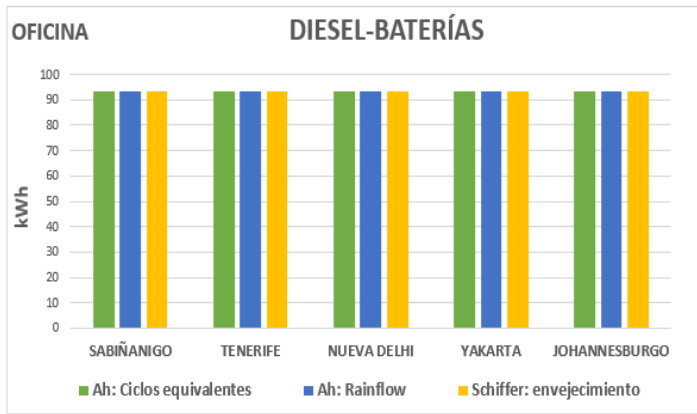


Figura 19. Capacidad de las baterías (kWh) vs localización y tipo de modelo en consumo de oficina en los diferentes sistemas.

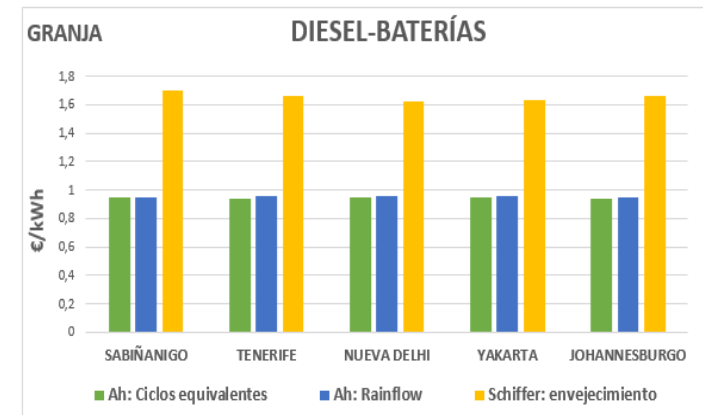
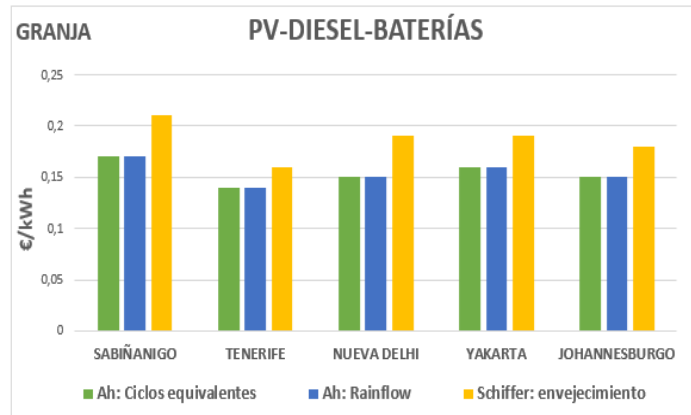
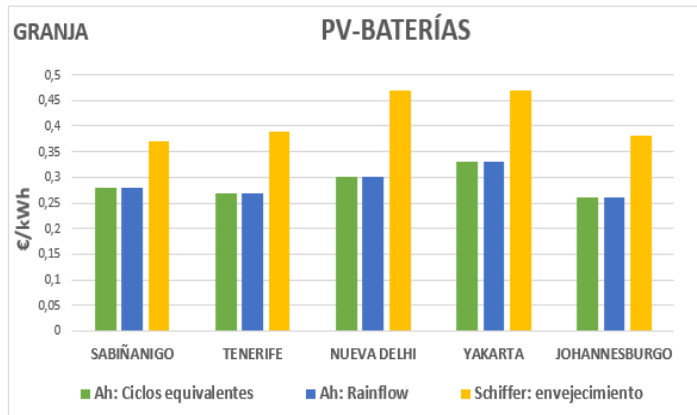


Figura 20. Precio de la energía suministrada (€/kWh) vs localización y tipo de modelo en granja en los diferentes sistemas.

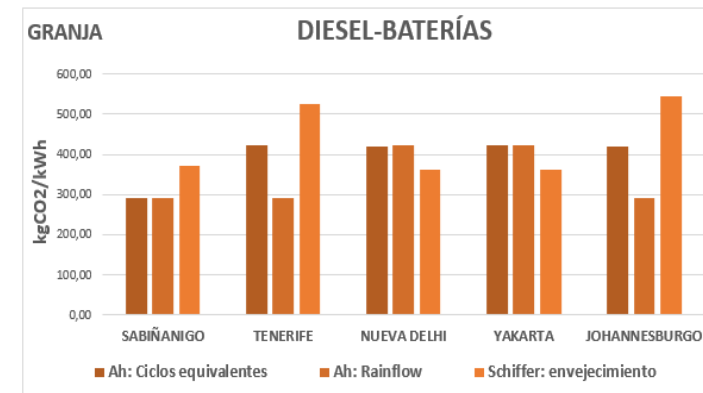
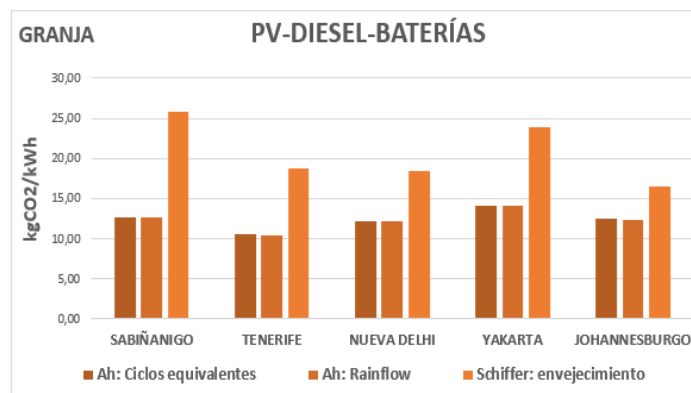
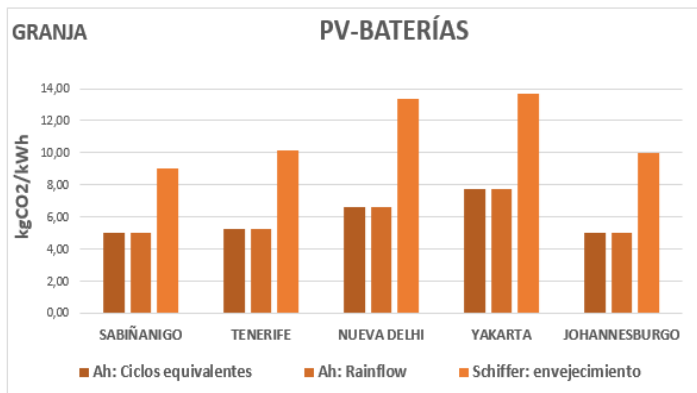


Figura 21. Emisiones específicas (kgCO₂/kWh) vs localización y tipo de modelo en granja en los diferentes sistemas.

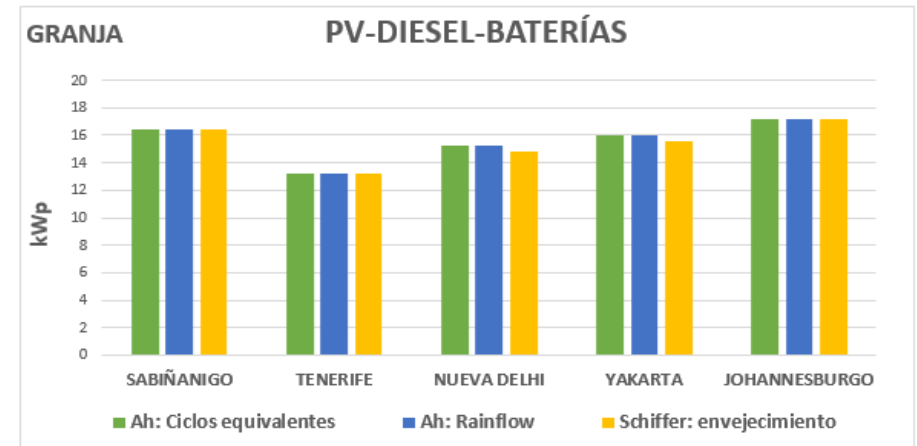
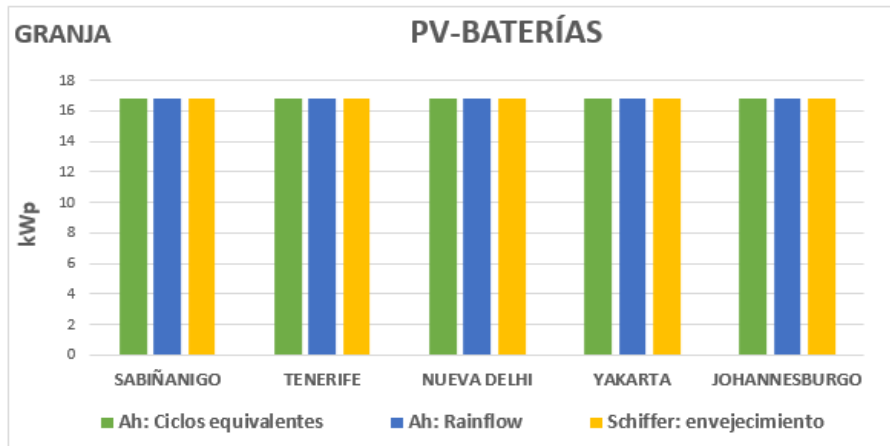


Figura 22. Potencia del generador fotovoltaico (kWp) vs localización y tipo de modelo en granja en los diferentes sistemas.

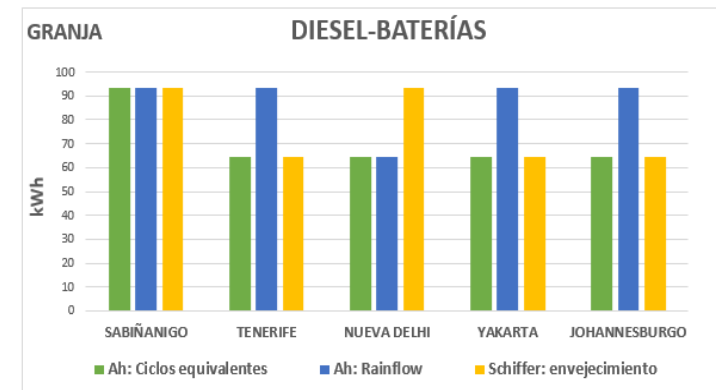
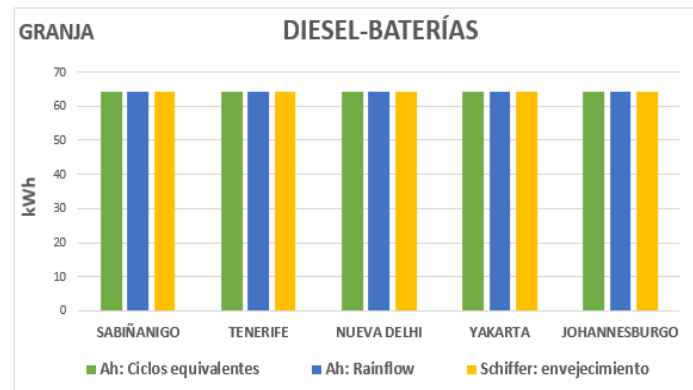
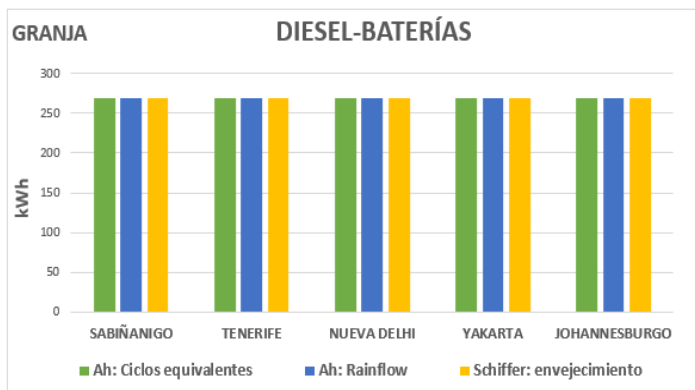


Figura 23. Capacidad de las baterías (kWh) vs localización y tipo de modelo en granja en los diferentes sistemas.

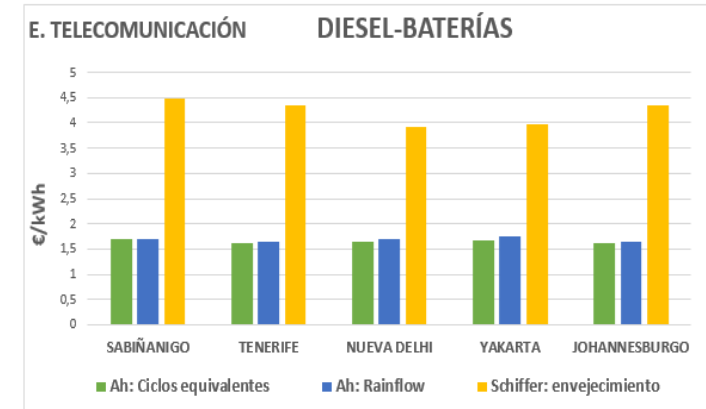
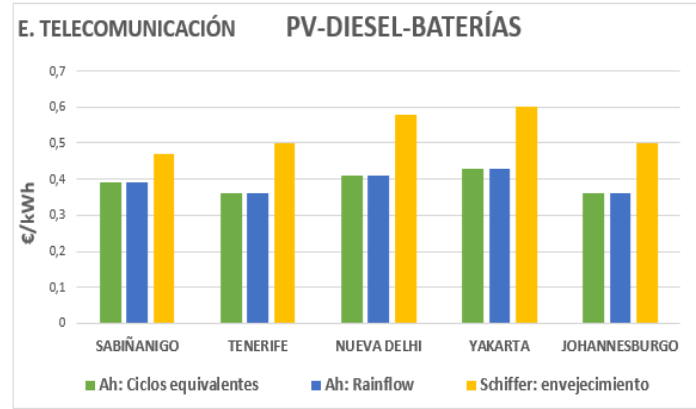
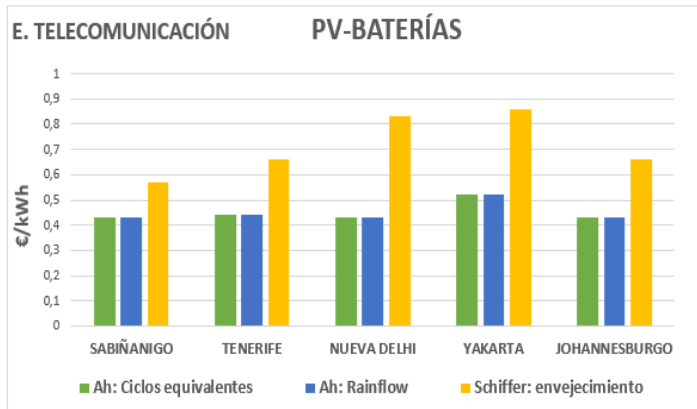


Figura 24. Precio de la energía suministrada (€/kWh) vs localización y tipo de modelo en estación de telecomunicación en los diferentes sistemas.

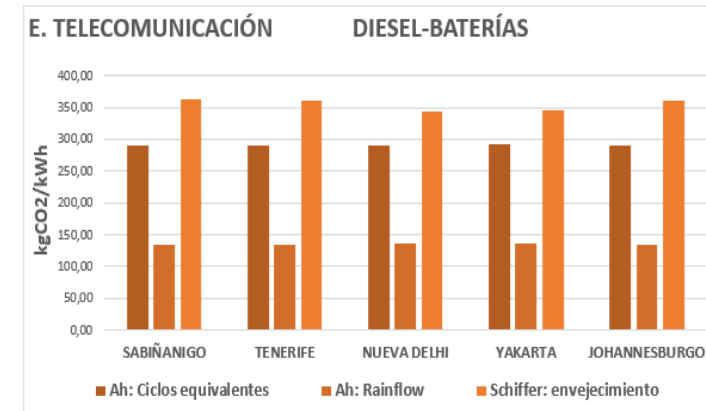
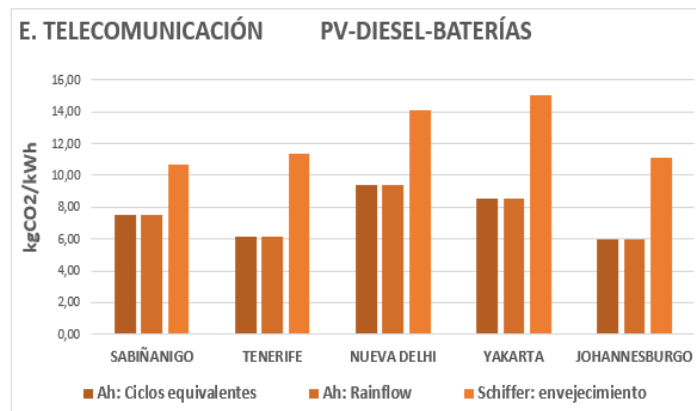
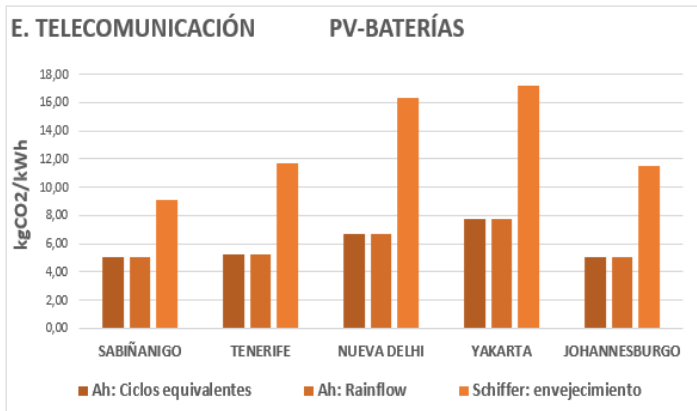


Figura 25. Emisiones específicas (kgCO₂/kWh) vs localización y tipo de modelo en estación de telecomunicación en los diferentes sistemas.

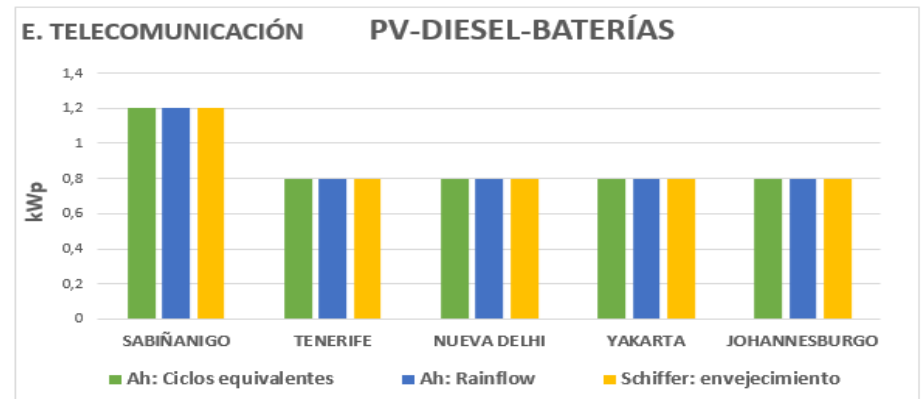
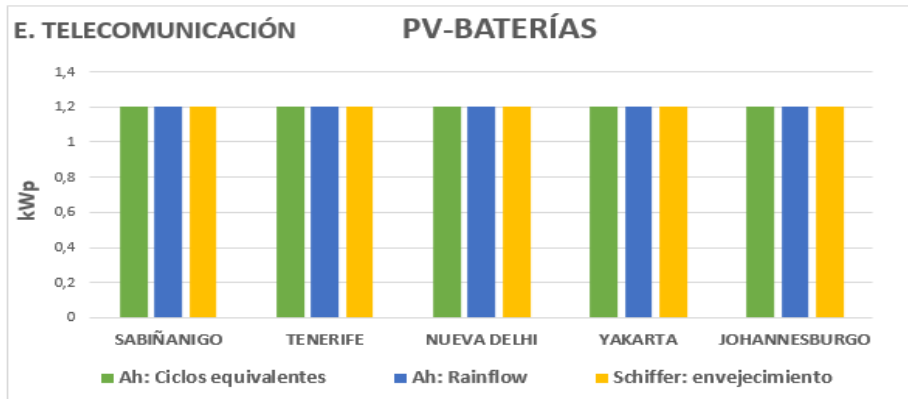


Figura 26. Potencia del generador fotovoltaico (kWp) vs localización y tipo de modelo en estación de telecomunicación en los diferentes sistemas.

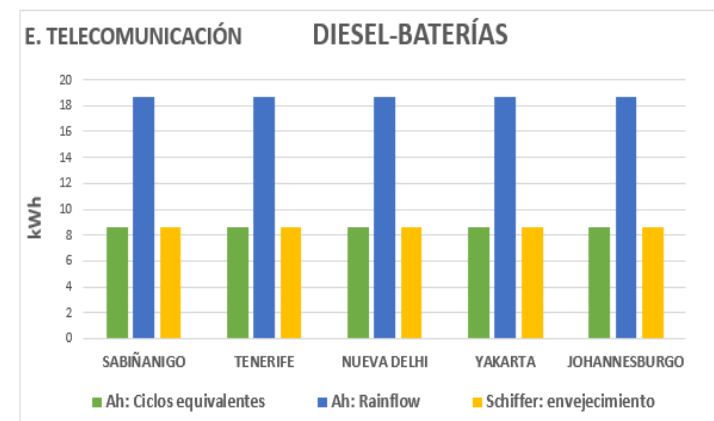
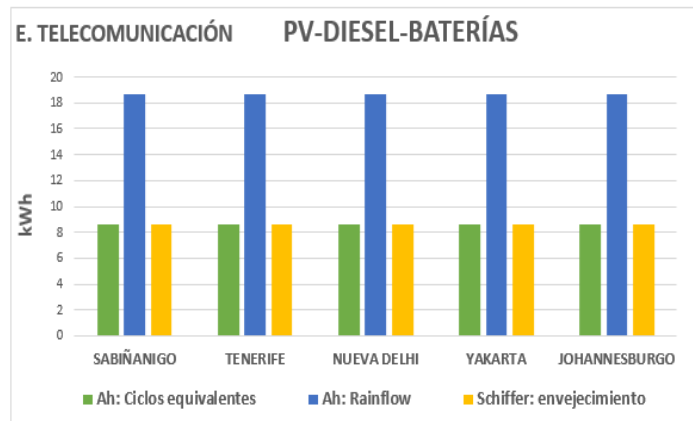
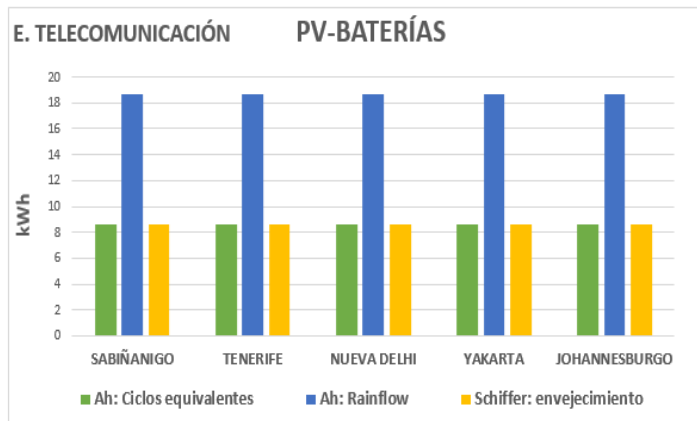


Figura 27. Capacidad de las baterías (kWh) vs localización y tipo de modelo en estación de telecomunicación en los diferentes sistemas.

7. CONCLUSIONES

Tras haber analizado los diferentes casos planteados anteriormente con el programa iHOGA 2.2 +PRO, las conclusiones que se pueden sacar son las siguientes.

- En primer lugar, tanto el modelo Ah ciclos equivalentes como el modelo Ah Rainflow, son más optimistas que los resultados obtenidos por el modelo Schiffer. También se comprueba que los modelos clásicos tienen casi siempre las mismas estimaciones.
- Como se puede apreciar en las tablas del Anexo II, los años de vida de las baterías obtenidas con los modelos clásicos son mucho mayores que con el modelo Schiffer.

Por ejemplo, en algunos casos la diferencia entre los métodos puede llegar a ser el doble o incluso más. Esto ocurre en el caso analizado sobre consumo residencial, concretamente en Tenerife.

- Según las figuras (8, 12, 16, 20, 24), el precio de la energía suministrada (€/kWh) es superior en el método Schiffer debido a que este procedimiento es más realista que los otros métodos, obteniendo duración menor de las baterías y por tanto necesitándose más cambios de baterías a lo largo de la vida útil de la instalación, lo que implica mayor coste total neto actualizado y por tanto mayor coste por kWh de energía suministrada.
- Desde el punto de vista medioambiental, los resultados de las emisiones de kgCO₂/kWh son importantes. Según las distintas simulaciones, al igual que con la vida de las baterías y el coste total, las emisiones de CO₂ obtenidas en las optimizaciones con el modelo Schiffer son mayores que por los métodos simples, por la misma razón que la explicada en el párrafo anterior. (Figuras 9, 13, 17, 21, 25).
- En las figuras (10, 11, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26, 27) se aprecia que el sistema óptimo en las configuraciones de PV-Baterías y PV-Diésel-Baterías para cada localización es la misma en los tres modelos de vida estudiados. Solo difieren en la configuración Diésel-Baterías donde se obtienen distintos resultados dependiendo del caso analizado.

Por ejemplo, en los casos analizados sobre consumo residencial, consumo bajo y consumo de oficinas, el método Schiffer no necesita banco de baterías, es suficiente con el generador diésel. En cambio, en el caso de consumo en granja y carga de telecomunicaciones (DC), el método Schiffer da un banco de baterías menor que por el método Rainflow.

- Si se compara los sistemas óptimos de los diferentes casos en las diferentes localizaciones seleccionadas se puede observar que prácticamente los paneles fotovoltaicos tienen la misma potencia. Lo mismo ocurre con las baterías y con el generador.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cristóbal Monreal IR, Dufo López R, Yusta-Loyo JM. Influence of the battery model in the optimisation of stand-alone renewable systems. ICREPQ 2016.
- [2] *Energías Renovables*. <http://www.energiarenovable.com/> (último acceso 31 enero 2017).
- [3] Asociación de Empresas de Energía Renovable. *Actualidad sobre Energía Renovable*. Appa. <http://www.appa.es/> (último acceso 31 enero 2017).
- [4] The Global PV Experts. *Energía Solar, La Especialidad de Krannich desde 1995*. Krannich. <http://es.krannich-solar.com/> (último acceso 31 enero 2017).
- [5] Tipos de baterías.
http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9360/Anexos_Sebasti%20n_Bardo.pdf?sequence=2 (último acceso 15 septiembre 2016).
- [6] Rodolfo Dufo-López R, Lujano-Rojas JM, Bernal-Agustín JL. Comparison of different lead-acid battery lifetime prediction models for use in simulation of stand-alone photovoltaic systems. *Applied Energy* 2014; 115:242–253.
- [7] Rietveld M. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agric Meteorol* 1978;19:243–52.
- [8] Graham VA, Hollands KGT. A method to generate synthetic hourly solar radiation globally. *Sol Energy* 1990;44:333–41.
- [9] Schuhmacher J. INSEL – Interactive Simulation of Renewable Electrical Energy Supply Systems-, Reference Manual. University of Oldenburg, Renewable Energy Group, Dept. of Physics, PO Box 2503, D-26111 Oldenburg; 1993.
- [10] Manwell JF, McGowan JG. A lead acid battery storage model for hybrid energy systems. *Sol Energy* 1993;50:399–405.
- [11] Copetti JB, Chenlo F. Lead/acid batteries for photovoltaic applications. Test results and modeling. *J Power Sources* 1994;47(1–2):109–18.
- [12] Copetti JB, Lorenzo E, Chenlo F. A general battery model for PV system simulation. *Prog Photovoltaic* 1993;1(4):283–92.
- [13] Lujano-Rojas JM, Dufo-López R, Bernal-Agustín JL. Optimal sizing of small wind/battery systems considering the DC bus voltage stability effect on energy capture, wind speed variability, and load uncertainty. *Appl Energy* 2012;93:404–12.

- [14] Schiffer J, Sauer DU, Bindner H, Cronin T, Lundsager P, Kaiser R. Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems. *J Power Sources* 2007;168:66-78.
- [15] Ruetschi P. Aging mechanisms and service life of lead–acid batteries. *J Power Sources* 2004; 127:33-44.
- [16] Dufo-López R, Lujano-Rojas JM, Bernal-Agustín JL. Comparison of different lead–acid battery lifetime prediction models for use in simulation of stand-alone photovoltaic systems. *Apply Energy* 2014;115:242–53. doi:10.1016/j.apenergy.2013.11.021.
- [17] Green HJ, Manwell J. HYBRID2 – A Versatile Model of the Performance of Hybrid Power Systems. *Proceedings of WindPower’95*, Washington DC, March 27-30, 1995.
- [18] Bernal-Agustín JL, Dufo-López R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2111–8.
- [19] IEC 60896-1:1987 Stationary lead–acid batteries. General requirements and methods of test. Vented types.
- [20] Downing SD, Socie DF. Simple rainflow counting algorithms. *Int J Fatigue* 1982;4:31-40.
- [21] Green HJ, Manwell J. HYBRID2 – A Versatile Model of the Performance of Hybrid Power Systems. In: *Proceedings of WindPower’95*, Washington DC, March 27–30, 1995.
- [22] Bernal-Agustín JL, Dufo-López R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2111–8.
- [23] iHOGA software. Rodolfo Dufo-López. Free educational versión can be downloaded from: <http://personal.unizar.es/rdufo/index.php?lang=en>
- [24] R. Dufo-López, I.R. Cristóbal Monreal. J.M. Yusta-Loyo. Optimisation of PV-wind-diesel-battery stand-alone systems to minimise cost and maximise human development index and job creation. *Renewable Energy* 94 (2016) 280-293.
- [25] O. Skarstein, K. Uhlen, Design Considerations with Respect to Long-Term Diesel Saving in Wind/Diesel Plants, *Wind Eng.* 13 (1989) 72–87.
- [26] J. Bleijs, C. Nightingale, D. Infield, Wear implications of intermittent diesel operation in wind/diesel systems, *Wind Energy.* 17 (1993) 206–218.

- [27] J. Schiffer, D.U. Sauer, H. Bindner, T. Cronin, P. Lundsager, R. Kaiser, Model prediction for ranking lead-acid batteries according to expected lifetime in renewable energy systems and autonomous power-supply systems, *J. Power Sources*. 168 (2007) 66–78. doi:10.1016/j.jpowsour.2006.11.092.
- [28] International Electrotechnical Commission, IEC 60896-1:1987 Stationary lead-acid batteries. General requirements and methods of test. Vented types., 1987.
- [29] Merkasol. *Energías renovables*. <https://www.merkasol.com> (último acceso 31 enero 2017).
- [30] Auto Solar. *Energía solar*. <https://autosolar.es> (último acceso 31 enero 2017).
- [31] Steca Elektronik. <http://www.steca.com/> (último acceso 31 enero 2017).
- [32] Generadores eléctricos. <http://www.ventageneradores.net/> (último acceso 31 enero 2017).

ANEXO I. MODELO SCHIFFER

En este anexo se muestran los modelos matemáticos de los componentes utilizados en la simulación por hora del sistema [24].

GENERADOR FOTOVOLTAICO

Un sistema de seguimiento máximo Power Point (MPPT) es considerado en el sistema, por lo que se calcula la potencia del generador fotovoltaico que entra en el inversor/cargador de la siguiente manera:

$$P_{PV}(t) = P_{STC} \cdot \frac{G_{h_yearY}(t)}{1\text{kWh/m}^2} \cdot f_{mm} \cdot f_{dirt} \cdot \mu_{wire_PV} \cdot f_{temp} \quad (8)$$

Donde P_{STC} es la potencia de salida en condiciones de prueba estándar (Wp), $G_{h_yearY}(t)$ es la irradiación sobre la superficie de los paneles fotovoltaicos durante la hora t del año Y (kWh/m²), f_{mm} es el módulo de desajuste o tolerancia de potencia, f_{dirt} es el factor de reducción de la suciedad, μ_{wire_PV} es la eficiencia de alambre (del generador fotovoltaico al inversor/cargador) y f_{temp} es el factor de reducción de la temperatura, que se calcula de la siguiente manera:

$$f_{temp} = 1 + \frac{\alpha}{100} (T_c(t) - 25) \quad (9)$$

Donde α es el coeficiente de temperatura de alimentación (%/°C) y $T_c(t)$ es la temperatura de la célula PV (°C), que se puede calcular como:

$$T_c(t) = T_a(t) + \left(\frac{NOCT - 20}{0.8} \right) \cdot \frac{G_{h_yearY}(t)}{1\text{kWh/m}^2} \quad (10)$$

Donde $T_a(t)$ es la temperatura ambiente (°C) y NOCT es la temperatura nominal de la célula de operación (°C).

GENERADOR DE DIESEL

La potencia de salida del generador diésel $P_{GEN}(t)$ depende de la potencia de salida de las fuentes renovables, la carga, la estrategia de control y el SOC del banco de baterías (kW). El consumo de combustible diésel (l/kWh) durante la hora t se calcula como:

- Si el diésel se ejecuta durante la hora anterior:

$$Cons_{fuel}(t) = B \cdot P_{GEN, rated} + A \cdot P_{GEN}(t) \quad (11)$$

- Sino

$$Cons_{fuel}(t) = B \cdot P_{GEN, rated} + A \cdot P_{GEN}(t) + F_{START}(B \cdot P_{GEN, rated} + A \cdot P_{GEN, rated}) \quad (12)$$

Donde $A = 0.246$ l/kWh y $B = 0.08415$ l/kWh son los coeficientes de la curva de combustible [25], $P_{GEN, rated}$ es la potencia nominal (kW) y F_{START} es un factor a considerar del combustible adicional debido al inicio del generador, por lo general es inferior a 0,0083 que es equivalente a 5 minutos a potencia nominal [26].

BANCO DE BATERÍAS

La potencia de entrada del banco de baterías $P_{BATT}(t)$ (> 0 carga de la batería, < 0 descarga de la batería) depende de la potencia de salida de las fuentes renovables, la carga, la estrategia de control, la potencia de salida del diésel y el SOC del banco de baterías.

El SOC (por unidad) se calcula añadiendo la carga efectiva que entra en la batería a la SOC de la hora anterior:

$$SOC(t + \Delta t) = SOC(t) + (I_{bat}(t) - I_{gas}(t))\Delta t / C_N \quad (13)$$

Donde $I_{bat}(t)$ es la corriente de entrada de la batería (A), $I_{gas}(t)$ es la corriente de gasificación (durante la descarga es 0) (A), C_N (Ah) es la capacidad nominal y Δt es el tiempo de paso de la simulación (en este caso 1 h).

La corriente de entrada de la batería se calcula como:

$$I_{bat}(t) = P_{BATT}(t) / U_{bat}(t) \quad (14)$$

Donde $U_{bat}(t)$ es el voltaje de la batería (V), calculado por las ecuaciones Shepherd modificadas [27].

$$U_{bat}(t) = U_0 - \left(\frac{10}{13}\right)gDOD(t) + \rho_C(t) \left(\frac{I_{bat}(t)}{2C_{10}}\right) + \rho_C(t)M_C \left(\frac{I_{bat}(t)}{2C_{10}}\right) \left(\frac{SOC(t)}{C_C - SOC(t)}\right) \quad \forall I_{bat}(t) > 0$$

$$U_{bat}(t) = U_0 - \left(\frac{10}{13}\right)gDOD(t) + \rho_D(t) \left(\frac{I_{bat}(t)}{2C_{10}}\right) + \rho_D(t)M_D \left(\frac{I_{bat}(t)}{2C_{10}}\right) \left(\frac{DOD(t)}{C_D(t) - DOD(t)}\right) \quad \forall I_{bat}(t) < 0$$

(15)

Donde U_0 es el voltaje de la celda de equilibrio de circuito abierto en el estado completamente cargado (V), g es una constante de proporcionalidad electrolito (V), el

DOD = 1-SOC es la profundidad de descarga; ρ_C y ρ_D son la resistencia interna agregada durante la carga o descarga (ΩAh), C_{10} es la capacidad nominal de la batería a las 10 h de descarga, C_C y C_D son la capacidad normalizada de la batería durante la carga o descarga.

Este modelo calcula la pérdida de capacidad por la corrosión, $C_{\text{corr}}(t)$ y la pérdida de capacidad por la degradación, $C_{\text{DEG}}(t)$. Durante cada hora la capacidad restante de la batería, $C_{\text{remaining}}(t)$, se puede calcular como la capacidad normalizada inicial de la batería ($C_{\text{normalised}}$) menos la pérdida de capacidad por la corrosión y la degradación:

$$C_{\text{remaining}}(t) = C_{\text{normalised}} - C_{\text{corr}}(t) - C_{\text{deg}}(t) \quad (16)$$

Cuando la capacidad restante es 0,8 (es decir, 80% de la capacidad nominal) se considera que la batería que ha terminado su tiempo de vida.

La pérdida de la capacidad de degradación se calcula como:

$$C_{\text{deg}}(t) = C_{\text{deg,limit}} \cdot \exp\left[-c_z \cdot \left(1 - \frac{Z_W(t)}{1.6 \cdot Z_{\text{IEC}}}\right)\right] \quad (17)$$

Donde $C_{\text{DEG,limit}}$ es el límite de degradación (alcanzado cuando la capacidad restante de la batería es 80% de la capacidad nominal teniendo en cuenta únicamente la degradación, no la corrosión), c_z es una constante igual a 5, Z_W es el número ponderado de ciclos (con la impacto de la SOC, la corriente de descarga y la estratificación de ácido) y Z_{IEC} es el número de ciclos de vida de IEC [28].

$$Z_W(t + \Delta t) = Z_W(t) + \frac{|I_{\text{disch_bat}}(t)| \cdot f_{\text{SOC}}(t) \cdot f_{\text{acid}}(t) \cdot \Delta t}{C_N} \quad (18)$$

Donde $I_{\text{disch_bat}}$ es la corriente de descarga de la batería (A), F_{SOC} es un factor que tiene en cuenta la influencia del SOC e incluye el impacto de la corriente y f_{acid} tiene en cuenta el impacto de la estratificación del ácido.

La influencia de la SOC se calcula como:

$$f_{\text{SOC}}(t) = 1 + (c_{\text{SOC},0} + c_{\text{SOC},\text{min}} \cdot (1 - \text{SOC}_{\text{min}}(t) \Big|_{t_0}^t) \cdot f_I(I, n) \cdot (t - t_0) \quad (19)$$

Donde t_0 es el tiempo de la última carga completa, $\text{SOC}_{\text{min}}(t)$ es el SOC mínimo desde la última carga completa, $C_{\text{SOC},0}$ es una constante que representa el aumento de F_{SOC} con el tiempo a $\text{SOC} = 0$, $C_{\text{SOC},\text{min}}$ es una constante para considerar el impacto de $\text{SOC}_{\text{min}}(t)$ y $f_I(I, n)$ es el factor de corriente que depende principalmente de la corriente en el comienzo de la descarga después de una carga completa(I), por lo que el factor de corriente también se ve afectada por la número de malas cargas (n), que toma en cuenta las cargas que terminan entre 0,9 y 0,9998 SOC.

El factor actual se puede calcular por la siguiente expresión:

$$f_I(I, n) = \sqrt{I_{10} / I_{bat}(t)} \cdot \sqrt[3]{\exp(n(t) / 3.6)} \quad (20)$$

Donde $I_{10} = C_{10} / 10$ (A).

El número de malas cargas se pone a cero cuando el SOC alcanza 0,9999. Cuando el SOC máximo alcanzado durante una carga (SOC_{max}) está entre 0,9 y 1, n se incrementa de la siguiente forma:

$$n(t + \Delta t) = n(t) + \Delta n = n(t) + \frac{0.0025 - (0.95 - SOC_{max})^2}{0.0025} \quad (21)$$

La influencia de la estratificación del ácido sobre la degradación de masa activa se tiene en cuenta por el factor de f_{acid} :

$$f_{acid}(t) = 1 + f_{stratification}(t) \cdot \sqrt{\frac{I_{10}}{|I_{bat}(t)|}} \quad (22)$$

Donde $f_{stratification}$ es el factor de estratificación, aumentado o disminuido por los factores f_{PLUS} y f_{minus} [27].

$$f_{stratification}(t + \Delta t) = f_{stratification}(t) + (f_{plus}(t) - f_{minus}(t)) \Delta t \quad (23)$$

La pérdida de capacidad por la corrosión se modela usando el concepto de una capa de corrosión, que crece durante la vida de la batería. La capa de corrosión eficaz espesor $\Delta W(t)$ se calcula durante cada hora en función de la tensión de la corrosión del electrodo positivo y de la temperatura [27]. La pérdida de capacidad por la corrosión, $C_{corr}(t)$, es proporcional al espesor de capa eficaz en el tiempo t, en base a:

$$C_{corr}(t) = C_{corr,limit} \cdot \frac{\Delta W(t)}{\Delta W_{limit}} \quad (24)$$

Donde $C_{corr,limit}$ es el límite de la pérdida de capacidad por la corrosión y ΔW_{limit} es el espesor de la capa de corrosión cuando la batería ha alcanzado el final de su vida de flotación útil (dado en la hoja de datos de la batería).

ANEXO II. TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 1.

CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL (AC) SABIÑANIGO, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 26016 | 0,44 | 5,67 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 26016 | 0,44 | 5,67 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,84 | 32706 | 0,55 | 9,60 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 15,78 | 21843 | 0,37 | 4,34 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,09 | 21723 | 0,37 | 8,97 |
| | 3,2 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,9 | 23556 | 0,4 | 20,37 |
| | 3,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 18 | 83292 | 1,41 | 279,22 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 18 | 84535 | 1,43 | 198,52 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135846 | 2,29 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 2.

CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL (AC) TENERIFE, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 24451 | 0,41 | 5,51 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 24451 | 0,41 | 5,51 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,03 | 33856 | 0,57 | 11,41 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 15,58 | 17546 | 0,3 | 7,59 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 15,67 | 17538 | 0,3 | 7,59 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 5,49 | 20828 | 0,35 | 19,44 |
| | 2,4 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 16,98 | 83537 | 1,41 | 279,43 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 16,98 | 84836 | 1,43 | 198,71 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135846 | 2,29 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 3.

CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL (AC) NUEVA DELHI, INDIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 26643 | 0,45 | 6,92 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 26643 | 0,45 | 6,92 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,27 | 40550 | 0,68 | 15,14 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 18547 | 0,31 | 8,71 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | BATERÍA (kWh) | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 18547 | 0,31 | 8,71 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 5,1 | 21333 | 0,36 | 21,30 |
| | 2,4 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 10,32 | 83664 | 1,41 | 605,32 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 10,61 | 85224 | 1,43 | 281,36 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135786 | 2,29 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 4.

CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL (AC) YAKARTA, INDONESIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 28984 | 0,49 | 8,32 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 28984 | 0,49 | 8,32 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,04 | 42062 | 0,71 | 16,21 |
| | 3,2 | 39,168 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,35 | 21768 | 0,37 | 20,02 |
| | 3,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,13 | 21890 | 0,37 | 20,25 |
| | 3,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,56 | 25296 | 0,43 | 25,93 |
| | 3,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 9,62 | 83946 | 1,42 | 605,79 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 9,62 | 85719 | 1,45 | 281,89 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135650 | 2,29 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 5.

CONSUMO RESIDENCIAL CONVENCIONAL (AC) JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 24008 | 0,41 | 5,34 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 24008 | 0,41 | 5,34 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,32 | 33429 | 0,56 | 10,95 |
| | 2,8 | 39,168 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 15,66 | 17539 | 0,3 | 7,59 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 15,54 | 17549 | 0,3 | 7,59 |
| | 2,4 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,63 | 19446 | 0,33 | 17,25 |
| | 2,4 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 18 | 83292 | 1,41 | 279,22 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 18 | 84535 | 1,43 | 197,99 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135846 | 2,29 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 6.

CONSUMO BAJO (AC) SABIÑANIGO, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 18474 | 0,56 | 5,45 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 18474 | 0,56 | 5,45 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,02 | 22563 | 0,68 | 9,28 |
| | 2 | 26,4 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 13,78 | 13125 | 0,4 | 9,84 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,44 | 12997 | 0,39 | 9,84 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,68 | 14777 | 0,45 | 12,15 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 12,08 | 57098 | 1,72 | 375,81 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 18 | 58501 | 1,77 | 123,45 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,48 | 134644 | 4,06 | 456,60 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 7.

CONSUMO BAJO (AC) TENERIFE, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 17889 | 0,54 | 5,64 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 17889 | 0,54 | 5,64 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6 | 24277 | 0,73 | 11,55 |
| | 2 | 26,4 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 13,59 | 11822 | 0,36 | 8,80 |
| | 2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,41 | 11668 | 0,35 | 8,56 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,05 | 14367 | 0,43 | 12,15 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 12,02 | 54998 | 1,66 | 375,81 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 12,04 | 56470 | 1,7 | 175,05 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 119931 | 3,62 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 8.

CONSUMO BAJO (AC) NUEVA DELHI, INDIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 19375 | 0,58 | 7,05 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 19375 | 0,58 | 7,05 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,21 | 28995 | 0,88 | 15,45 |
| | 2 | 26,4 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 12809 | 0,39 | 10,53 |
| | 2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 12809 | 0,39 | 10,53 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,66 | 17954 | 0,54 | 17,59 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 11,85 | 55156 | 1,67 | 375,93 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 11,85 | 56676 | 1,71 | 124,17 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,55 | 121160 | 3,66 | 441,67 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 9.

CONSUMO BAJO (AC) YAKARTA, INDONESIA

| PV-BATERÍAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 20561 | 0,62 | 8,11 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 20561 | 0,62 | 8,11 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,11 | 29308 | 0,88 | 15,76 |
| | 2 | 26,4 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERÍAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 13555 | 0,41 | 11,57 |
| | 2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 13555 | 0,41 | 11,57 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,58 | 18152 | 0,55 | 17,82 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERÍAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 9,62 | 55902 | 1,69 | 376,97 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 9,62 | 57645 | 1,74 | 176,18 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 135650 | 4,09 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 10.

CONSUMO BAJO (AC) JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 17588 | 0,53 | 5,45 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 17588 | 0,53 | 5,45 |
| | 2 | 26,4 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,31 | 23982 | 0,72 | 11,10 |
| | 2 | 26,4 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 13,86 | 12334 | 0,37 | 9,84 |
| | 2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,32 | 12212 | 0,37 | 9,84 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,62 | 15433 | 0,47 | 14,12 |
| | 1,6 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 12,02 | 54998 | 1,66 | 375,81 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 26,4 | 18 | 56416 | 1,7 | 123,45 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,55 | 122108 | 3,69 | 442,94 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 11.

CONSUMO OFICINA (AC) SABIÑANIGO, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 43076 | 0,35 | 5,11 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 43076 | 0,35 | 5,11 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,88 | 53322 | 0,43 | 8,25 |
| | 6 | 93,12 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 12,7 | 29123 | 0,23 | 14,48 |
| | 6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 12,91 | 29095 | 0,23 | 14,48 |
| | 6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,41 | 31173 | 0,25 | 16,77 |
| | 6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 18 | 120371 | 0,97 | 950,58 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 10,9 | 121817 | 0,98 | 952,55 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 153944 | 1,24 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |

Tabla 12.

CONSUMO OFICINA (AC) TENERIFE, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 41278 | 0,33 | 5,29 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 41278 | 0,33 | 5,29 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,71 | 57052 | 0,46 | 10,24 |
| | 6 | 93,12 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 12,31 | 24804 | 0,2 | 12,66 |
| | 4,8 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,61 | 25084 | 0,2 | 12,87 |
| | 4,8 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,75 | 28319 | 0,23 | 16,35 |
| | 4,8 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 16,98 | 120560 | 0,97 | 950,69 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 10,9 | 121817 | 0,98 | 952,55 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 153944 | 1,24 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |

Tabla 13.

CONSUMO OFICINA (AC) NUEVA DELHI, INDIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 45530 | 0,37 | 6,70 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 45530 | 0,37 | 6,70 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,78 | 68265 | 0,55 | 13,55 |
| | 6 | 93,12 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 25860 | 0,21 | 14,21 |
| | 5,2 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 25860 | 0,21 | 14,21 |
| | 5,2 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,67 | 32425 | 0,26 | 20,99 |
| | 5,2 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 11,85 | 121495 | 0,97 | 952,08 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 10,9 | 12817 | 0,98 | 952,55 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 153942 | 1,24 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 14.

CONSUMO OFICINA (AC) YAKARTA, INDONESIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 48925 | 0,39 | 7,77 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 48925 | 0,39 | 7,77 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 4,5 | 70160 | 0,56 | 14,27 |
| | 6 | 93,12 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 27223 | 0,22 | 15,33 |
| | 5,6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 27223 | 0,22 | 15,33 |
| | 5,6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,16 | 32328 | 0,26 | 25,53 |
| | 7,2 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 9,62 | 122241 | 0,98 | 953,24 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 9,62 | 122241 | 0,98 | 953,24 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 153939 | 1,23 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 15.

CONSUMO OFICINA (AC) JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 40418 | 0,32 | 5,11 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 40418 | 0,32 | 5,11 |
| | 6 | 93,12 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,55 | 57597 | 0,46 | 10,45 |
| | 6 | 93,12 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 12,82 | 26579 | 0,21 | 14,96 |
| | 6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 13,56 | 26372 | 0,21 | 14,96 |
| | 6 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,32 | 27450 | 0,22 | 20,30 |
| | 6,8 | 18,72 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 18 | 120371 | 0,97 | 952,08 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 10,9 | 121817 | 0,98 | 952,55 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | - | - | 153944 | 1,24 | 0,00 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9KVA | | | | | |

Tabla 16.

GRANJA (AC) SABIÑANIGO, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 105774 | 0,28 | 5,05 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 105774 | 0,28 | 5,05 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,96 | 138578 | 0,37 | 9,05 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,29 | 63466 | 0,17 | 12,60 |
| | 16,4 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,35 | 63451 | 0,17 | 12,58 |
| | 16,4 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,84 | 80289 | 0,21 | 25,75 |
| | 16,4 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5KVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 18 | 356062 | 0,95 | 290,09 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 18 | 356062 | 0,95 | 290,09 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 0,63 | 634067 | 1,7 | 370,04 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |

Tabla 17.

GRANJA (AC) TENERIFE, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 100712 | 0,27 | 5,234 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 100712 | 0,27 | 5,234 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,77 | 144091 | 0,39 | 10,115 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 13,75 | 51318 | 0,14 | 10,560 |
| | 13,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,45 | 50859 | 0,14 | 10,373 |
| | 13,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,17 | 59675 | 0,16 | 18,802 |
| | 13,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 16,98 | 350917 | 0,94 | 422,815 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 16,98 | 350922 | 0,96 | 291,343 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 0,5 | 619302 | 1,66 | 525,350 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |

Tabla 18.

GRANJA (AC) NUEVA DELHI, INDIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 112483 | 0,3 | 6,64 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 112483 | 0,3 | 6,64 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,82 | 174456 | 0,47 | 13,39 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 55784 | 0,15 | 12,19 |
| | 15,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 55784 | 0,15 | 12,19 |
| | 15,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 5,05 | 69375 | 0,19 | 18,35 |
| | 14,8 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 11,85 | 353948 | 0,95 | 420,76 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 8,21 | 358484 | 0,96 | 422,81 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 0,7 | 603818 | 1,62 | 361,17 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |

Tabla 19.

GRANJA (AC) YAKARTA, INDONESIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 121880 | 0,33 | 7,71 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 121880 | 0,33 | 7,71 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,7 | 176931 | 0,47 | 13,68 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 59777 | 0,16 | 14,06 |
| | 16 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 59777 | 0,16 | 14,06 |
| | 16 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,16 | 70756 | 0,19 | 23,93 |
| | 15,6 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 8,62 | 356368 | 0,95 | 421,84 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 8,21 | 358484 | 0,96 | 422,81 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 0,69 | 608678 | 1,63 | 362,84 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |

Tabla 20.

GRANJA (AC) JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 98331 | 0,26 | 5,05 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 98331 | 0,26 | 5,05 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,91 | 143451 | 0,38 | 9,96 |
| | 16,8 | 268,8 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,22 | 56827 | 0,15 | 12,43 |
| | 17,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 14,45 | 56766 | 0,15 | 12,36 |
| | 17,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,98 | 66623 | 0,18 | 16,42 |
| | 17,2 | 64,3 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 18 | 350304 | 0,94 | 419,18 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 93,1 | 18 | 356062 | 0,95 | 290,09 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 64,3 | 0,5 | 618624 | 1,66 | 544,01 |
| | GENERADOR DIESEL7 kVA | | | | | |

Tabla 21.

CARGA DE TELECOMUNICACIÓN (DC) SABIÑANIGO, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 11227 | 0,43 | 5,07 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 11227 | 0,43 | 5,07 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 7,78 | 14954 | 0,57 | 9,08 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 17,31 | 10294 | 0,39 | 7,52 |
| | 1,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 17,8 | 10266 | 0,39 | 7,52 |
| | 1,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 8,74 | 12388 | 0,47 | 10,65 |
| | 1,2 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 13,03 | 44418 | 1,69 | 290,16 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 18 | 44836 | 1,71 | 134,03 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,5 | 117380 | 4,47 | 362,04 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 22.

CARGA DE TELECOMUNICACIÓN (DC) TENERIFE, ESPAÑA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 11472 | 0,44 | 5,29 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 11472 | 0,44 | 5,29 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 5,67 | 17394 | 0,66 | 11,70 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 9527 | 0,36 | 6,13 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 16,98 | 9527 | 0,36 | 6,13 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,5 | 13132 | 0,5 | 11,34 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 13,03 | 42781 | 1,63 | 290,16 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 16,98 | 43455 | 1,65 | 134,24 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,51 | 114407 | 4,35 | 360,19 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 23.

CARGA DE TELECOMUNICACIÓN (DC) NUEVA DELHI, INDIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 12685 | 0,43 | 6,68 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 12685 | 0,43 | 6,68 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 3,85 | 21843 | 0,83 | 16,29 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 10733 | 0,41 | 9,38 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 11,85 | 10733 | 0,41 | 9,38 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,89 | 15333 | 0,58 | 14,12 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 11,85 | 43177 | 1,64 | 290,51 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 11,85 | 44668 | 1,7 | 135,63 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,6 | 102868 | 3,91 | 344,44 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 24.

CARGA DE TELECOMUNICACIÓN (DC) YAKARTA, INDONESIA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 13654 | 0,52 | 7,75 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 13654 | 0,52 | 7,75 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 3,62 | 22653 | 0,86 | 17,20 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 11207 | 0,43 | 8,56 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 9,62 | 11207 | 0,43 | 8,56 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 4,51 | 15859 | 0,6 | 15,05 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 9,62 | 43923 | 1,67 | 291,67 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 9,62 | 45636 | 1,74 | 136,70 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,59 | 104641 | 3,98 | 346,76 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

Tabla 25.

CARGA DE TELECOMUNICACIÓN (DC) JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA

| PV-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 11227 | 0,43 | 5,07 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 18 | 11227 | 0,43 | 5,07 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (Wp) | BATERÍA (kWh) | 5,78 | 17255 | 0,66 | 11,54 |
| | 1,2 | 18,72 | | | | |

| PV-DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 17,54 | 9427 | 0,36 | 6,02 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 17,8 | 9412 | 0,36 | 6,02 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | PV (kWp) | BATERÍA (kWh) | 6,66 | 13068 | 0,5 | 11,11 |
| | 0,8 | 8,64 | | | | |
| | GENERADOR GASOLINA 0,5kVA | | | | | |

| DIESEL-BATERIAS | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| MODELO DE BATERÍA | SISTEMA ÓPTIMO | | VIDA BATERÍAS (AÑOS) | COSTE TOTAL (€) | (€/kWh) | CO2 (kgCO2/kWh) |
| Ah: Ciclos equivalentes | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 13,03 | 42781 | 1,63 | 290,16 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Ah: Rainflow | BATERÍA (kWh) | 18,72 | 18 | 43209 | 1,64 | 134,03 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |
| Schiffer: envejecimiento | BATERÍA (kWh) | 8,64 | 0,51 | 114415 | 4,35 | 360,19 |
| | GENERADOR DIESEL 1,9kVA | | | | | |

ANEXO III. COMPONENTES COMERCIALES

Baterías de plomo-ácido.

Las baterías utilizadas son OPZS-Hawker. En función de la capacidad de las baterías se utilizarán un tipo u otro.

En la siguiente tabla se muestra los tipos de batería con su precio.

| OPZS-Hawker | kWh | Precio (€) |
|-------------|--------|------------|
| TLS-3 | 8,64 | 1559,57* |
| TVS-5 | 18,72 | 2062,15* |
| TVS-7 | 26,4 | 2577,24* |
| TYS-7 | 39,168 | 3652,32* |
| TYS-12 | 64,3 | 5090,98* |
| TZS-13 | 93,12 | 7800,81* |
| TZS-20 | 268,8 | 10969,47* |

Tabla 26. Tipos de baterías plomo-acido con precios según su capacidad.



Foto 1.

Baterías plomo-ácido Hawker[29]

Paneles fotovoltaicos.

Los PV que se necesitan en los casos analizados son aquellos que tengan una potencia nominal de 100 W. Hay una amplia gama de paneles fotovoltaicos, a continuación se muestran algunos de ellos con el precio.

| PV 100W 12V | Precio (€) |
|-------------------------|------------|
| Merkasol monocristalino | 122,21* |
| Victron monocristalino | 203,28* |
| Victron policristalino | 188,4* |

Tabla 27. Tipos de paneles fotovoltaicos con su precio.

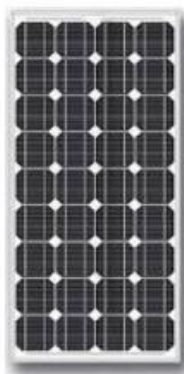


Foto 2.

PV Merkasol monocristalino[29]



Foto 3.

PV Victron monocristalino[30]



Foto 4.

PV Victron policristalino[30]

Inversor.

El inversor que se utiliza en todas las simulaciones es:
STECA SOLARIX PI 1200.

Buscando en la página web su precio es de 749€*. [31]



Foto 5.

Inversor STECA SOLARIX PI1200

Generadores AC.

Los generadores que se utilizan en los diferentes casos simulados aparecen en la siguiente tabla con su precio.

| Generador AC | Precio (€) |
|------------------|------------|
| Gasolina 0,5 kVA | 384,82* |
| Diésel 1,9 kVA | 1030,08* |
| Diésel 7 kVA | 1151,92* |

Tabla 28. Generadores AC con su precio.



Foto 6.



Foto 7.



Foto 8.

Generador AC de gasolina 0.5kVA [32]; Generador AC diésel 1.9kVA [32]; Generador AC diésel 7.2kVA [32]

*Los precios incluyen el 21% de IVA.